
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

STOKASTİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ: TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Zühre AYDIN YENİOĞLU

DOKTORA TEZİ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2020

Zühre AYDIN YENİOĞLU tarafından hazırlanan "STOKASTİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ: TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Bilal TOKLU
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. M. Ali AKÇAYOL
Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ErciyesÜniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. İhsan ALP
İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2020

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

……..…….

Doç. Dr. Aslıhan TÜFEKCİ
Bilişim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında 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.

Zühre AYDIN YENİOĞLU
02/07/2020

STOKASTİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ: TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

(Doktora Tezi)

Zühre AYDIN YENİOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Elektrik dağıtım birimlerinin etkinlik analizi yapılırken, karar verme pozisyonunda olan yöneticiler birimlerin kaynaklarını en iyi şekilde kullanıp kullanmadıklarını, bu kaynaklarla iyi hizmet verip vermediklerini, mevcut girdileri ve çıktıları ile teknik etkinlik sağlayıp sağlamadıklarını bilmek isterler. Şirketlerin içsel ya da dışsal faktörlerden kaynaklı eksik ve rassal verileri vardır. Bu nedenle, etkinlik analizlerinde deterministik modeller yerine olasılık teorisine ihtiyaç duyulur. Etkinlik analizlerinde sıklıkla kullanılan Veri Zarflama Analizi tekniği, verilerde gürültüden kaynaklı ölçüm hatasına neden olabilir, çünkü etkinlik sınırı bu hatalara duyarlıdır. Bu çalışma, Türkiye enerji sektöründe faaliyet gösteren 21 elektrik dağıtım şirketinin performanslarının ölçümü ve kıyaslanmaları amacıyla, şirketlere ait rasgele girdi ve rasgele çıktı değişkenleri için simetrik hata yapısını da stokastik modellere katarak etkinlik analizi yapmıştır. Çalışma ile stokastik girdi yönelimli ve çıktı yönelimli şans kısıtlı Veri Zarflama Analizi modelleri, deterministik girdi yönelimli ve çıktı yönelimli BCC ve CCR Veri Zarflama Analizi modelleriyle karşılaştırılıp, normal dağılım varsayımı altında stokastik ölçüm değerleri, deterministik ölçüm değerleriyle doğrulanmıştır. Stokastik modeller deterministik eşdeğerlerine dönüştürülmüş, sonrasında doğrusallaştırılmıştır. Veri Zarflama Analizi modellerinde Türkiye'nin 21 elektrik dağıtım şirketi karar verme birimleri olarak kabul edilmiştir. Amaç, analiz edilen rassal verilerde stokastik gürültüyü hesaba katan yönlendirilmiş Veri Zarflama Analizi modellerini oluşturmak, etkin ya da etkin olmayan birimlerin performans kıyaslamasını bu doğrultuda gerçekleştirmektir. Modellere gürültü unsuru simetrik hata yapısı çerçevesinde dâhil edilmiş, buna karşılık gelen stokastik problemler oluşturulmuştur. Sonuç olarak, rassal verilerle elde edilen sonuçların, deterministik verilerle elde edilen sonuçlara göre etkinlik sınırını yumuşattığı, gürültüye duyarlı verilerle uğraşan enerji sektörünün etkinliğinin stokastik etkinlik analiziyle arttığı, modellerde kullanılan farklı hata seviyelerinde artış olduğunda, etkin birim sayısının azaldığı anlaşılmıştır. Çalışma, Türkiye'de elektrik dağıtım şirketlerinin değerlendirilmesinde, simetrik hata yapısı ile stokastik verileri Veri Zarflama Analizine dâhil eden ilk yaklaşımdır.

Bilim Kodu	:	114611
Anahtar Kelimeler	:	Veri zarflama analizi, şans kısıtlı stokastik programlama, simetrik hata yapısı, elektrik dağıtım şirketleri
Sayfa Adedi	:	99
Danışman	:	Prof. Dr. Bilal TOKLU

EFFICIENCY MEASUREMENT BY THE STOCHASTIC DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: COMPARATIVE ANALYSIS OF TURKISH ELECTRICITY DISTRIBUTION COMPANIES

(Phd Thesis)

Zühre AYDIN YENİOĞLU

GAZI UNIVERSITY

INFORMATICS INSTITUTE

July 2020

ABSTRACT

Decision makers, want to know whether the decision making units use their resources in the best way, whether they provide good service with these resources, whether they provide technical efficiency with their current inputs and outputs while analyzing the efficiency of electricity distribution units. Companies have incomplete and uncertain data due to internal or external factors. Because of these uncertainties, probability theory is needed instead of deterministic models through performance analysis. The Data Envelopment Analysis technique, which is frequently used in efficiency analysis, may cause noise-induced measurement error in the data since the efficiency limit is sensitive to these errors. This study aims to measure and compare the performance of Turkey's 21 electricity distribution units, by adding random input and random output variables to stochastic Data Envelopment Analysis models and analyzing efficiency within symmetrical error structure. With the study, stochastic input and output oriented chance constraint BCC and CCR Data Envelopment Analysis models were compared with deterministic input and output oriented BCC and CCR Data Envelopment Analysis models, and under the normal distribution assumption, stochastic measurement values were verified with deterministic measurement values. Stochastic models were converted to their deterministic equivalents and then linearized. The aim is to create oriented Data Envelopment Analysis models that take into account stochastic noise with uncertain data, and to measure effectiveness or ineffectiveness of units accordingly. The noise factor is included in the models within the framework of a single factor symmetrical error structure and corresponding stochastic problems are created. As a result, it has been understood that the results obtained with random data soften the efficiency limit according to the results obtained with deterministic data, the efficiency of the energy sector dealing with uncertain data increases with stochastic efficiency analysis, and when the different error levels used in the models increase, the number of effective units will decrease. The study is the first approach that includes all the stochastic DEA models with symmetric error structure for the evaluation of the electricity distribution companies of Turkey.

Science Code : 114611
Key Words : Data envelopment analysis; chance-constrained stochastic programming; symmetric error structure; electricity distribution units.
Page Number : 99
Supervisor : Prof. Dr. Bilal TOKLU

TEŞEKKÜR

Tez hazırlama süreci boyunca değerli katkı, bilgi, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Bilal TOKLU'ya, araştırmalarım boyunca, tez yazmamı cesaretlendiren, desteğini gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Uğur ÖZCAN'a, tez izleme komiteleri sürecinde destek ve katkılarıyla yanımda olan Prof. Dr. Mehmet Ali AKÇAYOL'a ve Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmalarım boyunca, hem iş hayatı hem de akademik hayatı paralel sürdürmem konularında hoşgörüsünü, yardımını ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim EPDK Bilgi İşlem Dairesi Başkanı Sayın Mehmet YILMAZER' e teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde daima yanımda olan değerli annem ve babam Leyla-Mekki AYDIN'a, canım eşim Adnan Batuhan YENİOĞLU'na, biricik destekçim kızım Deniz YENİOĞLU' na, değerli kardeşlerim Canan-Süheyl AYDIN'a, Sara-Burak BELGE'ye, Gizem-Furkan ÖZDİL'e, yeğenlerim Özgür AYDIN'a, Can BELGE'ye ve Duru Alkım AYDIN'a sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. TÜRKİYE'DE ELEKTRİĞİN DAĞITIMI VE ELEKTRİK SEKTÖRÜNDE BELİRSİZLİK ALTINDA ETKİNLİK 7

2.1. Elektrik Enerjisi, Tarihsel Gelişimi ve Elektriğin Dağıtımı 7

2.2. Elektrik Dağıtım Şirketlerinde Olasılıklı Durumlar ve Belirsizlik Altında Karar Verme 16

2.3. Elektrik Sektöründe Etkinlik Kıyaslamaları 20

3. PERFORMANS ÖLÇÜMÜNDE ALTERNATİF BİR YÖNTEM: SİMETRİK HATA YAPISI KAPSAMINDA STOKASTİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ 25

3.1. Etkinlik Ölçümü ve Kıyaslama (Benchmarking) Yöntemleri 25

3.1.1. Klasik (Deterministik) veri zarflama analizi 32

3.1.2. Stokastik veri zarflama analizi 39

3.2. Literatür Taraması 53

4. TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETLERİNİN SİMETRİK HATA YAPISI KAPSAMINDA DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 63

4.1. Girdi ve Çıktı Seçimi 63

4.2. Betimleyici İstatistikler ve Verilerin Analize Uygun Hale Getirilmesi 65

Sayfa

4.3. VZA Modellerinin Uygulanması 69
4.4. Bulgular 72
4.5. Stokastik Modellerin Doğrulanması 81
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 85
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. 2018 yılı elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı 8

Çizelge 2.2. İthal edilen elektrik enerjisinin yıllar itibariyle dağılımı 11

Çizelge 2.3. Etkinlik ölçüm yöntemlerinin kısaca karşılaştırılması 22

Çizelge 3.1. Literatürde çalışılmış bazı kıyaslama yöntemlerinin sınıflandırılması 31

Çizelge 3.2. Terminoloji 42

Çizelge 3.3. Elektrik dağıtım birimlerinin değerlendirilmesi için önerilen yaklaşım ve diğer çalışmalar 59

Çizelge 3.4. Elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik analizlerinde yaygın olarak kullanılan değişkenler 61

Çizelge 4.1. Türkiye'de illere göre elektrik dağıtım şirketleri 64

Çizelge 4.2. Tahmini girdi parametreleri 66

Çizelge 4.3. Tahmini çıktı parametreleri 67

Çizelge 4.4. Modellerde kullanılan girdiler ve çıktılar arasındaki korelasyon 68

Çizelge 4.5. Verilerin normal dağılımının incelenmesi 69

Çizelge 4.6. Deterministik VZA modelleriyle elde edilen sonuçlar 72

Çizelge 4.7. Farklı α değerlerinde stokastik girdi odaklı BCC VZA sonuçları 75

Çizelge 4.8. Farklı α değerlerinde stokastik girdi odaklı CCR VZA sonuçları 76

Çizelge 4.9. Farklı α değerlerinde stokastik çıktı odaklı BCC VZA sonuçları 77

Çizelge 4.10. Farklı α değerlerinde stokastik çıktı odaklı CCR VZA sonuçları 78

Çizelge 4.11. Girdi yönlü stokastik ve deterministik VZA modellerinin karşılaştırılması ve doğrulanması 82

Çizelge 4.12. Çıktı yönlü stokastik ve deterministik VZA modellerinin karşılaştırılması ve doğrulanması 82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. 2008-2018 birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları 7

Şekil 2.2. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi 8

Şekil 2.3. Elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı 10

Şekil 2.4. Türkiye'nin enerji kuruluşlarının ve faaliyetlerinin geçmişi 13

Şekil 2.5. VZA ve SFA sınır değerleri 23

Şekil 3.1. Kıyaslama (Benchmarking) yaşam döngüsü 26

Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kıyaslama yönteminin seçimine ilişkin akış şeması 29

Şekil 3.3. VZA' da kullanılan modeller 35

Şekil 3.4. Gürültüyü modellere dâhil etmeyen ve dâhil eden VZA yöntemleri 41

Şekil 4.1. Türkiye' de faaliyet gösteren 21 elektrik dağıtım şirketi 63

Şekil 4.2. Elektrik dağıtım birimlerinin performans ölçümü için önerilen yaklaşımın akış şeması 71

Şekil 4.3. Girdi yönlü deterministik modellerin karşılaştırılması 73

Şekil 4.4. Çıktı yönlü deterministik modellerin karşılaştırılması 74

Şekil 4.5. Stokastik BCC modeliyle her KVB için α değerlerinin karşılaştırılması 79

Şekil 4.6. Stokastik CCR modeliyle her KVB için α değerlerinin karşılaştırılması 80

Şekil 4.7. Girdi yönlü stokastik ve deterministik modellerin grafiklerle karşılaştırılması ve doğrulanması 83

Şekil 4.8. Çıktı yönlü stokastik ve deterministik modellerin grafiklerle karşılaştırılması ve doğrulanması 83

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADM	Aydın Denizli Muğla
BCC	Banker- Charnes-Cooper
CAPEX	Yatırım harcamaları
CCR	Charnes-Cooper-Rhodes
COLS	Düzeltilmiş sıradan en küçük kareler yöntemi
CRS	Ölçeğe göre sabit getiri
DSİ	Devlet Su İşleri
EDAŞ	Elektrik dağıtım şirketi
EDS	Elektrik dağıtım sistemi
EİS	Elektrik iletim sistemi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPK	Elektrik Piyasası Kanunu
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
EÜS	Elektrik üretim sistemi
GAMS	General algebraic modelling system
GWh	GigaWatt-Saat
kV	Kilo volt
KVB	Karar verme birimi
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
MOLS	Değiştirilmiş sıradan en küçük kareler yöntemi
MW	MegaWatt
MWe	MegaWatt elektrik
OPEX	Operasyon harcamaları
Ort.	Ortalama
PCA	Temel bileşen analizi
SPSS	Statistical package for the social sciences
Std. Sap.	Standart sapma
StoNED	Stokastik yarı parametrik olmayan veri zarflama analizi
SVZA	Stokastik veri zarflama analizi
TEAŞ	Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi

Kısaltmalar	Açıklamalar
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TF	Toplam faktör
TFP	Toplam faktör etkinliği
Var.	Varyans
VRS	Ölçeğe göre değişken getiri
VZA	Veri zarflama analizi

1. GİRİŞ

Elektrik dağıtım şirketlerinin etkinliği çalışmaları, endüstri yapısı ve tarife ortamındaki reformların bir parçası olarak, dünya çapında çok sayıda kamu düzenleyicisinin, teşvik temelli programlarıyla 90'lı yıllardan bu yana irdelenmektedir. Teşvik düzenlemesinin amacı, enerji piyasası etkinliğinde iyileştirmeler sağlamaktır. Bu yüzden arz-talep eğilimlerini anlamak, şeffaf ve öngörülü olmak, taban çizgileri oluşturmak ve en iyi uygulamaları belirlemek düzenleyici faaliyetlerin ayırt edici özellikleri haline gelmiş, şirketler arası kıyaslamalarla performans analizleri yaygınlaşmıştır.

Genel olarak kıyaslama, gerçek şirketlerin performans göstergelerinin bir "referansı" veya “karşılaştırılması” olarak tanımlanabilir. Bir kıyaslama çalışmasında, şirketlerin girdileri çıktılara dönüştüren üretim kuruluşları olduğu düşünülmektedir. Buradaki en önemli sorun, düzenleyici kurumların belirli bir çıktı seviyesini elde etmek amacıyla şirketlerin kullandıkları girdi miktarını belirlemek noktasında genellikle doğru, belirli ve yeterli bilgiye sahip olunmamasıdır. Eğer girdiler parasal açıdan yani üretim maliyetleriyle doğru bir şekilde değerlendirilirse, düzenleyici kurumlar belirli bir şirketin maruz kaldığı maliyetin uygun olup olmadığını veya bu maliyetin çıktılardan ödün vermeden azaltılabileceğini belirlemek için bir ölçüt ya da denetim unsuru saptayabilirler.

Diğer enerji türlerine göre öne çıkan elektrik enerjisinin en iyi maliyet ile depolanamaması, bu sektörü diğer enerji türlerinden ayırmaktadır. Üretim aşamasında tüketilmesi gereken elektrik enerjisi, üretim sonrası iletim, dağıtım şebekesi ile gerekli alanlara ulaştırılmaktadır. Üretim sürecinden tüketime kadar elektrik sektöründe sürekli, kesintisiz ve kaliteli bir hizmet ,enerjinin gerekli yerlere ulaştırılması süreçleri ve gereksinimler kapsamında iyi analiz edilmiş bir yatırım maliyeti gerektirir. Bu nedenle, hizmet kalitesi, maliyeti, sürekliliği ile üretim-iletim-dağıtım aşamalarından oluşan elektrik enerjisi sektörü için üretim aşamasından tüketim aşamasına kadar tüm faaliyetlerin süreç odaklı işletilerek etkinliğinin sistemli bir şekilde ele alınması önemlidir.

Şirketler faaliyet süreçlerinde yer alan girdileri kullanarak süreçler sonucunda amaçladıkları çıktıları üretmeye çalışırlar. Eldeki girdilerle beklenen çıktılara ulaşmayı amaçlayan üretim faaliyetinde; şirketlerin ya da birimlerin maliyeti en aza indirgemek, karda ise elde edebilecekleri yüksek değerlere ulaşmak gibi yönetimsel ve davranışsal hedefleri vardır.

Sektörlerde, bir faaliyet birimi karını maksimum yapabilecek, maliyetini ise minimum seviyede tutabilecek şekilde hizmet sağlıyorsa söz konusu birim kıyaslamalarda etkindir.

Veri Zarflama Analizi(VZA), modellerine çoklu çıktı elde etmek için çoklu girdi ekleyebilen karar verme birimlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir tekniktir. Klasik VZA'da girdiler ve çıktılar deterministiktir yani rassallığa izin vermez. Bu durum gelecekteki tutarsızlıklara karşı alınabilecek önlemlerin öngörülememesine neden olmaktadır. Bu nedenle hesaplamalarda olasılık teorisini de modele ekleyen stokastik yani rassal verilerin yer aldığı ve olasılık teorisini modellere dâhil eden VZA ele alınmalıdır.

Etkinliğin belirlenmesi için kıyaslama çalışmalarının kullanılması yaygındır. Etkinlik çalışmalarıyla şirketler için hedefler daha hassas ve rassallığı göz ardı etmeyecek bir şekilde oluşturulabilir. Türkiye elektrik dağıtım sektöründe, farklı modellerin sonuçlarını doğrulamak ve her şirket için etkin işletme maliyetlerini belirlemek için düzenleyici kurum Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından kıyaslama teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerin ve metodolojilerin yanı sıra, stokastik faktörlerin ve çevresel özelliklerin, yönetimsel kontrolün ötesinde maliyet sınırındaki etkilerini incelemek gereklidir. Stokastik faktörler ve verilerde bulanıklık, doğru karar verme süreçlerini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle olasılıklar metodolojilere ve kıyaslama modellerine eklenerek karar verme süreçlerinde kesinlik sağlanmalıdır.

Etkinlik, daha fazla kazanç elde etmek ve daha çok çıktı sağlamak amacıyla hammadde, işgücü, enerjiden tasarruf elde edilerek sağlanır.

Belirlenen üretim süreci girdilerine göre mümkün olan en çok çıktı miktarını elde etmeye ya da istenen çıktıları mümkün olan en az girdilerle elde etmeye teknik etkinlik adı verilmiştir. Genel olarak literatürde teknik etkinlik özelliği, süreçler kapsamında belirlenen çıktı vektörünü elde etmek için optimal girdi değişkenlerini işlemlere dahil etmek ya da belirli girdi vektörü ile optimal çıktı değişkenlerini elde edebilmek şeklinde tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, süreçlerin performans ölçümünde yapılan teknik etkinlik analizi süreç çıktılarını maksimize etmeyi ya da girdilerini minimize etmeyi hedefler. Firmaların teknik etkinliği, gözlemlenen üretimle potansiyel üretim arasındaki ilişkilerdir. Firmanın teknik etkinlik skoru, gözlenen çıktı düzeyiyle etkin üretimi arasındaki sapma ile hesaplanmaktadır. Eğer bir firmanın üretim düzeyi etkin üretim setinin üzerindeyse firma teknik etkindir.

Karar verme birimlerinin teknik etkinlik analizi ile çıktılarında bir azalma olmadan girdilerinin amaçlar doğrultusunda ne kadar azaltılabileceği hesaplanabilir. Söz konusu girdi miktarları, amaçlanan girdi değerleri olarak hesaplanır ve karar verme biriminin etkin olması için bu değerlere ulaşması gerekir. Karar verme biriminin teknik etkinlik değeri 1 ise, söz konusu karar birimi en iyi performansa sahiptir ve belirlenen etkinlik sınırının üzerinde yer almıştır. Diğer taraftan, karar verme biriminin teknik etkinlik değeri 1'den düşük ise, bu karar birimi etkin çalışmıyor ve iyi bir performansa sahip değil demektir.

Teknik etkinlik değerleri girdi yönelimli veya çıktı yönelimli modeller kullanılarak elde edilebilir. Girdi yönelimli modeller çıktıların sabit olduğunu kabul ederek etkinliğin maksimize edilebilmesi amacıyla girdilerin minimize edilmesi için çalışır. Başka bir şekilde ifade edecek olursak, girdi odaklı modeldeki teknik etkinlik değeri amaçlanan çıktı seviyesini değiştirmeden girdi seviyesinin ne kadar azaltılması gerektiğini incelerken, çıktı odaklı modeldeki teknik etkinlik değeri girdi seviyesi değiştirilmeden istenen çıktı seviyesi ne derece artırılmalıdır konusunu irdeler. Girdi odaklı veya çıktı odaklı modellerin seçimi analiz yapılacak endüstrinin yapısına, hedeflerine ve üretim süreçlerine bağlıdır. Karar birimi sabit girdilerini kullanıp çıktılarını maksimize etmesi gereken bir üretim sürecinde faaliyet gösteriyorsa çıktı odaklı model kullanılmalıdır. Diğer taraftan, birim sabit çıktıları elde etmek amacıyla girdilerini azaltması gereken bir üretim sürecinde faaliyet gösteriyorsa girdi odaklı model kullanılmalıdır.

Çalışmada, gelecek planması için elektrik dağıtım şirketleri karar verme birimleri (KVB) olarak değerlendirilip, KVB'lerin üretim süreçlerinde en iyi şekilde faaliyet gösterdiklerini kabul ederek, görece toplam etkinliklerinin değerlendirilmesinde deterministik ve stokastik yaklaşımla girdi-çıktı yönelimli CCR model ile girdi-çıktı yönelimli BCC model uygulanmıştır. Ayrıca, deterministik VZA' daki yetersizliklerin üstesinden gelmek için simetrik hata yapısı ve şans kısıtlı stokastik programlama ile genişletilen modeller ile "Türkiye'de faaliyet gösteren 21 elektrik dağıtım şirketi tarafından gerçekleştirilen elektrik dağıtımı" üzerine performans kıyaslama analizi yapılacaktır. 21 elektrik dağıtım şirketi KVB olarak seçilmiştir. Etkin olmayan KVB ya da KVB'ler belirlendikten sonra etkinliğin sağlanması amacıyla referans KVB'ler belirlenecek, bunlardan yola çıkarak etkin olmayan KVB'ler için iyileştirme önerileri yapılacaktır.

Şans kısıtlı stokastik VZA, kısıtların çok sık olmamakla birlikte esnetilmesine, elenmesine olanak tanımakta, böylece VZA'yı stokastik bir yapıya dönüştürmektedir.

Elektrik enerjisi dağıtım sektöründe dağıtım birimleri bölgelerindeki abonelere ya da müşterilere kaliteli hizmet sağlamalıdırlar. Ancak gerek sektörün yapısı ve üretim sürecindeki çevresel faktörler, gerek şirketlerin ihtiyaçları, mevzuatları ve amaçları nedenleriyle dağıtım şirketleri çıktıları üzerinde tam kontrolü sağlayamamaktalar. Türkiye elektrik enerjisi dağıtımı 21 elektrik dağıtım şirketi tarafından gerçekleştirilmektedir. Farklı nedenlerden dolayı ortaya çıkan olasılıksal durumlar göz önüne alındığında, Türkiye'de 21 elektrik dağıtım şirketinin etkinlik analizinde şans kısıtlı stokastik VZA (SVZA) tercih edilmiştir.

Bu nedenlerle elektrik dağıtım şirketlerinin kıyaslanması için etkinliklerinin hesaplandığı çalışmada esas amaç, elektrik dağıtım şirketlerinin performans etkinliklerini hem maliyet hem de teknik açıdan stokastik VZA kapsamında şans kısıtlı CCR ve BCC modellerini kullanarak incelemek, etkinlik skorlarına göre şirketlerin maliyet açısından ve teknik açıdan performanslarının yıllar boyunca değişimleri, söz konusu değişimlerin tutarlı olup olmadıkları ve şirketlerin maliyet ve teknik bazda optimum çalışıp çalışmadıklarını ortaya çıkarmaktır. Çalışmada elde edilen değerlerle, etkin olmayan dağıtım birimlerinin etkin olmamalarını sağlayan sebepler incelenerek, süreçlerindeki etkin olmama durumuna hesaplamalarda kullanılan girdilerin ya da çıktıların mı yoksa başka faktörlerin mi sebep olduğu irdelenmeye çalışılmıştır. Türkiye elektrik dağıtım şirketleri 2008-2011 yılları itibariyle büyük oranda özelleştirme sürecine girmiştir. 2011 sonrası veriler bize özelleştirmenin etkileri ve şirketlerin özelleştirme sonrası etkinlikleri ile ilgili fikir verecektir. Bu kapsamda şirketlerin 2011-2016 yılları arası etkinlik değişimleri incelenerek özelleştirme sürecinin bu şirketler üzerindeki etkileri öngörülmeye, etkinlik sonuçlarına göre CCR ve BBC modelleri arasındaki farklılıklar da gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde Türkiye elektrik dağıtım şirketlerinde performans kıyaslama ihtiyacının nedenleri, şirketlerin performans ölçümünde kullanılabilecek yöntemler anlatılırken, ikinci bölümünde elektrik dağıtımının tarihsel gelişimi, dağıtım piyasası faaliyetleri, elektrik dağıtım şirketlerinde olasılıklı durumlar altında karar verme, olasılıklı durumların nedenleri ve elektrik dağıtım şirketlerinde performans ölçümü, etkinlik kıyaslaması üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde, etkinlik ölçümü ve kıyaslama yapmak

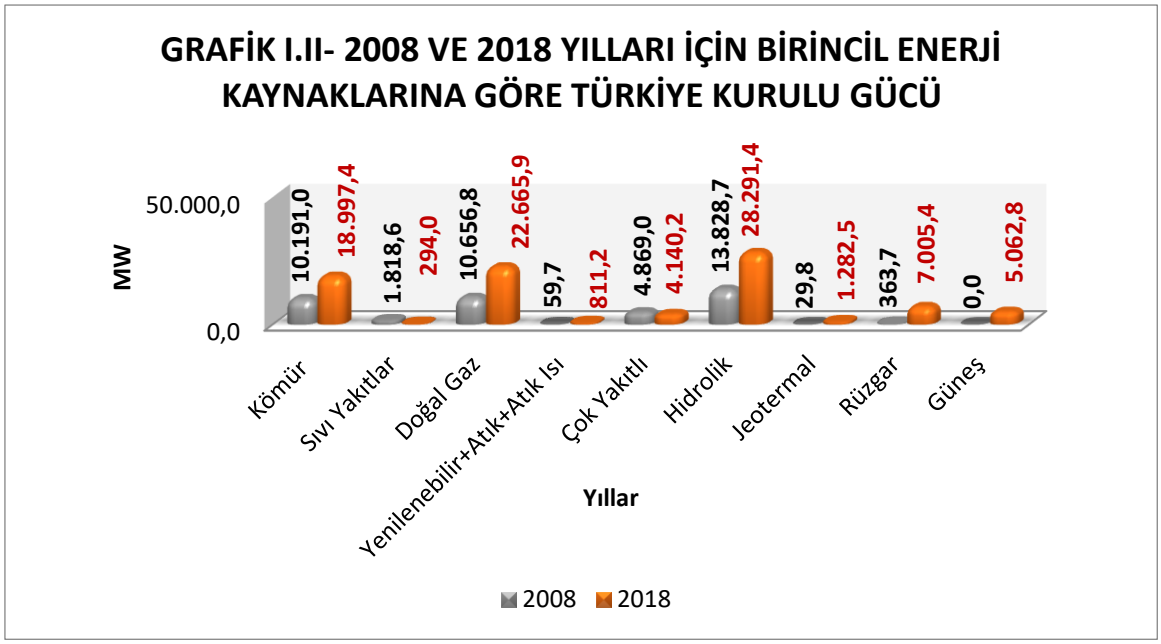
amaçlarıyla kullanılan genel yöntemler ve bu yöntemler arasındaki farklılıklar anlatılırken, çalışma çerçevesinde alternatif bir yöntem sunmak amacıyla, öncelikle deterministik sonrasında ise stokastik veri zarflama analizi ile performans ölçüm nedenleri ve bu yöntemin modelleri sunulmuştur. CCR ve BCC modellerinin mantığı ve işleyişi açıklanmıştır. Aynı bölümde, şans kısıtlı stokastik veri zarflama analizi modellerinin deterministik eşitleri ve önerilen modele eklenen simetrik hata yapısı verilmiştir. Ardından elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik ölçümü ve kıyaslaması için yurtdışında ve Türkiye'de yapılmış literatür taramasına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulama verileri, verilerin tanımlayıcı istatistikleri, analiz edilen verilerin değerleri sunulmuş, söz konusu VZA modellerinin GAMS matematiksel programlama ve modelleme uygulamasında çalıştırılması sonucu elde edilen bulgular eklenmiştir. Stokastik modellerin bulguları, deterministik modellerin bulgularıyla kıyaslanıp modeller arası doğrulama sağlanmış ve dördüncü bölümde sunulmuştur. Beşinci bölümde ise 21 elektrik dağıtım şirketinin 2011-2016 yılları arası performansları bulgular doğrultusunda değerlendirilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE ELEKTRİĞİN DAĞITIMI VE ELEKTRİK SEKTÖRÜNDE BELİRSİZLİK ALTINDA ETKİNLİK

Karar verme birimleri arasında gerçekleşen kıyaslama çalışmalarında, etkinliğin doğru ve güvenilir bir şekilde ölçülmesi için faaliyet süreçlerinde hedefler daha hassas olacak şekilde belirlenebilir. Türkiye elektrik dağıtım sektöründe, optimizasyon çalışmalarında dağıtım şirketlerinin etkin işletme maliyetlerini optimal şekilde belirlemek için stokastik faktörler doğru karar verme süreçlerinde önemsenmelidir. Çalışmanın bu bölümünde, elektrik dağıtım sektörünün geçmişten bugüne işleyiş şekli üzerinde durulup, elektrik sektöründe bulanıklığa neden olan konular ele alınacak ve bununla ilgili literatürde yer alan çalışmalara değinilecektir.

2.1. Elektrik Enerjisi, Tarihsel Gelişimi ve Elektriğin Dağıtımı

Türkiye'de elektrik enerjisinin üretimi, üretim aşamasında yer alan kaynaklara göre sırasıyla doğalgaz, hidroelektrik, ithal kömür, linyit ve taşkömürü, motorin ve fuel-oil , rüzgar, biyogaz, güneş enerjisi ve jeotermal ile sağlanmaktadır. Aşağıda yer alan çizelge ve şekillerde, Türkiye'de 2008-2018 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları, 2018 yılı elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı, Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 2008-2018 birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları [1]

Çizelge 2.1. 2018 yılı elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı [1]

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	KATKISI (%)
İthal Kömür	62.988,5	20,67
Taşkömürü + Asfaltit	5.173,1	1,70
Linyit	45.087,0	14,79
Doğal Gaz	92.482,8	30,34
Sıvı Yakıtlar	329,1	0,11
Barajlı	40.972,1	13,44
D.Göl ve Akarsu	18.966,4	6,22
Rüzgar	19.949,2	6,54
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	3.622,9	1,19
Jeotermal	7.431,0	2,44
Güneş	7.799,8	2,56
TOPLAM	**304.801,9**	**100,00**



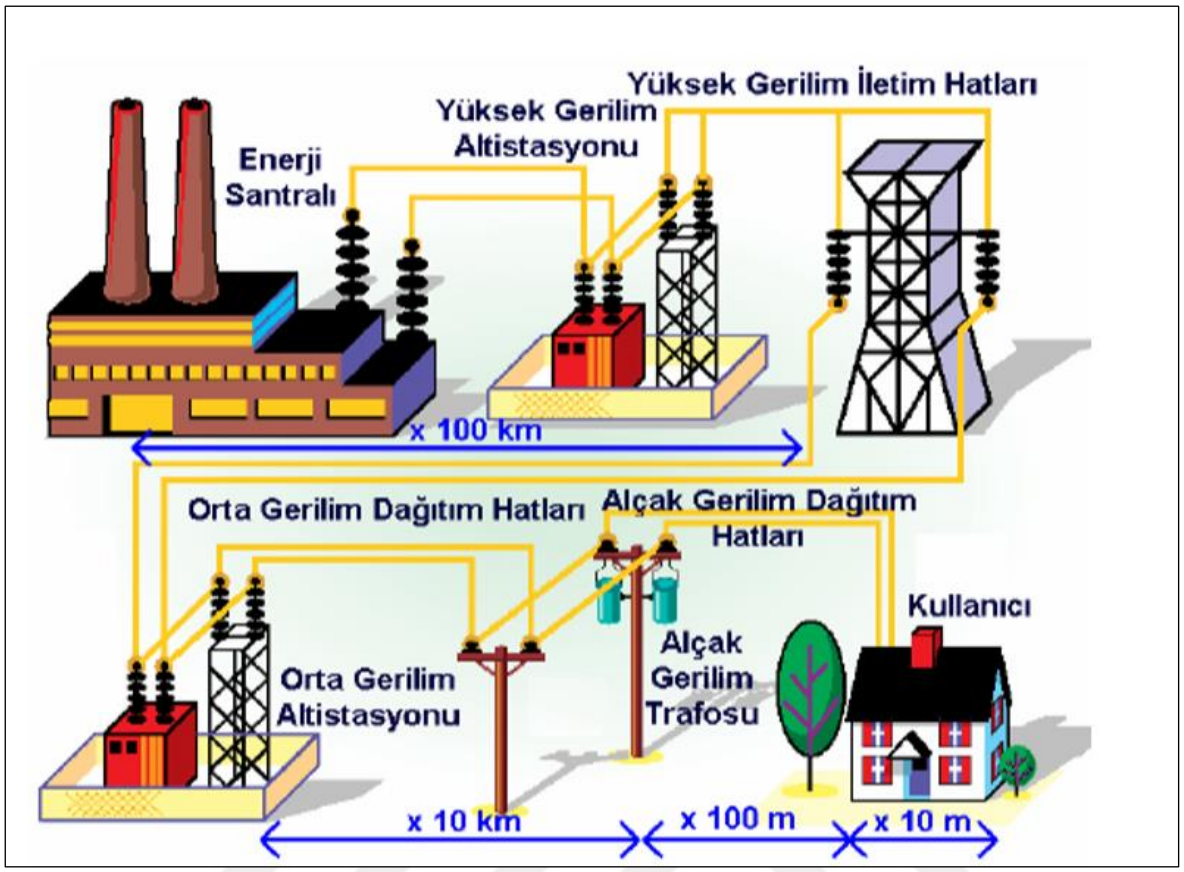
Şekil 2.2. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi [1]

Elektrik enerjisi sistemi genel olarak EÜS (Elektrik Üretim Sistemi), EİS (Elektrik İletim Sistemi) ve EDS (Elektrik Dağıtım Sistemi) aşamalarından oluşur. Elektrik, üretim tesislerinde ve santrallerde üretilir. Üretilen elektrik anlık olarak iletilmelidir. Depolanması mümkün olmayan elektrik enerjisi üretilir üretilmez iletim hatlarına aktarılır. Elektrik üretimi-iletimi-dağıtımı özet olarak; üretim hattından yüksek gerilim ile çıkan elektrik enerjisinin indirici merkezlerinde ilk önce orta gerilime düşürülmesi, sonrasında orta gerilim

seviyesinden transformatörler yardımıyla alçak gerilime düşürülmesi ve son olarak kullanıcıların hizmetine sunulmasıdır. Üretimden iletim hatlarıyla tüketim noktalarının yakınlarına kadar, yüksek gerilimle gelen enerjinin gerilimi düşürülerek tüketicilere ait sayaç ve servislere kadar ulaştırılmasına elektrik dağıtımı adı verilir. Elektrik enerjisinde üretimden tüketime kadar olan süreç son derece hassas ve karmaşık donanımla yapılır. Elektrik üretim, iletim, dağıtım işlemleri kapsamında abonelere ulaşmaktadır. Bu işlemlerden üretim aşaması en maliyetli aşamadır. Elektriğin önemli kısmının doğalgaz ile üretilmesi ve doğalgazın yurt dışından ithal edilmesi nedeniyle maliyet yüksektir.

Elektrik dağıtım sistemi elektriği yüksek gerilimli ulusal iletim sisteminden tüketiciye ulaştırabilmek için tasarlanan birleşik bir ağdır. Genel olarak, elektrik dağıtım şebekeleri, trafo merkezleri, orta gerilim hatları, dağıtım transformatörleri, dağıtım merkezleri, alçak gerilim dağıtım hatları ve ölçü devreleri öğelerini kapsar. Üretilen elektrik enerjisinin mümkün olduğunca ekonomik, kayıpsız, güvenli, kaliteli ve sürekli bir şekilde ulaştırılması, elektriğin üretimi kadar önemli bir süreçtir. Yüksek gerilimli elektrik enerjisi depolanamayan bir enerji türü olması nedeniyle üretildiği anda hemen kullanıcıya ulaştırılmalıdır.[2]

Aşağıda yer alan şekilde santrallerde üretilen elektrik enerjisinin müşterilere ulaştırılması amacıyla kullanılan enerji üretim, iletim ve dağıtım mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı [3]

Elektrik enerjisinin üretimden tüketime doğru iletilerek dağıtılması gerekir. İletim; şalt merkezleri, direkler, enerji iletim hatları, trafolar, izolatörler, kesiciler, ayırıcılar, bobinler, kondansatörler, parafudurlar ve diğer şalt tesisi elemanları aracılığıyla gerçekleştirilir. Elektrik santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı, iletim şebekelerinin kullanıldığı enterkonnekte sistemle sağlanır. Şebeke; elektrik enerjisi üreten enerji santralleri, enerji santrallerinden müşterilere enerji aktaran iletim kanalları, abonelere bağlantı sağlayan bileşik dağıtım hatlarıyla süreçlerde yer alır. Hizmet kalitesinin istenen seviyelerde sağlanması için, elektrik şebekelerinde oluşacak arızalar ya da olumsuzluklar müşterileri etkilememeli, gerekli önlemler alınmalıdır. Özetle, elektrik dağıtım şebekelerinin hat başında, hat ortasında ve hat sonunda bulunan abonelerin tümü sabit gerilim ve frekansta elektrik enerjisine ulaşabilmelidir.

Türkiye'de elektrik enerjisi dağıtım faaliyeti; elektrik enerjisinin TEİAŞ tarafından ulusal iletim hatlarından taşınması sonrası, yerel dağıtım şebekeleri üzerinden tüketicilere ulaştırılması süreçleriyle işler. Elektriğin dağıtımı; 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında lisans sahibi olan dağıtım şirketleri tarafından, ilgili şirketlerin lisanslarında

belirlenen bölgelerde yapılmaktadır. Dağıtım şirketleri, lisanslarında belirlenen bölgelerde elektrik sayaçlarının kurulumu, okunması, bakımı ve işletilmesi hizmetlerinden sorumludurlar. Lisanslarında belirlenen bölgelerdeki dağıtımı sağlamak, dağıtım tesislerini yenilemek, faaliyetler için kapasite ve artırım yatırımlarını analiz edip sağlamak, dağıtım sistemine bağlı tüm müşterilerine kaliteli ve güvenli hizmet sağlamakla yükümlüdürler. Bunların yanında; elektrik dağıtım şebekelerinin görevleri arasında; gereksinimlerinin ve firmaların yatırım ihtiyaçlarının analiz edilerek, analizler kapsamında yatırım planlarının oluşturulması, bu planların gerçekleşmesi ve bütçe takibinin yapılması, beş yıllık yatırım bütçesi ve ihtiyaç ya da gerekçe raporlarının, EPDK'ya sunulmak üzere hazırlanan yatırım raporlarının oluşturulması hususları yer almaktadır.

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda lisans alınması şartıyla piyasa faaliyetleri içerisinde elektrik enerjisinin ithalatı da yer almıştır. Elektrik ithalatının sadece uluslararası enterkonneksiyon şartı olan ülkelerle yapılabileceği belirlenmiştir. Aşağıda 2016 yılından 2018 yılına kadar elektrik enerjisinin ithal edildiği ülkeler ve ithalat miktarları yer almaktadır.

Çizelge 2.2. İthal edilen elektrik enerjisinin yıllar itibariyle dağılımı [6]

İTHAL EDİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN YILLAR İTİBARİYLE AYLIK DAĞILIMI Birim(Unit): GWh			
ÜLKELER	**2016**	**2017**	**2018**
Bulgaristan	4.587,0	2.073,0	2.051,3
Gürcistan	1.039,3	493,9	414,9
Azerbaycan	0,0	0,0	0,0
Türkmenistan-(İran)	635,8	160,8	0,0
Yunanistan	68,3	0,5	10,7
TOPLAM	6.330,3	2.728,3	2.476,9

NOT: Gürcistan ve Azerbaycan'dan elektrik ithalatı, bu ülkelere ihraç edilen elektriğin bedelinin, karşılıklı anlaşılan oranlarda yine elektrik olarak tahsili için yapılmaktadır.

Elektriğin tarihçesine değinecek olursak; günlük hayatta elektrik ilk defa 1878 yılında kullanılmaya başlanmıştır. İlk elektrik enerjisi santrali olan Holborn Viaduct Londra'da 1882'de kurulmuştur. Türkiye'de ilk elektrik enerjisi santrali Tarsus'ta 1902'de 2 kW gücünde kurulmuştur. İstanbul'da Alibeyköy Silahtarağa Santrali 1914'te kurulmuş ve İstanbul'a aydınlatma için elektrik dağıtımı sağlanmıştır.

1923 yılında Cumhuriyet ilan edildiğinde kurulu güç 33 MW iken sadece İstanbul, İzmir, Adapazarı ve Tarsus'ta elektriğin olduğu bilinmektedir. Osmanlı döneminden 1930'ların sonuna kadar küçük güçte hidrolik santraller kurulmuş, elektrik dağıtım şebekeleri üzerinden ihtiyaç sahiplerinin elektrik ihtiyacı giderilmiştir.

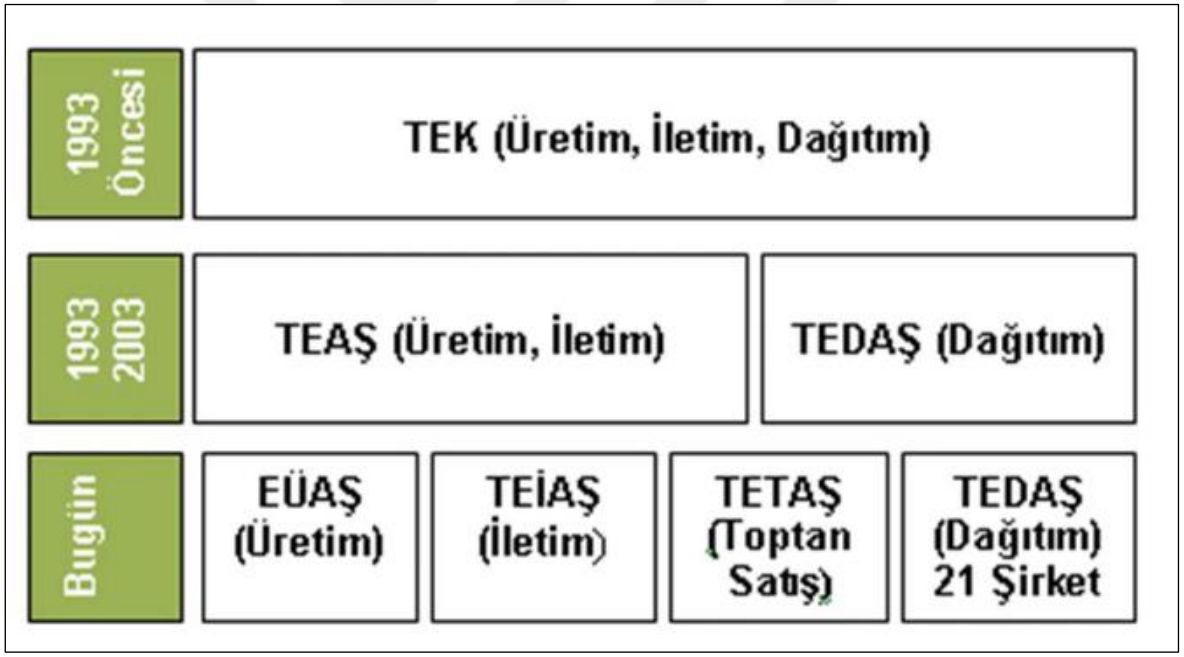
Yine 1930'larda İller Bankası, Etibank ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin kurulması sayesinde, elektrik enerjisi faaliyet süreçlerinin devlet planlaması ile yapılması, yerli olmayan firmalara verilmiş olan ayrıcalıkların 1939' da kaldırılması ve elektrik dağıtım şebekelerinin belediyelerin sorumluluğuna alınması ile birlikte elektrik dağıtım faaliyetlerinde kamu görev almıştır.[5]

1953'te toplanan Birinci Enerji Kongresinde, Türkiye'de elektrik sektörü faaliyetlerinin merkezi bir kurum sorumluluğunda ele alınması ihtiyacını belirten karar ileTürkiye Elektrik Kurumunun (TEK) kurulmasına karar verilmiştir. 1970'te 1312 sayılı kanun ile TEK kurularak elektrik sektörü faaliyetlerinin kamu tekeli olarak merkezileştirilmesi hususu ele alınmıştır. Böylece, ayrıcalıklı firmaların sorumlu oldukları bölgelerde ve ülke genelinde elektriğin üretim, iletim, dağıtım ve satış faaliyetleri TEK hizmetleri kapsamına alınmıştır. 2234,9 MW kurulu güç ile faaliyete geçen TEK'in hizmetlerinden tüm yurt genelinde olumlu sonuçlar alınmasından sonra Etibank, İller Bankası ve DSİ gibi kuruluşların sorumluluğunda yer alan elektrik santralleri ve şebekeleri TEK'e devredilmiştir.[5]

1982'de elektrik üretim ve iletim faaliyetleri dışında yer alan elektrik dağıtım faaliyeti belediyelerden sonra TEK'e devredilmiştir. Bu değişim ile belediyelerin ve köy birliklerinin kontrolü altında yer alan dağıtım şebekelerini de TEK'in devralması sonucu, tekel konumunda dikey bütünleşik merkezi bir organizasyonel yapı oluşturulmuştur. TEK, devam eden faaliyetlerin daha etkin ve çağdaş bir yapıyla devamlılığını sürdürmesi için, özelleştirme politikalarına uygun olarak 1993 yılında gerçekleşen Bakanlar Kurulu kararı ile, Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (TEAŞ) veTürkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olarak yeniden yapılandırılmıştır. TEDAŞ Genel Müdürlüğü, 1994 senesinde kamu tüzel kişiliğini elde edince elektrik enerjisinin etkinlik ve kârlılık prensipleri kapsamında dağıtım faaliyetlerini yerine getirmek üzere çalışmalarına başlamıştır . [4]

2001'de 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun (EPK) kabul edilmesi ile birlikte sektördeki kademeli ayrıştırma süreci devam etmiş, TEAŞ üç ayrı kamu şirketine ayrıştırılmıştır. Bu şirketler:

- Elektrik Üretim Anonim şirketi (EÜAŞ): Kamu bünyesinde yer alan elektrik üretim tesislerinin işletilmesi ve elektrik üretim faaliyetleri için kurulmuştur.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ): Elektrik iletim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için sistem ve piyasa işletmecisi olarak kurulmuştur.
- Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ): Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. ile uzun dönemli elektrik alım sözleşmeleri olan üreticilerden elektrik satın almakla ve bu elektriği dağıtım şirketlerine satmak yetkisiyle kurulmuştur.



Şekil 2.4. Türkiye'nin enerji kuruluşlarının ve faaliyetlerinin geçmişi [4]

Dağıtımdan sorumlu olan TEDAŞ, 2008 tarihine kadar elektriğin dağıtımını kendi bünyesinde gerçekleştirmiştir. 2004 senesinde özelleştirme kapsamına alınan TEDAŞ'ın, sorumluluğunda olan 21 dağıtım şirketi için özelleştirme çalışmaları başlamıştır. Elektrik sektöründe dağıtım faaliyetinin özelleştirilmesine; satılan enerjide kayıp-kaçak oranlarının yüksekliği, hizmet kalitesindeki problemler ve yetersizlikler, ihtiyaç duyulan yatırım sıkıntıları ve rekabet ortamının oluşması neden olmuştur.

Elektrik enerjisi özelleştirme sebeplerini Özelleştirme İdaresi Başkanlığı; etkin dağıtım piyasası faaliyeti, maliyetlerin en aza indirgenmesi, elektrik enerjisinde arz güvenliğinin sağlanması, arz kalitesinin yükseltilmesi, kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi, yenileme ve genişleme yatırımlarının özel sektör bünyesinde yapılması, rekabet ortamında sağlanan faydaların müşterilere yansıtılması olarak sıralamıştır.[4]

Bu ihtiyaçlar doğrultusunda örneklere değinecek olursak; gerilimin düşük olduğu yerlerde kalitesiz enerji sunulduğu, kayıpların oluştuğu bilinmektedir. Bu nedenle, gerilim düşüşleri yapılan faaliyet planlarında göz önüne alınmalıdır. Gerilim düştükçe akım yükselmektedir, bu durum hat kayıplarını arttırarak enerji kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır.

Kayıp oranlarının azaltılması konusunda ise; dağıtım tesislerinde yer alan trafoların gerekli olmayan büyüklükte kullanılmaması ve trafoların yüklenmesi gereken enerji miktarı göz önüne alınmalı, şehir merkezlerinde belediyeler yeteri kadar büyüklükte trafo alanı oluşturmalıdır. Tüketimin yoğunlaştığı merkezi alanlara kadar 380 kV ve 154 kV'luk hatların sağlanması gerekmektedir. Kablo teknolojisinin gelişmesi nedeniyle bu hatlar şehirlerin merkezine kadar getirilmekte, gaz izoleli trafo merkezleri ile güvenli trafo merkezleri sağlanmaktadır.

Elektrik dağıtımında ihtiyaç duyulan elektrik yükü yükseldikçe, verilen hizmette kalitenin sağlanması yatırımların gerçekleştirilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Tüketicilerin satılan enerjiyi güvenli, kaliteli ve kesintisiz satın alabilmesi, dağıtım şebekelerinin sorunlarının giderilmesi yoluyla sağlanabilir. Müşterilere sabit gerilim altında elektrik enerjisinin sunulabilmesi, iletim ve dağıtım faaliyetlerinde yeterli dağıtım kapasitesinin var olduğunu gösterir. Sabit frekans ise, enerjinin farklı yüklenme koşullarında frekansının değişmemesi, yani sistemin değişken yüklenme durumlarında yeterli miktarda üretim biriminin var olmasıdır.

Daha önce belirtildiği gibi; dağıtım faaliyetlerinde sürekli ve kaliteli elektrik sunumu sistemde ihtiyaç duyulan oranda ve kapasitede trafo olması, jeneratör bulunması, sistemin düzenli olarak bakımının yapılması ile ilişkilidir. Buna göre, kamunun işlettiği elektrik enerjisi dağıtım sektöründehizmette yaşanan kalite ve güven sorunları şöyle özetlenmiştir: Kalifiye elemanların olmaması, mevcut personelden yeterince verim alınamaması, yatırımların değerlendirmelerinde ihtiyaçların gerektiği şekilde gözetilmemesi, muhasebe

süreçlerinde otomasyona geçilememiş olması, sayaç okumalarında otomasyon eksikliğinden kaynaklı insan faktörünün var olması, bu nedenle sorunlar yaşanması, mali yönetimde eksiklikler olması, kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi amacıyla gerekli önlemlerin alınamaması, teknik arızalara müdahalelerde geç kalınması ve gerekli iyileştirmenin yapılamaması, müşteri ilişkilerinde ve hizmetlerinde gerekli özenin gösterilmemesi ve mali konularda kolaylık sağlanmamış olmasıdır.

Bu nedenlere bağlı olarak, sektörün özelleştirilerek, rekabete dayalı süreç yönetimi kapsamında, elektrik dağıtım faaliyeti hizmeti güven ve kalitesinin iyileştirilmesi, en düşük, en iyi maliyetle hedeflenen en iyi çıktıların elde edilmesi hedeflenmiştir.

Ülkemizde dağıtım hizmeti ile sunulan elektrik enerjisinin kalite standartları, EPDK tarafından 21 Aralık 2012 tarihli "Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği" gereğince düzenlenmektedir. Söz konusu yönetmelik kapsamında, elektrik enerjisindeki kalite standartları, müşterilerin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin, kesintiye uğramadan ve devamlı sunulabilmesi, beklenen hizmet standardı açısından ticari kalitesinin istenen düzeyde olması ve sunulan elektrik enerjisinin teknik açıdan da uygun olmasıdır.

Yönetmelik aynı zamanda; elektriğin tedarik devamlılığını, ticari ve teknik süreçlerde kaliteli hizmetlere ilişkin olarak dağıtım şirketleri, ilgili tedarik şirketleri ve tüketiciler için uyulması gereken kurallar ile süreçlerde uygulamaya ilişkin esas ve usulleri kapsar [7]. Hizmet kalitesinden bahsediyor olmamızın sebebi; elektrik dağıtımında kalitenin hava durumu, coğrafya gibi birçok dışsal faktöre bağlı olması, sermayeyi etkilemesi ve bu nedenlerle olasılıksal durumlar içermesidir.

Ülkemizde faaliyet gösteren 21 dağıtım şirketine ait; şebeke özellikleri, coğrafya ve iklim koşulları, kesinti verilerini kaydetme ve toplama metodolojisi, tedarik sürekliliği, kalite endekslerini raporlama yöntemleri, piyasa bulanıklığı, gibi çeşitli hususlar farklılık ve olasılıklı durumlar göstermektedir.

2.2. Elektrik Dağıtım Şirketlerinde Olasılıklı Durumlar ve Belirsizlik Altında Karar Verme

Bir firmanın üretim kapasitesindeki yatırım sorunu;

- Rakiplerinin yatırım kararlarına ilişkin davranışları,
- Büyüme ihtiyacı,
- Farklı firmaların yatırım ve işletme maliyetleri,
- Mevzuat ile ilgili düzenleyici değişiklikler

gibi birçok durumdan kaynaklı olabilir.

Aslında burada dinamik yatırım modelleri ve bu yatırımlardaki olasılıksal durumlar temel bulanıklık nedenleridir. Talep artışından kaynaklı arz-talep dengesizliği, işletme maliyetleri ve yasal değişiklikler dinamik yatırımları etkileyen rassal parametrelerdir. Performans ölçümleri ve kıyaslama için kullanılan olasılık teorisini hesaba katan optimizasyon problemleri, olasılıklı durumları tespit etmek açısından kolay görünsede, hesaplama açısından karmaşık ve maliyetlidir. Literatürde bir optimizasyon problemi içindeki gürültülü verileri modellere eklemek ve olasılık teorisini içeren modelleri çözmek için; stokastik programlama, robust (sağlam) optimizasyon, interval (aralık) optimizasyonu gibi farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Elektrik sektörüne değinecek olursak; elektriğe olan talep ve arzın dengelenmesi güçtür. Elektrik dağıtım şirketlerinin performans ölçümünde ve hizmet kalitesinde kaynakların etkin kullanımı önemlidir. Elektriğin depolanamamasından dolayı, talep arzdan fazla olursa, kaynakların etkin kullanımı olumsuz olacaktır. Arz talepten fazla olursa, tedarikçiler, tüketiciler, üreticiler için toplumsal sorunlar doğacaktır.

Elektrik enerjisi talebinde yüzölçümü,hat uzunluğu,tepe yük, tüketim saati, mevsim, sıcaklık gibi birçok faktör etkilidir. Bu nedenle talep esnek değildir, olasılıklı durumları içerir.

Elektrik tüketimi hızla arttığından talebi karşılamak için, mevcut şebekeler yetersiz kalmaktadır. Türkiye elektrik enerjisi sektöründe üretim, iletim ve dağıtım yatırımları

konusunda bir denge bulunmamaktadır. İletim ve dağıtım yatırımları yetersiz kalırken, şehir merkezlerinde kayıp- kaçak yüksek oranlarda seyretmektedir..

Bir yandan yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki oranını artırmak, diğer yandan fosil yakıtların azalması, hava kirliliği, küresel ısınma, ekonomik kaygılar, elektrik dağıtım kalitesinden ödün vermeme çabaları vb. rassal durumlarla başedip bu çerçevede iyi hizmet sunmak için bulanıklığın ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Büyük miktarda rassallık, yoğun yatırım ve farklı eğilimdeki parametreler dâhilinde hesaplanan elektrik dağıtım sektöründe önemli rol oynayan dağıtım şirketlerinin performans sonuçları ve bu sonuçlar doğrultusunda alınan yönetim kararları, mühendislik ve istatistik konularından biri olan yöneylem araştırmasının uygulama alanına girmektedir.

Şirketlerde kurumsal insan kaynakları yönetimi, üretim süreçleri yönetimi ve finansal yönetim doğru karar verme süreçlerini, rassallıktan kaynaklı belirsizlik ortamı olumsuz etkilemektedir. Enerji sektöründe karar verme sürecinde karşılaşılabilecek stokastik problemlerin, rassal verilerin yer aldığı matematiksel ve istatistiksel modeller ile araştırılması, doğru sonuç ve önerileri sağlayacak, sektörün önünü açacaktır. Mühendislik alanında; karar verme sorunlarının çoğu, optimizasyon problemleri olarak yeterince formüle edilebilir. Bir optimizasyon probleminin girdi verileri iyi tanımlanmış ve problem deterministik (rassallıktan uzak) ise, optimal çözüm (karar) elde edilir. Karar daha sonra en iyi sonucu elde etmek için uygulanır. Belirsizlik altında karar vermek için, öncesinde ve sonrasında alınacak olan kararları birbirinden ayıran karar süresi ve izlenecek olan hedefin belirlenmesi göz ardı edilmemelidir. Kararların zamanında verilmemesi, sonraki kararların gerçekleşmesini erteler ve olanları biçimlendirir.

Pozitif bilimlerde, deterministik bir sistem, sistemin gelecekteki durumlarının gelişmesinde rasgelelik içermeyen bir sistemdir. Belirli bir model her zaman belirli girdilerle aynı çıktıları üretir. Deterministik problemlerin sonuçları, değişkenlerin beklenen değerlerinden farklı olan rasgele değişken değerleri için mümkün değildir. Deterministik çözümler, çok yönlü karar verme ve analizlerden yoksundur.

Karar verme süreçlerinde, elektrik enerji sistemlerinde ihtiyaç duyulan karar başlıkları; elektrik üretiminde ve iletiminde büyüme planlaması ve elektrik dağıtım süreçleri

planlaması, iletim hattı ve santral genişletme, akaryakıt sözleşmeleri, ileriye dönük sözleşmeler, uzun, orta, kısa vadeli yatırım planları, gün içi piyasalara uygun kararlar, kısa vadeli piyasa kararları, elektrik üretimi ve yönetimi şeklindedir.

Bunun yanında literatürde geniş çapta tartışıldığı gibi, elektrik dağıtım şirketlerinde performans ölçümünde kullanılan verilerde gürültünün başlıca kaynakları özetle şunlardır:

- Küresel ısınma
- Mevsim değişiklikleri
- Güneş ışınımı ve rüzgâr hızı
- Enerji talebi
- Arz-talep dengesizlikleri
- Yakıt maliyetleri
- Yakıt mevcudiyeti (örneğin, doğalgaz piyasasında belirsizlik, hidroelektrik üretimi için depolardaki su akışında arz ve olasılıksal durumlar)
- Uzun vadeli talep değişiklikleri
- Kısa vadeli talepler
- Tesis ve hat arızaları
- Elektrik fiyatları
- Kayıp kaçak oranları
- Düzenleyici konular, kanunlarda belirsizlik, mevzuat değişiklikleri

Bazı olasılıklı durumların kaynakları hesaplanabilirken, mevzuat değişiklikleri gibi bazı olasılıklı durumlar ise ile hesaplanabilir değildir.

Bu çalışmayla; Türkiye elektrik piyasası çerçevesi içinde karar verme için hesaplanabilir belirsizliklere odaklanılmaktadır.

Çalışmanın amacı, dağıtım birimlerinin rassallık içeren kaynaklarından en uygun maliyetle, yine rassallık içeren çıktılarından en iyi üretimi sağlayıp sağlamadıklarını anlamak, etkinliği stokastik programlama modellerini ele alarak hesaplamaktır. Çalışma kapsamında, rassal değişkenlerin ve gürültülü verilerin yer aldığı enerji sorunlarına odaklanıp; özellikle elektrik piyasalarında etkinlik ölçümüyle kıyaslamalar yapıp, referans karar verme birimlerine göre nelere dikkat edilmesi gerektiği konularına değinilmiştir. Böylece, elektrik dağıtım

şirketlerinin süreç yönetimlerinde doğru, etkin karar almaları ve etkinlik sağlamaları mümkün olacaktır. Elektrik piyasalarındaki bulanıklığın ana kaynaklarını tanımlamak, olasılıksal durumlar altında karar vermenin önüne geçmek, bu karar verme sürecini irdelemek için matematiksel modelleri gözden geçirmek ve stokastik programlama ile ilgili bir uygulama sunmak amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan veriler için; tepe yük mevsim değişiklikleri, sıcaklık, tepe yükün oluştuğu zaman dilimi gibi olasılıklı durumları içerirken, işletim ve bakım maliyetleri (OPEX) personel, idari masraflar, malzemeler, üçüncü taraf hizmetleri, kira ve kiralama, sigortalar, vergiler ve diğer bulanıklık etkenlerini içerir.

Birçok gerçek uygulamada, veriler genellikle olasılıksal durumları içerir. Elektrik dağıtım sektöründe de, genellikle eksik ve stokastik veri veya veri eksikliği olması nedeniyle, performans değerlendirmesi için stokastik veri zarflama analizine de dayanan bir yaklaşım tanıtılmaktadır.

Bazı veriler için gürültü olması ve kesinlik olmaması nedenleriyle, olasılık teorisi modellere aktarılmaktadır. Verideki gürültüden kaynaklı hatalı etkinlik ölçümünü gidermek için başarılı bir yöntem, deterministik verileri rasgele değişkenlerle değiştirerek stokastik VZA modellerini uygulamaktır. Stokastik programlama, rassal veriyi içeren optimizasyon problemini modelleme ve çözme yaklaşımıdır. Şans kısıtlı programlama, stokastik programlamanın en önemli yöntemlerinden biridir. Birçok veri zarflama analizi modelinde, tam veri miktarı belirlenememektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı rasgele girdiler ve / veya çıktılarla karar verme birimlerinin stokastik etkinliğini değerlendirmek için yöntemler önermiştir. Bu yöntemlerin çoğu doğrusal değildir.

Çalışmada daha önce belirtildiği gibi deterministik veri zarflama analizinin yanında, elektrik dağıtım şirketleri ile ilgili olarak genellikle eksik ve stokastik veri olması nedeniyle, elektrik dağıtım birimlerinin rasgele değişkenlerle performanslarının değerlendirilmesi için simetrik hata yapısı kapsamında stokastik veri zarflama analizine dayanan girdi ve çıktı yönelimli şans kısıtlı stokastik programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Stokastik girdilerin ve çıktıların normal olarak dağıldığı varsayımıyla, stokastik şans kısıtlı programlamaya dayalı girdi-çıktı odaklı BCC ve CCR matematiksel modelleri ile doğrusal bir yöntem elde edilmiştir Son

olarak, önerilen modeller karar verme birimleri olarak seçilen elektrik dağıtım şirketlerine uygulanmıştır.

2.3. Elektrik Sektöründe Etkinlik Kıyaslamaları

Weyman-Jones tarafından 1991 yılında gerçekleştirilen elektrik dağıtım birimlerinin dağıtım süreçlerinde etkinliği konusu VZA ile yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışma, aynı zamanda İngiltere elektrik dağıtım firmalarının performansını ölçen ilk VZA çalışmasıdır. Daha sonraki çalışmalarda literatür kapsamında dağıtım firmalarının performans ölçümünü araştıran uygulamaların sayısı zamanla artmış ve araştırmaların örneklemleri ülkelerden uluslararası düzeye doğru büyümüştür. Yapılan çalışmalara örnek olarak; Hjalmarsson ve Veiderpass (1992), Forsund ve Kittelsen (1998), Lo, Chien ve Lin (2003), Jamasb ve Pollitt (2003) ve Edvardsen ve Forsund (2003) verilebilir.

Elektrik dağıtım endüstrisinde VZA ve Stokastik Sınır Analizi' nin (SFA) uygulanması üzerine geniş ve büyümeye devam eden akademik bir literatür vardır. Coelli ve diğerlerinin 2003 yılında yaptıkları çalışmaya göre, etkinlik ölçüm yaklaşımlarında yöntemlerin ayrıştırılmasındaki en önemli nedenlerden biri, "parametrik" kelimesinden kaynaklanmaktadır. Sınır fonkiyonlarının tahmininde, parametrik teknikler düz, parametrik olmayan teknikler ise parçalı doğrusal bir yapı sergilemektedirler. Parametrik terimiyle, "ilgili üretim teknolojisi için sonlu sayıda parametresi olan ve fonksiyonel formu belirlenmiş olan" bir fonksiyon sınıfına dâhil olan durum kastedilmektedir. Parametrik teknikler araştırmalarda ve uygulamalarda daha dar kapsamlı kullanım alanı bulmuştur. Parametrik tekniklerin yer aldığı çalışmalarda üretim sınırını temsil eden fonksiyonun parametreleri belirlenmeye çalışılır. Parametrik olmayan modellemelerde karar verme birimlerinin etkinlik sınırından sapmaları etkin olmama şeklinde değerlendirilirken, parametrik yaklaşımlarda sapmanın veride oluşan gürültü (hata teriminin rassal kısmı) ve etkin olmama gibi bileşenlerden oluştuğu varsayımı geçerlilik kazanmıştır. [8]

Coelli ve diğerlerinin 2005 yılındaki çalışmaları kapsamında, SFA'nın, VZA'ya göre üstünlükleri, gürültüyü hesaplayabiliyor ve geleneksel hipotez testlerini kullanabiliyor olması iken, zayıf olduğu yönler ise, etkin olmama durumu için bir dağılım fonksiyonunun belirlenmesinin gerekliliği, üretim fonksiyonu ya da diğer, gelir, kar, maliyet fonksiyonları

için bir fonksiyonel formun belirlenmesi zorunluluğu ve çok çıktılı modellerde uygulama zorluğu olarak sıralanabilir. [10]

Giannakis, Jamasb ve Pollitt 2005 yılındaki çalışmalarında; karar verme birimleri olarak kabul ettikleri İngiltere'deki elektrik dağıtım şirketlerinin teknik etkinlik ölçümlerini 1990'lı yılların başları ve sonları için VZA ve Malmquist endeksi tekniklerini kullanarak bulmaya çalışmışlardır. Elektrik dağıtım şirketleri gibi karar birimlerinin üretim teknolojisi ve hizmet süreçleri konusunda birbirine benzer olmaları, yani karar birimlerinin gözlem kümesinin homojen olması elde edilecek bulguların anlamlı olması açısından önemlidir. Karar verme grubunun kuruluş yapılarında ve faaliyetlerinde homojen olması, söz konusu grubu oluşturan karar birimlerinin benzer girdi-çıktı parametrelerine sahip olmaları ve çevresel faktörlerin yine birbiriyle benzer olması anlamına gelmektedir. VZA yaklaşımında seçilen karar verme birimi kümesi büyüdükçe etkinlik ölçüm değeri düşmekte, değişken sayısı arttıkça etkinlik ölçüm değeri artmaktadır. Bu nedenlerle, veri zarflama analizinde seçilen karar birimi sayısı ve kullanılan değişken sayısı dengesi uygulamanın bulgularının anlamlı ve doğru olabilmesi için önemlidir.[11]

2009 yılında Odyakmaz elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik analizini araştıran doktora tezinde; etkinlik ölçümlerinde tek faktörlü veya çok faktörlü analizlerden hangisinin seçileceği üzerinde uygulayıcılar arasında zaman zaman tereddütler yaşandığını belirtmiştir. Yaşanan tereddütlerin temel nedeni, hem elde edilebilecek girdi ve çıktılara ait verilerle ilgili sorunlar hem de ölçüm amacına ve düzeyine yönelik farklılıklar olarak değerlendirilebilir. Toplam veya çoklu faktör etkinlik modellemeleri, uzun dönemli incelemelerde veya sermaye stoku ile ilgili veri kalitesinden emin olunduğu durumlarda daha uygun bir yaklaşımken, veri kalitesi ile ilgili şüphelerin ve sorunların varlığında ise, daha çok emek faktörüne dayalı ve kısa dönemli öngörüleri kapsayan tekli faktör etkinliği modellemeleri uygun düşmektedir. Oransal yaklaşımlar her zaman kısmi etkinlik göstergelerinin ölçülmesi için yeterli olmamakta, eksik ve sapmalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, söz konusu eksikliğin giderilmesi amacıyla çoklu girdilerin ve çıktıların kullanıldığı etkinlik modellemelerine başvurulmaktadır. Yaklaşımların kıyaslanmasındaki etkinlik ölçüm yaklaşımlarının da kendi aralarında kullanım amaçlarına göre etkinlikleri açısından kıyaslanabilmeleri mümkündür. Etkinlik modellerinin göreli üstünlüklerinin göz önüne alınması daha doğru bir yaklaşımı işaret etmektedir. Bu nedenle etkinlik kıyaslaması çalışmalarında sıklıkla kullanılan VZA ile SFA iki genel kategori olarak ele alınıp, karşılaştırılabilir. [9]

Etkinlik ölçüm tekniği olarak kullanılan yöntemler aşağıda yer alan çizelge 2.3'te ki gibi sıralanarak, bu yöntemlerin her birinin önemli bazı özelliklerinin çizelge yardımıyla gösterilmesi mümkündür.

Çizelge 2.3. Etkinlik ölçüm yöntemlerinin kısaca karşılaştırılması

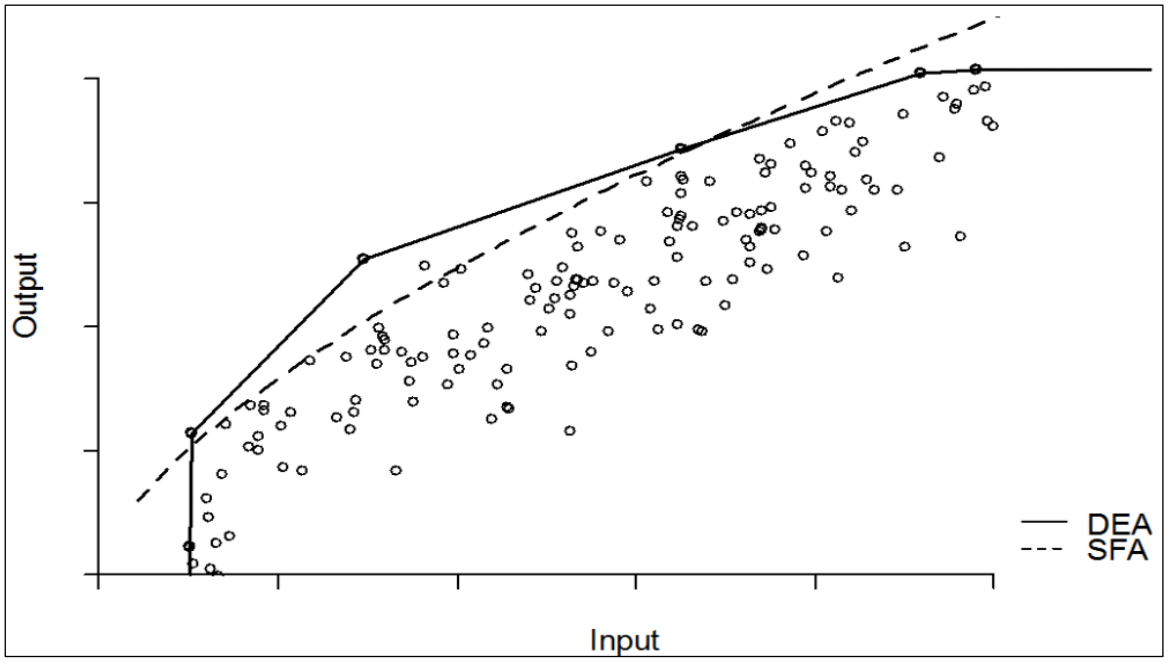
ÖZELLİKLER	YÖNTEMLER			
	Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi- Düzeltilmiş En Küçük Kareler Yöntemi	Toplam Faktör Etkinliği	Veri Zarflama Analizi	Stokastik Sınır Fonksiyonları
Parametrik bir yöntem mi?	evet	hayır	hayır	evet
Gürültüyü dikkate alıyor mu?	evet	hayır	hayır	evet
Hangi bileşenleri hesaplıyor?				
Teknik etkinlik	hayır	hayır	evet	evet
Tahsis etkinliği	evet	hayır	evet	evet
Teknik değişim	evet	hayır	evet	evet
Ölçek etkisi	evet	hayır	evet	evet
TF değişikliği	evet	evet	evet	evet
Kullanılan veri seti nedir?				
Zaman kesiti	evet	evet	evet	evet
Zaman serisi	evet	evet	hayır	hayır
Panel veri	evet	evet	evet	evet
İhtiyaç duyulan veri türü nedir?				
Girdi miktarı	evet	evet	evet	evet
Çıktı miktarı	evet	evet	evet	evet
Girdi fiyatı	hayır	evet	hayır	hayır
Çıktı fiyatı	hayır	evet	hayır	hayır

2011 yılında Akan vd. 'nin "Etkinliğin Hesaplanmasında Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Yaklaşımı Yöntemlerinin Karşılaştırılması" çalışmasında; SFA' ya göre ölçümü yapılan etkinlik skorlarının VZA yaklaşımına göre bulunan etkinlik sonuçlarından daha fazla olduğu görülmüş, en yüksek korelasyon ise ölçeğe göre sabit getiri ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımı olarak VZA modelleri arasında gerçekleşmiştir. Bulgular sonucunda, VZA yaklaşımıyla elde edilen ortalama teknik etkinlik değerlerinin, SFA metoduyla elde edilen ortalama teknik etkinlik değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun yanında, iki metot arasında pozitif ve %5 önem düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı korelasyon olduğu anlaşılmıştır. [13]

2013 yılında Kuosmanen vd. “Elektrik dağıtımının kriter düzenlemeleri için en iyi uygulama nedir? VZA, SFA ve StoNED yöntemlerinin karşılaştırılması” çalışmasında; elektrik dağıtımında performans ve etkinlik analizinde SFA ya da VZA yöntemlerinden hangisinin üstün olduğuyla ilgili net bir sonuç olmadığını, enerji düzenleme otoritelerinin kıyaslama çalışmalarında her iki yöntemide tercih ettiklerini ifade etmiştir [12].

Etkinliği belirlemek için kullanılan VZA ve SFA yöntemleri bilimsel ve düzenleyici kıyaslamada kullanılan yaygın yöntemlerdir ve diğerlerinin yanı sıra elektrik sektöründe benzer şekilde kullanılırlar. Her iki yöntem de yaklaşımları ve temel varsayımları açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Aşağıda her iki yaklaşım kısaca sunulmakta ve daha sonra literatürde tartışılan zayıflıklar irdelenmektedir.

Klasik VZA, belirli bir üretim veya maliyet fonksiyonuna ait veri değerleriyle optimum uygulama sınırını belirlemeye çalışan parametrik olmayan deterministik bir yöntemdir. VZA çalışma öncesi fonksiyonel bir form belitmeden, az sayıdaki varsayımlarla gerçekleşir. Ancak, parametrik ve stokastik bir yöntem olan SFA, bir hata terimi ve bir verimsiz dönem için fonksiyonel bir form oluşturarak, en az maliyetleri tahmin etmeye çalışır. SFA yaklaşımında, belirli bir veri seti için, her bir gözlemin bir verimsiz duruma ve bir tahmin hatasına olan uzaklığı ayrıştırılır. Bu ayrıştırma nedeniyle, VZA sınırının aksine, SFA sınırı tüm gözlemleri kapsamaz. Bu durum aşağıda yer alan grafikte gösterilmektedir.



Şekil 2.5. VZA ve SFA sınır değerleri

Sonuç olarak; etkinlik ölçüm yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. Uygulamalarda parametreli yaklaşımlar kullanılırken üretim fonksiyonunun analitik yapıda olduğu kabul edilir. Parametresiz yaklaşımlar ise üretim fonksiyonunun analitik yapıda olmadığı, esnek bir yapıya sahiptirler, problem çözümünde ise çoğunlukla matematiksel programlamayı uygularlar. VZA parametrik olmayan bir yöntemdir. Çok sayıda girdi ve çıktının yer aldığı zaman periyotlarına kolay bir şekilde uygulanmakta, araştırılan belirli faaliyet süreçlerinin farklı parametre ve boyutlarının aynı zaman aralığında hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

Faaliyetlerini aynı girdileri ve aynı çıktıları ele alarak devam ettiren homojen karar verme birimlerinin etkinlik skorları sonucunda, VZA metodunun uygulanmasıyla etkin olan ve etkin olmayan karar birimleri referans kümeleri tespit edilir. Etkin olmayan karar verme birimleri için etkin birimlerden oluşan referans kümeleri ve etkin olmayan birimlerin etkin hale gelebilmesi için gerekli önlemler ve girdi-çıktı değerleri elde edilir. Etkin birimlerden elde edilen referans kümeleri kıyaslama aşamasında kullanılır. Uygulamalar sonucunda elde edilen hedef girdi-çıktı bulguları ise etkin olmayan birimlerin karşılaştırılması amacıyla kullanılır. Bu yöntemler bir araya getirilerek kıyaslama yapılacak şirketler için alternatif bir yöntem sunulur. Böylece kıyaslama yapılacak karar verme biriminin girdi-çıktılar ve faaliyetler kapsamında homojen özellik gösterdiği birim ya da birimlerden en uygun kıyaslama ortağı tespit edilmiş olur. Etkinlik analizi, istatistiksel sınır tahminleme yaklaşımlarının saptadığı ortalama fonksiyonun yerine, en iyi gözlemlerce saptanmış sınır fonksiyonuna göre hesaplandığı için, istenen hedefler, en iyi performans sergilemiş birimler göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu durumlar VZA ile uygulanan kıyaslamaların ve etkinlik analizinin önemini ve doğruluğunu güçlendirmektedir.

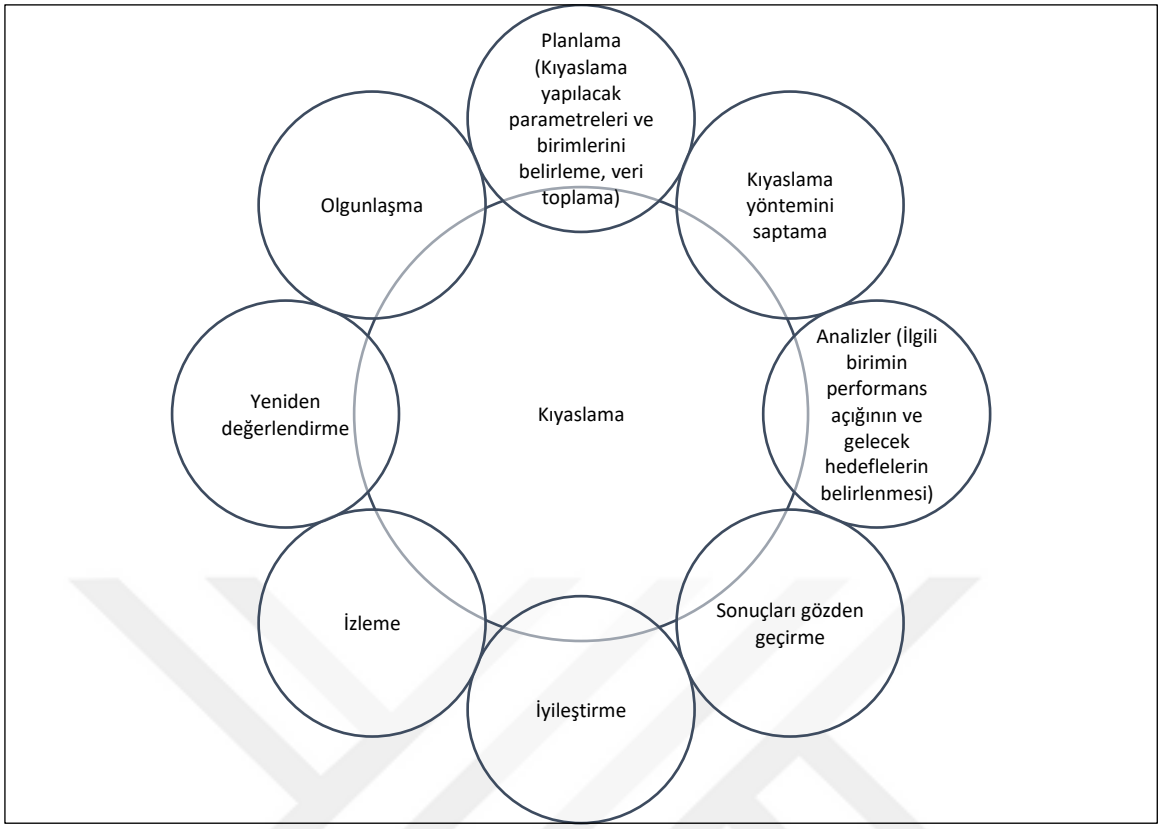
3. PERFORMANS ÖLÇÜMÜNDE ALTERNATİF BİR YÖNTEM: SİMETRİK HATA YAPISI KAPSAMINDA STOKASTİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Performans kavramı işletmelerin faaliyetleri sonucunda amaçlara göre elde edilen başarı derecesi, çıktılar ya da sonuçlardır. Kıyaslama, gerçek performansın ölçüsünün bir referans birimin kıyaslama performansıyla karşılaştırılması süreci olarak tanımlanabilir. Performans ve kıyaslama detayları üzerinde durduğumuz çalışmanın bu bölümünde, ayrıca genel literatür taramasıda sunulacaktır.

3.1. Etkinlik Ölçümü ve Kıyaslama (Benchmarking) Yöntemleri

Performans değerleri etkinlik ve verimlilik kavramlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bir şirketin performansı üç açıdan ele alınabilir: etkinlik, verimlilik ve kalite. Etkinlik ve verimlilik, elektrik sektöründe en sık kullanılan performans ölçüsüdür. Kalite karşılaştırması ve uygulama, yönetmelikte önemli bir konudur ancak bu çalışmada ele alınmamaktadır. İşletmelerin sürekli olmaları ve hedeflerine ulaşmaları performans göstergelerine bağlıdır. Performans ölçüm tekniklerine göre elde edilen bulgular sadece girdilerin minimum değerlere düşürülmesi için değil, eldeki girdilerin yani kaynakların doğru ve uygun alanlarda kullanılması için de yol göstericidir.

Literatür araştırmaları sonucunda, endüstride performans kıyaslama için ihtiyaç duyulan süreç elemanları ve süreç takibini içeren yaşam döngüsü aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.1. Kıyaslama (Benchmarking) yaşam döngüsü

Performansı anlamak için, etkinlik, verimlilik ve kalite göstergelerinden detaylı bilgilendirme yapılması gerekir. Verimlilik eldeki kaynaklarla en iyi sonuçların elde edilmesi ya da minimum girdilerle amaçlanan en iyi çıktıların elde edilmesi anlamına gelirken, etkinlik şirket faaliyetlerinin gerektiği gibi yapılması, planların zamanında ve doğru şekilde hayata geçirilmesidir. Kısaca; etkinlik kaynaklar doğrultusunda şirket hedeflerine ulaşılıp ulaşılmadığına, verimlilik ise en az kaynak tüketimi yapılıp yapılmadığına bakar.

Bir şirketin faaliyetlerinin üretim sınırına göre etkinliğini ölçmek için, çeşitli yöntemler üzerinde durulmuştur. Bu yöntemler arasında doğrusal programlama yöntemleri, istatistiksel teknikler, süreç yaklaşımları yer almaktadır. Etkinlik ölçümü amacıyla kullanılan kıyaslama tekniği firmanın mevcut verilerine ve hedeflere bağlı olarak etkinlik puanlarını etkiler. Kıyaslamalarda kullanılan programlama teknikleri, girdiler ve çıktılar arasında ilişki kurarken, bir üretim veya maliyet fonksiyonunun belirlenmesini gerektirmez. Etkinlik sınırları girdi ve çıktı olarak alınan verilerle belirlenir. Örneğin etkinlik kıyaslamalarında sıkça kullanılan VZA, belirlenen karar verme birimlerinin yer aldığı kümenin etkinliğini

hesaplayan ve karar verme birimleri arasında etkinlik kıyaslamaları yapılmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Etkinliği hesaplamak amacıyla kullanılan toplam faktör verimliliği ve kısmi etkinlik puanları da bu yaklaşım kapsamında hesaplanırken, etkinlik sınırı da bu teknikle bulunur.

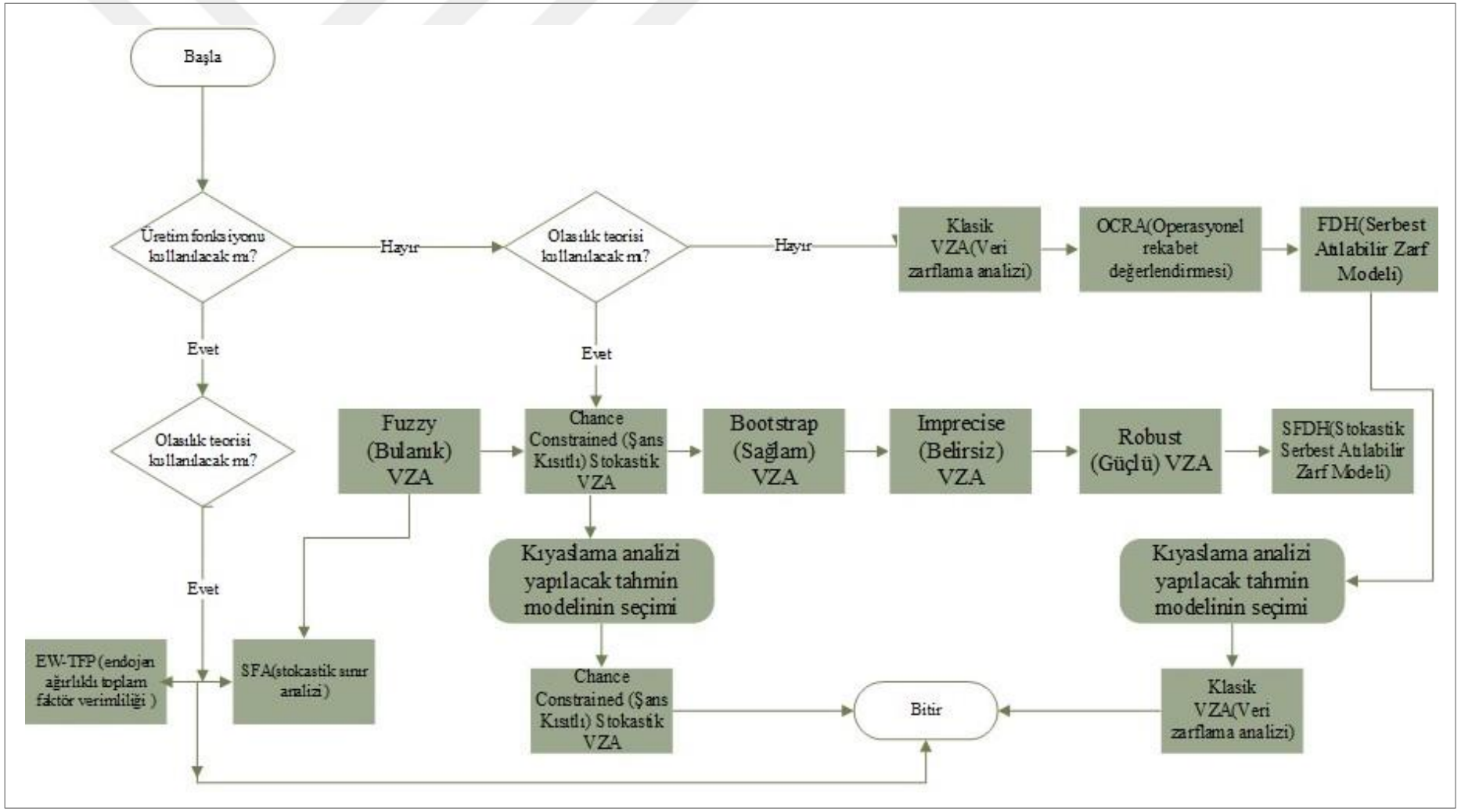
Etkinlik analizi için kullanılan yaklaşımlar; oran analizleri, parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerdir. Oran analizinde, her oran etkinlikle ilişkili parametrelerden yalnızca bir tanesini incelerken geride kalanları göz ardı etmektedir, bu nedenle tek boyutlu analizleri içermektedir. Etkinlik, işletmelerde kaynakların ne ölçüde etkili kullanıldığını gösteren bir ölçüm değeri olduğu için, hesaplamalarda tek bir ölçü değeri elde edilmesi, oran analizinin göz ardı edilmemesi gereken eksikliğidir. Daha önce belirttiğimiz gibi, parametrik metodolojiler, etkinlik analizi yapılan karar verme birimleriyle ilgili üretim fonksiyonunun analitik formda olduğunu kabul ederken, parametrik olmayan metodolojiler üretim fonksiyonunun ardında herhangi bir analitik yapının varlığına gerek duymayan esnek bir forma sahiptir ve çözüm olarak matematiksel programlama yöntemlerini uygulamaktadır.

Etkinlik, çıktı ölçümlerinin girdi ölçümlerine oranlarıdır. Bu indeksler kısmi indeksler ve Toplam Faktör Etkinliği (TFP) ölçümleri olarak sınıflandırılabilir. Her iki ölçümün de genellikle belirli bir zaman diliminde, etkinlik artışının ölçülmesine neden olan göreceli bir fark olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, göreceli etkinliği ölçen bir kıyaslama şirketine kıyasla, göreceli bir fark olarak da hesaplanabilirler. Bu yöntemlerin bir özeti Coelli vd. (2003) tarafından incelenmiştir. Törnqvist ve Malmquist endeksleri en çok bilinen TFP ölçümleridir. TFP ölçümleri sınır analizi kullanılarak da tahmin edilebilir. Özellikle, sınır yöntemleri TFP büyümesini ölçek etkinliği, teknik etkinlik ve teknolojik ilerlemenin ayrı bileşenlerine ayrıştırmaya yardımcı olabilir. [11]

Ekonometrik bir yöntem olarak da bilinen SFA, önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, fonksiyonel bir form temelinde sınır, yani ulaşılabilir minimum maliyetleri tahmin etmeye çalışır ve model içerisinde hata terimine de yer verir.

VZA, parametrik olmayan bir etkinlik ölçme, performans kıyaslama yöntemidir. Üretim süreci sonucunda şirketlerin çıktı olarak sundukları mal ya da hizmet açısından homojen özelliklere sahip olan karar verme birimlerinin göreli etkinliklerinin hesaplanması amacıyla geliştirilmiştir.

Aşağıda yer alan şekilde performans kıyaslama yöntemlerine ilişkin bu çalışmanın metodoloji seçim yöntemini gösteren akış şeması sunulmuştur.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kıyaslama yönteminin seçimine ilişkin akış şeması

Literatürde özet olarak performans kıyaslama yöntemi olan VZA'nın sıkça kullanılmasının nedeni; her şirket için bir etkinlik değeri üretmesi, birden çok girdi ve çıktı içeren kıyaslamalarda kullanılması, girdi ve çıktı fonksiyonel yapısına herhangi bir sınırlama getirmemesi, farklı türdeki girdi ya da çıktılar için hesaplama öncesi karar verilen ağırlıklar gerektirmemesi, etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin olabilmesi için ihtiyaç duyulan kriterler hakkında bilgi sağlaması şeklinde açıklanmaktadır.

VZA faaliyet gösteren şirketlerin performanslarının araştırılması için benzer girdileri ve çıktıları kullanan birimlerden, süreçlerini kullanırken etkinlik gösteren ya da göstermeyen birimlerin belirlenmesi için yaygındır. VZA yaklaşımının başarısının anahtarı, girdiler ve çıktılar da dâhil olmak üzere tüm faktörlerin doğru ölçümüdür. Performans kıyaslamasında karar verme birimlerinin; performansının artırılması, sürekliliğinin sağlanması, amaç ve hedeflerdeki sapmaların tespit edilmesi, benzer karar verme birimleri ile süreçlerin ve uygulamaların karşılaştırılması, kurum kültürünün geliştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi gibi amaçlar mevcuttur. Böylece performans kıyaslamanın yararları olarak artan farkındalık, öğrenme, güven, isteklilik ve değişim sayılabilir.

Üretim sistemleri, girdiler ve çıktılar açısından değişken ve karmaşıktır. Bu nedenle, doğru ölçüm zordur. VZA yaklaşımı, diğer birçok istatistiksel yaklaşımdan fazla avantaj sunsa da, önemli bir sorunu olan verilere duyarlılığı dikkate alınmalıdır.

Stokastik yaklaşımlar, veri gürültüsü olasılığını yansıtan sınırın istatistiksel olarak düzeltilmesini sağlar. Bu nedenle, bazı araştırmacılar VZA'daki stokastik modellerde veri varyasyonuyla başa çıkmak için birkaç model önermişlerdir. Bunlardan biri olan Stokastik VZA (SVZA), gürültülü verilerle başetmek için esnek yapıyı, verilerdeki bazı varyasyonların gürültü durumunu ve yalnızca o noktaların çoğunun zarflanmasının gerektiği olasılığını birleştirir. SVZA rassal verilerde rasgele gürültüye dayanıklı esnek modeller kullanır.

Kıyaslama ölçümünde kullanılan metodların yanında, kıyaslamanın türleri, endüstrinin türü ve verilerdeki gürültü durumuna göre de ölçümün yönlenmesi söz konusudur. Örneğin, maliyet fonksiyonunun parametrik olup olmayacağına ya da verilerdeki gürültü nedeniyle deterministik ya da stokastik modellerle çalışılıp çalışılmayacağına göre kıyaslama ölçüm

yaklaşımı yönlendirilmelidir. Hangi yaklaşımın seçileceği ve en iyi şekilde kullanıldığı, kıyaslama yapılan karar verme birimlerine ve örneklemin büyüklüğüne bağlıdır.

Literatürde geliştirilen bazı analitik kıyaslama modellerinin bir çizelgesi özetle aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Literatürde çalışılmış bazı kıyaslama yöntemlerinin sınıflandırılması

	Deterministik Metodolojiler	**Stokastik Metodolojiler**
Parametrik olmayan yöntem	Klasik veri zarflama analizi (VZA) • VZA CCR (CRS-ölçeğe göre sabit getiri) • VZA BCC (VRS-ölçeğe göre değişken getiri) Dışbükey Serbest atılabilir zarf modeli (FDH)	Şans kısıtlı stokastik veri zarflama analizi (SVZA) • SVZA CCR (CRS-ölçeğe göre sabit getiri) • SVZA BCC (VRS-ölçeğe göre değişken getiri) Stokastik serbest atılabilir zarf modeli (SFDH)
Parametrik yöntem	Düzeltilmiş en küçük kareler yöntemi (COLS) Değiştirilmiş en küçük kareler yöntemi (MOLS) Hedef programlama	Stokastik sınır analizi (SFA) • SFA CRS (ölçeğe göre sabit getiri) • SFA VRS(ölçeğe göre değişken getiri)

Çalışmada elektrik dağıtım şirketlerinin performans kıyaslaması ile yapılacak olan sektör analizi genel olarak; elektrik dağıtım sektörü üzerinde, mevzuat ve ekonomi üzerindeki değişimlerin etkisi, arz ve talebin gelişme eğilimi, mal ve hizmetlerin talep esnekliği, teknolojik gelişmelerin gerekliliği ve sektöre etkileri, sektörün üretim ve hizmet kapasitesi, etkin olmayan karar verme birimlerinin rekabette etkin olan karar verme birimleriyle, girdi, çıktı gibi parametreler, içsel ve dışsal faktörler çerçevesinde kıyaslanması hususlarına açıklık getirecektir.

Bu çalışmada VZA deterministik ve stokastik modeller kapsamında ele alınıp incelenecek, modellere simetrik hata yapısı dâhil edileceğinden, bundan sonraki bölümlerde söz konusu tanımlar yapılacaktır.

3.1.1. Klasik (Deterministik) veri zarflama analizi

Veri zarflama analizi, KVB'lerin üretim etkinliğini gösteren performansını ölçmek için yöneylem araştırmasında parametrik olmayan popüler bir yaklaşımdır.

VZA metodolojisi ile elde edilen etkinlik değerleri, söz konusu karar verme birimlerinin örnek uzay zaman aralığında geçerli etkinlik sonuçlarıdır. VZA, literatür kapsamında ilk defa Charnes, Cooper, Rhodes(CCR)'in 1978'de gerçekleştirdiği çalışma ile gündeme gelmiştir. Uygulanması ve yorumlanması zor olmayan VZA etkinlik ölçümü metodolojisi, birden çok girdi ya da çıktıyı aynı zamanda hesaplamalara, dâhil edebilmesi, her bir karar verme biriminin en uygun ağırlıklarını hesaplayarak en etkin üretim süreçlerini gerçekleştirmelerini sağlaması, etkin olmayan karar verme birimleri için, etkin olmama durumunun hangi girdilerden ya da çıktılardan kaynaklanmakta olduğunu sunması, etkin olmayan birimlerin etkin olan birimleri referans alarak, etkinlik sınır değerine ulaşmaları için öneriler sunması gibi nedenlerle etkinlik ölçümünde tercih edilmektedir.

VZA uygulaması Farrell'ın, faaliyet süreçlerinde yer alan ağırlıklı çıktıları ağırlıklı girdilere oranlayarak etkinlik ölçümü ve performans kıyaslaması yapan TFP yaklaşımıyla gündeme gelmiştir. VZA'da ortaya atılan ilk formulasyonun kesirli yapıda olması TFP yaklaşımından kaynaklanmaktadır. Bu aşamalardan sonra doğrusal programlama çalışmalara dâhil edilip VZA yaklaşımları doğrusal programlama problemlerine dönüşmüştür.[14]

VZA, çözüm kümesinde etkinlik değeri yüksek elemanları bulunduran etkinlik sınırını üretip, bu elemanları ortalama değerlerine göre en iyi performans sağlayan karar verme birimi ya da birimleriyle kıyaslamaya olanak sağlar. Girdiler için en iyi çıktıları bulan etkinlik sınırı referans sınırdır. Referans sınır karar birimi olarak seçilmiş kıyaslama öğelerinin performanslarını değerlendirmek için oluşturulur. Etkinlik sınırında yer alan öğeler süreçlerinde en etkin olarak değerlendirilir. Çözüm kümesi elemanları tüm kıyaslanabilir birimlerin girdileri ve çıktıları karşılaştırıldığında, minimum girdileri için maksimum çıktıları elde ediyorsa o çözüm kümesinde yer alan elemanların etkinlik değeri "1" dir. Ağırlıklı girdilerin ve çıktıların birbirine oranı göreli etkinlik ölçüsü olarak kabul edilir. "1" değerine sahip olan referans kümesinde yer alan etkinlik sınırı elemanlarının girdileri ve elde edilen çıktıları süreçlerde etkin kullanılmıştır. Etkinlik skoru 1'den küçük olan karar verme birimleri sınırın içinde etkin olmayan birimlerdir. Birimlerin girdi ve çıktı

parametrelerinin ağırlıklarının bölümü, beklenen optimal değeri oluşturmak üzere hesaplanır. Söz konusu oran en iyi performansa sahip referans kümesine ait karar birimiyle kıyaslanır, burada elde edilen etkinlik göreli etkinlik olarak kabul edilir.

VZA yönteminin de diğer kıyaslama yöntemlerinde olduğu gibi avantajları ve dezavantajları vardır ve aşağıdaki şekilde özetlenebilir. [61]

VZA'nın avantajları

1. Uygulama aşamasında üretim ve faaliyet süreçlerine ait girdilerin ve çıktıların belirlenmesinde süreçlere hakim karar vericilerin rolünün olması VZA yaklaşımında daha doğru ve güvenilir bulgular elde edilmesini sağlar.
2. VZA yönteminde etkin olmayan karar birimlerinin faaliyetlerini iyileştirmek amacıyla, referans kümesindeki göreli olarak etkin olan karar birimlerinin seviyesine çıkarmak gerekir ve bunun için karar vericinin tecrübelerine de dayanan birden çok yöntem kullanılabilir.
3. Uygulama sırasında kullanılan veriler ve verilerin analizi sonucu elde edilen bulguları içeren veritabanı oluşturulması, mevcut ve ileri çalışmalar için önemli dokümantasyon olabilir.
4. Performans analizlerinde kıyaslama amaçlı, istatistiksel sınır tahmini metodlarının ortaya koyduğu ortalama fonksiyonun yerine, etkinlik analizi, en iyi gözlemlerce ortaya konan sınır fonksiyonuna göre hesaplandığı için, sınır fonksiyonunun altında kalan birimlerin iyileştirmeleri birimlerin hedeflerine uygun şekilde, en iyi performans göstermiş birimler örnek alınarak yapılmaktadır. Bu durum yine VZA yöntemini güçlü, güvenilir ve geçerli kılar.
5. Klasik VZA, süreçlerde yer alan girdilerin ve çıktıların deterministik olduğunu kabul eder. Bundan dolayı verilerin kesin olduğunu varsayan deterministik çalışmalar için parametrik olmayan bir etkinlik analizi yöntemi olarak kabul edilir.

VZA'nın dezavantajları:

1. VZA ölçüm hataları açısında oldukça duyarlıdır. Klasik VZA yaklaşımında deterministik girdiler ve çıktılar modellere eklendiğinden teknik etkinlik analizi ile

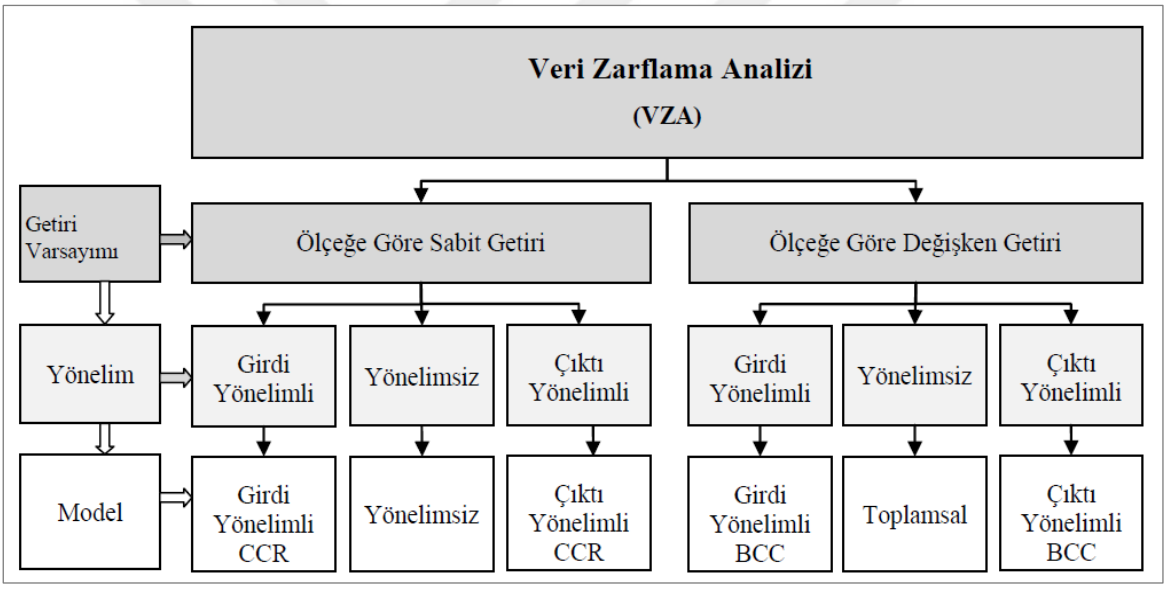
sınırlıdır. Girdilere ve çıktılara göreli değerler ya da öncelikli ağırlıklar atanarak VZA yöntemi güçlendirilebilir.

2. VZA yönteminde sistemin etkin olan en iyi performanslı birim ya da birimler ile diğer birimler kıyaslanırken elde edilen fark etkin olmama durumu şeklinde değerlendirilip, uçlarda yer alan gözlem değerleri için hesaplama hataları göz ardı edilmektedir.
3. Uygulamalara dâhil edilen girdilerin ve çıktıların üretim sürecini doğru analiz edebilmesi, doğru bulgular için önem taşır. Ancak nitel özelliğe sahip girdiler ve çıktılar bu durumu zayıflatır, elde edilen analiz değerlendirmeleri eksik ve yanıltıcı olabilir.
4. VZA parametrik omayan bir analiz yöntemi olduğu için; sonuçlara istatistiki hipotez testlerinin dâhil edilmesi güçtür.
5. Şirketlerin performans ölçümlerinde hesaplamalar yaparken üretim süreçlerinde girdilerin hedeflenen çıktılara dönüşümünün dinamik olduğunu göz önünde bulundurursak, VZA yaklaşımında belirli ve durağan bir zaman kesitinde yer alan örneklemlerin birer dezavantaj oldukları anlaşılır. Bundan dolayı farklı zamanlardaki dinamik süreçlere ait değişken veriler için uygun indirgeme oranlarının hesaplara katılması uygun olur.
6. VZA hesaplarına dâhil edilen karar verme birimlerinin hesaplara dahil edilmeyen birimlere kıyasla üstün olmaları göreceli olduklarını gösterir, bu nedenle seçilen birimlerin değerlendirilmeleri sonucu kesin olarak etkin olup olmadıkları konusu net değildir. Yani kıyaslamalarda etkinlik sonuçları, görecelilik kapsamında değerlendirilmelidir.
7. Her veri seti ya da her karar noktası için ayrı ayrı doğrusal çözümler gerektirir, bu nedenle veri seti büyük ya da karar birimi fazla VZA problemlerinin çözümü zordur.

VZA en iyi performansı sağlamak için karar birimlerinin girdi-çıktı ağırlıklarının işlemlere dâhil edilmesine imkân sağlar. Performans analizlerinde örneklemde yer alan gözlemlerin etkinlik optimal değerleri matematiksel ifadeyle, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere olan maksimum oranı olarak ve bu oran kıyaslanabilir bütün karar verme birimleri için eş ağırlıkları kullanarak 1'e eşit ya da 1'den küçük oranların oluşması şartını sağlar.

VZA yaklaşımında kullanılan modeller, birimlerin üretim süreçlerine ve araştırılan probleme göre "girdiye yönelik model" ya da "çıktıya yönelik model" olarak oluşturulabilir. Hedeflerde yer alan çıktıları minimum girdi oranlarıyla elde eden modellere girdiye yönelik model denir. Bu modellerde, çıktılara müdahale etmeden girdilerin minimize edilmesi gerekir. Modellerde, müdahale edilmeyen belirli girdilerin maksimum çıktıların elde edilmesi amacıyla kullanılması, çıktıya yönelik model olarak ifade edilir.

Karar birimlerinin etkinlik kıyaslarında üretim süreçlerindeki ölçek türü, performans ölçümünde ve kıyaslamada uygulanacak VZA modellerinin belirlenmesinde önemlidir. VZA yaklaşımında kullanılan modeller getiri varsayımlarına ve yönelimlerine göre şekil 3.3' te sunulmuştur.



Şekil 3.3. VZA' da kullanılan modeller

VZA yaklaşımında seçilen modeller girdi ya da çıktı yönelimli CCR ve girdi ya da çıktı yönelmli BCC modelleri şeklinde oluşturulabilir. Çalışmada girdi ve çıktı yönelimli CCR ve BCC modelleri seçildiğinden bu modeller üzerinde durulacaktır. Birimlerin üretim süreci girdileri üzerinde kontrolleri az ise ya da yoksa çıktı yönelimli, çıktıları üzerinde kontrolleri az ise ya da yoksa girdi yönelimli modeller oluşturulur. Maksimum çıktının minimum girdi ile üretilmesinde, toplamsal ya da yönelimsiz modeller de kullanılır.

VZA uygulamalarında CCR model ölçeğe göre sabit getiriyi benimser. Yani, girdide oluşan bir birimlik değişim, çıktıda da bir birimlik değişime sebep olur. BCC modeli ölçeğe göre

değişken getiriyi benimser. Bu model, CCR modeline konvekslik kısıtı eklenmesi ile ortaya atılmıştır. Konvekslik kısıtı, CCR modelde orijini en kuzeybatıdaki birim ile birleştiren etkin sınırın, orijinden geçme şartını gevşeterek, BCC etkinlik sınırının karar verme birimlerini CCR etkinlik sınırına göre daha sıkı zarflamasına sebep olur. Burada, daha sıkı bir zarf ile anlatılmak istenen BCC etkinlik sınırının, CCR etkinlik sınırına kıyasla karar verme birimlerine daha yakın mesafede olduğudur.[15]

Kıyaslama çalışmaları ve etkinlik ölçümlerinde hangi modellerin doğru olarak, amaçlara uygun bir şekilde seçilecekleri, probleme, hedeflere, araştırmanın içeriğine ve varsayımlara göre değişiklik gösterir. Karar birimlerinin ölçeğe göre sabit getiriye sahip oldukları varsayımıyla hareket edilecekse ve bu birimlerin toplam etkinlikleri isteniyorsa, CCR model ya da yönelimsiz modeller tercih edilebilir. Eğer, karar birimlerinin ölçeğe göre değişken getiriye sahip oldukları varsayımıyla hareket edilecekse ve sadece bu birimlerin teknik etkinlikleri aranıyorsa, BCC model ya da toplamsal modellerin kullanılması gerekir. Ancak toplam etkin olmayan karar birimlerinin etkin olmama durumlarının teknik etkinlikten mi, yoksa ölçekten mi kaynaklandığı araştırılacaksa, toplam, teknik ve ölçek etkinliklerin tümünün analiz edilmesi uygun olacaktır.[61]

CCR modeli, birimlerin saf teknik etkinlik ölçümlerini aynı ölçekte bulunmayan diğer birimlerle karşılaştırdığı için etkinlik skorlarını düşük gösterebilmektedir. Çünkü karar birimi ölçek olarak kendinden daha etkin bir birimle karşılaştırılırsa bu birimin etkinlik skoru daha düşük olacaktır. Diğer taraftan, BCC modelinde kıyaslama birimleri ölçek olarak benzer durumdaki birimlerle karşılaştırılmaktadır. Böylece, BCC modeline ait teknik etkinlik skorları CCR modeline göre, ya daha büyük ya da eşit olmaktadır. [16]

Saf teknik etkinlik, bir birimin BCC sınırında kalırken girdilerini ne kadar azaltabileceğini ölçer. Teknik etkinlik, KVB'nin girdilerinden maksimum fayda sağladığı başarısını ölçer. CCR modeli tarafından sağlanan genel teknik etkinlik, ölçek etkisini hesaba katmadığından ve BCC modeli, ölçek koşullarına değişken getiriler altında saf teknik etkinliği ifade ettiğinden, ölçek etkinliğini bu iki puanın oranıyla tanımlamak makul olacaktır. Ölçek etkinliği bir olduğunda, her iki puan da eşittir ve bu nedenle, girdilerin ve çıktıların en uygun hedef seviyeleri, CCR ve BCC metodolojileri varsayılarak iki etkin sınır arasındaki kesişme noktasındaki en üretken ölçek boyutuna denk gelir .[15]

VZA'da toplam teknik etkinlik CCR modeli ile hesaplanırken, BCC modeliyle, teknik etkinlik ve ölçek etkinliği ayrı bir şekilde hesaplanır. Çalışmada BCC ve CCR VZA modelleri, elektrik dağıtım şirketlerinin etkinliklerinin ölçülmesinde uygulanmıştır. Toplam teknik etkinlik, ölçek etkinliği, yani yerelde teknik etkinlik, genelde/global teknik etkinlik ölçümünün ve modeller arasında tutarlılığın sağlandığını ispatlamak amacıyla girdi ve çıktı odaklı CCR ile girdi ve çıktı odaklı BCC modelleri kullanılmıştır.

BCC ve CCR modelleri, teknik etkinliği ve ölçek etkinliğini hesaplama şansı sağlamaktadır. Bu ölçüm değerleri genelde ve yerelde etkinlik skorlarını gösterecektir.

Girdi odaklı BCC ve CCR modellerin matematiksel formları aşağıda verilmiştir. Buna göre; *n* adet homojen KVB'nin (KVB_j , $j = 1,...,n$) *m* adet girdiden x_{ij} ($i = 1,2,...,m$) olarak, *s* adet çıktıyı y_{rj} ($r = 1,2,...,s$) olarak ürettiğini, $x_j = (x_{1j},\ldots,\ x_{mj})$ ve $y_j = (y_{1j},\ldots,\ y_{sj})$ vektörlerinin de sıfır değerini almayan, pozitif vektörler olduklarını varsayalım. 1978'de Charnes, Cooper, Rhodes'in [17] önerdiği CCR üretim olasılık kümesi aşağıda verilen Eş. 3.1. gösterimindeki gibidir:

$$T_{CCR}=\{(X,Y) \mid \sum_{j=1}^{n}(X_j\lambda_j) \le X\ ,\ \sum_{j=1}^{n}(Y_j\lambda_j) \ge Y\ ,\ \lambda_j \ge 0, j = 1,....n\} \qquad (3.1.)$$

1984'te Banker, Charnes and Cooper 'ın [15] önerdiği BCC üretim olasılık kümesi aşağıda verilen Eş. 3.2. gösterimindeki gibidir:

$$T_{BCC}=\{(X,Y) \mid \sum_{j=1}^{n}(X_j\lambda_j) \le X\ ,\ \sum_{j=1}^{n}(Y_j\lambda_j) \ge Y\ , \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1, \lambda_j \ge 0, j = 1,...,n\} \qquad (3.2.)$$

CCR ve BCC etkinlik değerleri girdi odaklı model Eş. 3.3. ve Eş. 3.4. ifadelerinden elde edilebilir. Burada, x_{ij}, j karar verme biriminin i girdisinden kullandığı oranı; y_{rj}, j karar verme biriminin r çıktısı üretim seviyesini; λ_j, j karar birimine ait olan yoğunluk katsayısını göstermektedir. $\lambda_j \ge 0$, ölçeğe göre değişmeyen getiri varsayımını temsil etmektedir. θ_0 ise, teknik etkinlik göstergesidir. Ölçeğe göre değişken getiri için $\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j) = 1$, ölçeğe göre artmayan getiri için $\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j) \le 1$, ölçeğe göre artan getiri için $\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j) \ge 1$ kısıtları modellere eklenebilir. Bir KVB birimi teknik etkinliğe sahip ise; $\theta_0^* = 1$, etkin değil ise $\theta_0^* < 1$ olacaktır. Buna göre aşağıda yer alan deterministik modeller sunulmuştur.

Girdi odaklı CCR model Eş. 3.3. te verilmiştir.

$$min\ \theta_0\ - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- = \theta_0 x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - y_{r0} - s_r^+ = 0 \qquad (3.3.)$$

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

Girdi odaklı BCC model Eş. 3.4. te verilmiştir.

$$min\ \theta_0\ - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- = \theta_0 x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - y_{r0} - s_r^+ = 0 \qquad (3.4.)$$

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

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

Yukarıda; s_i^-, s_r^+ gevşek değişkenleri temsil ederken, $\varepsilon > 0$ "non-Archimedian" olarak bilinen sabit ve 10^{-6} civarında, göz ardı edilebilir gerçek sayı olmayan bir gösterimdir.

Çıktı odaklı CCR modeline ilişkin model Eş 3.5. teki gibidir.

$$max\ \theta_0 + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- = x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - \theta_0 y_{r0} - s_r^+ = 0 \qquad (3.5.)$$

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

Çıktı odaklı BCC modeline ilişkin model Eş 3.6. daki gibidir.[18]

$$max\ \theta_0 + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- = x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - \theta_0 y_{r0} - s_r^+ = 0 \qquad (3.6.)$$

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

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

3.1.2. Stokastik veri zarflama analizi

Klasik VZA, karmaşık model varsayımlarına ihtiyaç duymasa da, dolaylı olarak tüm verilerin deterministik olduğunu varsayar. Bu nedenle; deterministik VZA, diğer birçok istatistiksel yaklaşımdan daha fazla avantaj sunsa da, verilere duyarlılığı hesaplamalarda ve ölçüm sonuçlarında bazı sınırlamalara neden olmaktadır.

Bu nedenle, VZA yaklaşımının başarısının anahtarı, girdi ve çıktılar da dâhil olmak üzere tüm faktörlerin doğru ölçümüdür. Bir üretim sisteminin, üretim süreci boyunca girdi ve çıktı dağılımının tutarsızlığı ve karmaşıklığı doğru performans ölçümünü zorlaştırır. Bu nedenle, bazı araştırmacılar VZA'daki veri varyasyonuyla başa çıkmak için stokastik modellerle çalışmayı önermişlerdir.

Deterministik VZA formülasyonlarının şans kısıtlı programlama yaklaşımı, VZA'daki "etkin" ve "etkin değil" yerine "olası etkin" ve "olası etkin değil" gibi belirleyici özelliklerin yerine konmasını mümkün kılar.

Bir KVB'nin performansının olasılık dâhilinde yeterince yüksek olup olmadığını tatmin edici şekilde belirlemek için, olasılıkla karakteristik olarak kısıtlamalar modellere eklenebilir.

Etkinlik performans ölçümlerinde ya da analizlerinde doğru karar vermenin temel ilkelerinden biri rasgeleliği ve verilerdeki gürültüyü göz önünde bulundurmaktır. Sağlıklı bir kıyaslama ölçümü yapmak için, deneysel çalışmaların faktör seviyesi kombinasyonları genellikle rasgeledir. Bu rasgeleliğin ana nedeni, sistematik etkilerin deneyin sonuçlarını etkilemediğinden emin olmaktır. Tam bir rasgelelik kullanıldığında, *n* deneysel gözlemlerin homojen koşullarda yapılabileceği kabul edilir. Bununla birlikte, rasgelelik genellikle kısıtlıdır, çünkü bazı deneysel faktörleri değiştirmek veya kontrol etmek zordur. Kısıtlı bir rasgeleliğin bir başka nedeni de tüm gözlemlerin homojen koşullarda yapılmamasıdır.

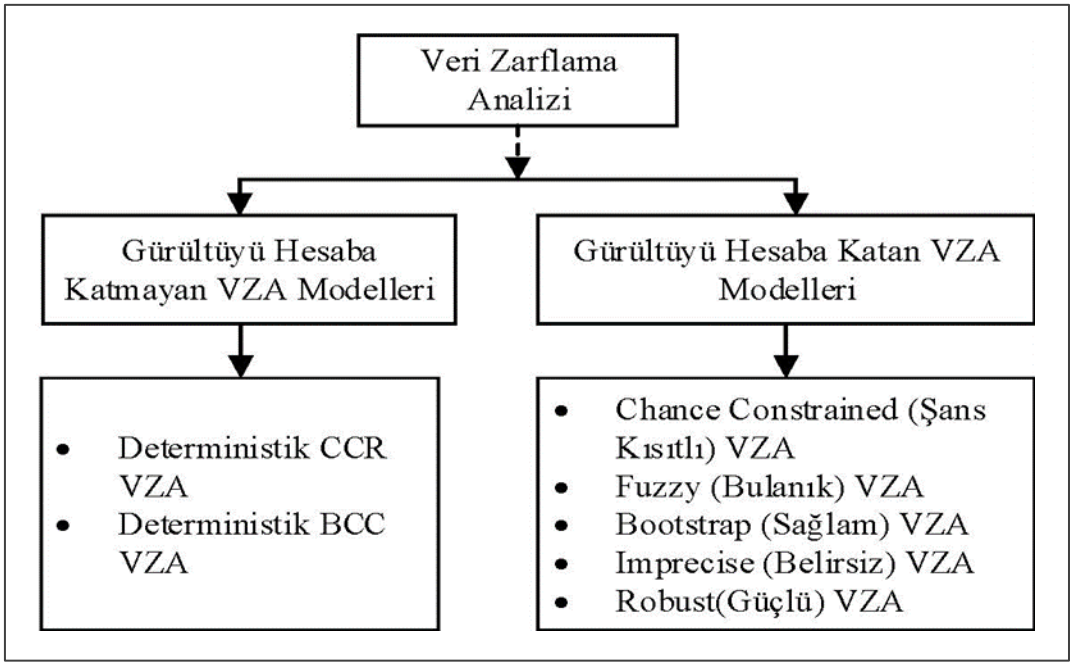
VZA ve regresyon temelli istatistiksel performans kıyaslama yaklaşımlarında veriler sadece etkin olmamayla değil, aynı zamanda istatistiksel gürültü ile de bozulursa, tahmin edilen sınır yukarıya doğru eğimli olur ve etkin olmayan tahminleri ölçüm hatası ve istatistiksel gürültüyü de hesaba katar. Deterministik VZA gürültüyü hesaba katmadan karar verme birimleri arasındaki göreceli etkinlik hesaplamaları yaparken, stokastik VZA önerilen verilerdeki gürültüyü dikkate alan bir yöntemdir.

Verilerdeki gürültüden kaynaklanan varyasyon, optimizasyon problemine bağımsız ve homojen dağıtılmış değişkenlerin doğrusal kombinasyonunun standart sapması olarak modele dahil edilir.

Stokastik veri zarflama problemini deterministik veri zarflama problemine çevirmek amacıyla kullanılan yaklaşımlardan biri şans kısıtlı programlamadır. Şans kısıtlı programlama modelleri rasgele veri kümelerini kullanır, verilerdeki gürültüyü hesaba katar ve belirlenen olasılık sınırlarına kadar kısıt bozulmalarına müsaade eder. Modellerde yer alan doğrusal kısıtlar, kısıtlardaki bozulmaların genişliğini belirten olasılık seviyelerinin kümesiyle birleştiriliyorsa doğrusal programlama şans kısıtlı olarak ifade edilir. Rassal değişkenlere sahip kısıtların, belirli dağılımlarına ait olasılık seviyelerinin kısmi bozulmasına izin veren yöntemde, yaklaşık olarak güvenilirliği sağlamak amacıyla şans kısıtlı programlama metodolojisi matematiksel bir teknik olarak tercih edilebilir. Bu teknikle birçok endüstriyel ve ekonomik problemde çalışılmıştır. [19]

Şans kısıtlı veri zarflama analizi, kısıtların çok sık olmamakla birlikte esnetilmesine, elenmesine imkân vermekte, bu sayede VZA'yı stokastik bir forma dönüştürmektedir. Girdi yönelimli VZA zarflama modelinin şans kısıtlı formülasyonunda, girdi kısıtlamasının ihmal edilme olasılığı *a* değeri olarak formüle dâhil edilirse, bu girdi kısıtlamasının olasılığı *1-a* değeri ile temsil edilir. Genel olarak *a* değeri, % 95 güvenle olasılığı temsil eden 0.05 hata düzeyi olarak kabul edilir.

Aşağıda yer alan şekilde gürültüyü modellere dâhil etmeyen ve dâhil eden VZA yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Gürültüyü modellere dâhil etmeyen ve dâhil eden VZA yöntemleri

Enerji sektöründe üretim sürecinin, karar verme birimlerinin faaliyet süreçlerinden, organizasyonel yapılarından, hukuki ve ekonomik çevrelerinden kaynaklanan birçok olasılıksal durumu içermesi nedeniyle, bu çalışmada etkinlik analizinin rasgele verilerle belirsizlik altında da yapılabilmesi için deterministik VZA yanında girdilerin ve çıktıların olasılığı içeren rassal bir forma sahip olduğu; ancak çıktıların, girdilere bağlı bir şekilde bileşik normal dağılım gösterdiği kabul edilen şans kısıtlı stokastik VZA kullanılmıştır.

Stokastik çerçevede, üretim olasılığı seti girdilerin ve çıktıların ortalama değerleri ile tanımlanır. Model geliştirmede, şans kısıtlı problemden deterministik eşdeğerine dönüşüm kullanılır. Gerçek üretim olasılığı seti, gerçek üretim fonksiyonu kullanılarak oluşturulabilir. Parametrik olmayan VZA metodolojisinde bu fonksiyon bilinmemektedir. Bu nedenle, CCR üretim fonksiyonunun, üretim olasılık kümesi Charnes vd. [17] ve BCC üretim fonksiyonunun, üretim olasılık kümesi Banker vd. [15] tarafından Eş. 3.1. ve Eş. 3.2.' deki gibi sunulmuştur. Bundan sonra elde edilecek olan modellerde; $P= \{(X; Y)/Y \geq 0\ , X \geq 0\}$ olasılık kümesi, θ_0 ise olası en büyük çıktı olarak ele alınacaktır.

Çalışmada yer alacak olan stokastik VZA modellerini sunmadan önce, modellerde kullanılan terminolojiye aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Terminoloji

j = 1,…,n : karar verme birimleri(KVB)	$\tilde{X}_j = (\tilde{x}_{1j}, \ldots, \tilde{x}_{mj})$: *karar verme birimlerinin rassal girdi vektörü*
r =1,...,s : çıktı değişkenlerinin kümesi	$\tilde{Y}_j = (\tilde{y}_{1j}, \ldots, \tilde{y}_{sj})$: *karar verme birimlerinin rassal çıktı vektörü*
i =1,...,m : girdi parametlerinin kümesi	$x_j = (x_{1j}, \ldots, x_{mj})$: *girdilerin beklenen değerlerine karşılık gelen vektör*
DMU_0 *: ölçümü yapılan, belirli bir KVB*	$y_j = (y_{1j}, \ldots, y_{mj})$:*çıktıların beklenen değerlerine karşılık gelen vektör*
yrj:karar birimi j tarafından kullanılan r çıktısının miktarı	$\tilde{x}_{ij}$:*girdilerin ortalaması*
xij: karar birimi j tarafından kullanılan i girdisinin miktarı	$\tilde{y}_{rj}$: *çıktıların ortalaması*
y_{r0}:*belirli bir KVB biriminin r. çıktısı*	$\tilde{\varepsilon}_{ij}$: *girdilerin ortalama değerleriyle karşılaştırılan girdi hatası*
x_{i0}:*belirli bir KVB biriminin i. girdisi*	$\tilde{\xi}_{rj}$: *çıktıların ortalama değerleriyle karşılaştırılan çıktı hatası*
θ:etkinlik ölçütü	*σ: rassal girdi ve çıktıların standard sapması*
α: *the level of error between 0 and 1*	λ *:yoğunluk vektörü*
Cov:kovaryans operatörü	ϕ: *standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu*
P: olasılık ölçütü	ϕ^{-1}:*standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonunun tersi*

Stokastik VZA yönteminde, girdilerin ve çıktıların rasgele değişkenler oldukları varsayılıp, $\tilde{x}_j = (\tilde{x}_{1j}, \ldots, \tilde{x}_{mj})$ ve $\tilde{y}_j = (\tilde{y}_{1j}, \ldots, \tilde{y}_{sj})$ j adet karar verme biriminin rasgele girdi ve çıktı değişkenlerinin beklenen girdi ve çıktı değişkenlerine karşılık gelen vektörlerini temsil eder.

Çalışma kapsamında bütün girdi ve çıktı bileşenlerinin normal dağılıma sahip oldukları kabul edilmiştir.

$$\tilde{x}_{ij} \sim N(x_{ij}, \sigma_{ij}^2), \quad i = 1,2,\ldots,m$$

$$\tilde{y}_{rj} \sim N(y_{rj}, \sigma'^2_{rj}), \quad r = 1,2,\ldots,s \qquad (3.7.)$$

Eş. 3.7. notasyonu doğrultusunda, çıktıların ve girdilerin rassal olduğu varsayımıyla, Cooper, Deng, Huang ve Li [18] girdi odaklı şans kısıtlı stokastik BCC modelini aşağıdaki Eş. 3.8.'de olduğu gibi tanıtmıştır:

Minimize θ

s.t.

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j \leq \theta\tilde{x}_{i0}\right) \geq 1 - \alpha \, , i = 1,\ldots,m$$

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{y}_{rj}\lambda_j \geq \tilde{y}_{r0}\right) \geq 1 - \alpha \, , \quad r = 1, \ldots, s \qquad (3.8.)$$

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

$$\lambda_j \geq 0 \, , \, j = 1, \ldots, n$$

Yukarıdaki modelde, P olasılık ölçüsünü, α ise 0 ile 1 arasındaki hata seviyesini gösterir.

Belirli bir KVB'nin performans analizini gerçekleştirmek için, girdi odaklı şans kısıtlı stokastik CCR modeli, Cooper vd. [20] tarafından Eş. 3.9. da olduğu gibi tanıtılmıştır:

Minimize θ

s.t.

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j \leq \theta\tilde{x}_{i0}\right) \geq 1 - \alpha\ , i = 1,\ldots,m$$

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{y}_{rj}\lambda_j \geq \tilde{y}_{r0}\right) \geq 1 - \alpha\ ,\ r = 1, \ldots, s \qquad (3.9.)$$

$\lambda_j \geq 0, j = 1, \ldots, n$

Çıktı odaklı şans kısıtlı stokastik BCC modeli, Eş. 3.10. daki gibidir:

Maximize θ

s.t.

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j \leq \tilde{x}_{i0}\right) \geq 1 - \alpha\ , i = 1,\ldots,m$$

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{y}_{rj}\lambda_j \geq \theta\tilde{y}_{r0}\right) \geq 1 - \alpha\ ,\ r = 1, \ldots, s \qquad (3.10.)$$

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

$\lambda_j \geq 0, j = 1,\ldots,n$

Çıktı odaklı şans kısıtlı stokastik CCR modeli Eş. 3.11. deki gibidir:

Maximize θ

s.t.

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j \leq \tilde{x}_{i0}\right) \geq 1 - \alpha\ , i = 1,\ldots,m$$

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{y}_{rj}\lambda_j \geq \theta\tilde{y}_{r0}\right) \geq 1 - \alpha\ , \quad r = 1, \ldots, s \qquad (3.11.)$$

$\lambda_j \geq 0\ , j = 1,\ldots,n$

Şans kısıtlı etkinlik tanımı "θ^* =1 ve diğer alternatif optimal çözümlerde gevşek değişkenler sıfır olduğu zaman stokastik etkindir" şeklindedir. [21]

Şans kısıtlı stokastik modellerin deterministik eşitleri

Yukarıda deterministik ve şans kısıtlı stokastik VZA modellerine değinilmişti, bu kısımda stokastik modellerin deterministik eşitleri sunulacaktır. Klasik VZA yani deterministik yaklaşımda girdi ve çıktılar, belirlenen hedeflerin etkisi ile gelişirler ve bu durumda deterministik formda oldukları kabul edilir. Deterministik yaklaşım sadece bir eğilim yani varsayımdır; ancak üretim sürecinde yer alan bileşenlerden kaynaklı belirsizlikler nedeniyle rasgele faktörler devreye girer ve deterministik yapı bozulur. Bu durum verilerin yer aldığı gerçek hayat problemlerinin bir çoğunda rasgeleliğin yer aldığı stokastik yaklaşımları kullanmanın doğru olacağını gösterir. Stokastik programlamada rasgele veri içeren kısıtlar bir olasılığa sahiptir. Bu modellerin çözümünde istenen yöntem, problemin olasılıksal formunu, gerçek yapıyı bozmadan ona eşdeğer olan deterministik eşitlerine dönüştürmektir.

Eş. 3.8. de yer alan girdi odaklı BCC stokastik modelin deterministik eşiti örnek olarak Eş. 3.12. de sunulmuştur. [21]

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

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- - \phi^{-1}(\alpha)v_i = \theta x_{i0}, \quad i = 1, \ldots, m$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^{+} + \phi^{-1}(\alpha)u_r \quad = y_{r0} \quad , \quad r = 1, \ldots, s \qquad (3.12.)$$

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

$$v_i^{\,2} = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \; cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ik}) + 2(\lambda_0 - \theta) \sum_{j\neq 0} \lambda_j cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{i0}) + (\lambda_0 - \theta)^2 \; var(\tilde{x}_{i0}),$$

$$u_r^{\,2} = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \; cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{rk}\right) + 2(\lambda_0 - 1) \sum_{j\neq 0} \lambda_j cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{r0}\right) + (\lambda_0 - 1)^2 \; var(\tilde{y}_{r0}),$$

$\lambda_j \, , s_i^{-}, s_r^{+} \geq 0 \, , v_i \geq 0, u_r \geq 0 \, , \quad j = 1,\ldots,n, \quad r = 1, \ldots, s \quad , i = 1, \ldots, m$

Doğrusal olmayan karesel programlama modellerinde, ϕ standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu olup $\phi^{-1}(\alpha)$ bu fonksiyonun α seviyesindeki tersidir. Daha önce belirttiğimiz gibi; optimal çözüm için herhangi bir KVB, α seviyesinde $\theta^{*} = 1$ olduğunda stokastik etkindir.

Eş. 3.9. da yer alan girdi odaklı CCR stokastik modelin deterministik eşiti örnek olarak Eş. 3.13. te sunulmuştur.[20]

Min θ -$\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^{-} + \sum_{r=1}^{s} s_r^{+}\right)$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^{-} - \phi^{-1}(\alpha)v_i = \theta x_{i0}, i = 1, \ldots, m$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^{+} + \phi^{-1}(\alpha)u_r = y_{r0} \, , \, r = 1, \ldots, s \qquad (3.13.)$$

$$v_i^{\,2} = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \; cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ik}) + 2(\lambda_0 - \theta) \sum_{j\neq 0} \lambda_j cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{i0}) + (\lambda_0 - \theta)^2 \; var(\tilde{x}_{i0}),$$

$$u_r{}^2 = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \, cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{rk}\right) + 2(\lambda_0 - 1)\sum_{j\neq 0} \lambda_j cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{r0}\right) + (\lambda_0 - 1)^2 \, var(\tilde{y}_{r0}),$$

λ_j , $s_i{}^-, s_r{}^+ \geq 0$, $v_i \geq 0$, $u_r \geq 0$, j = 1, ...,n, r =1, ... ,s , $i = 1, \ldots, m$

Eş. 3.10. da yer alan çıktı odaklı BCC stokastik modelin deterministik eşiti örnek olarak Eş. 3.14. te sunulmuştur .[21]

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

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- - \phi^{-1}(\alpha) v_i = x_{i0}, i = 1, \ldots, m$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r{}^+ + \phi^{-1}(\alpha) u_r = \theta y_{r0}, \text{ r =1, ... ,s} \qquad (3.14.)$$

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

$$v_i{}^2 = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \, cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ik}) + 2(\lambda_0 - 1)\sum_{j\neq 0} \lambda_j cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{i0}) + (\lambda_0 - 1)^2 \, var(\tilde{x}_{i0}),$$

$$u_r{}^2 = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j \lambda_k \, cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{rk}\right) + 2(\lambda_0 - \theta)\sum_{j\neq 0} \lambda_j cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{r0}\right) + (\lambda_0 - \theta)^2 \, var(\tilde{y}_{r0}),$$

λ_j , $s_i{}^-, s_r{}^+ \geq 0$, $v_i \geq 0$, $u_r \geq 0$, j = 1, n, r =1, ... ,s , $i = 1, \ldots, m$

Eş. 3.11. de yer alan çıktı odaklı CCR stokastik modelin deterministik eşiti örnek olarak Eş. 3.15. te sunulmuştur.[22]

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

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- - \phi^{-1}(\alpha)v_i \;\; = x_{i0}, i = 1,\ldots,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^+ + \phi^{-1}(\alpha)u_r \;\; = \theta y_{r0} \;\; , r=1, \ldots ,s \qquad (3.15.)$$

$$v_i^2 = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j\lambda_k \; cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{ik}) + 2(\lambda_0 - 1)\sum_{j\neq 0} \lambda_j cov(\tilde{x}_{ij}, \tilde{x}_{i0}) + (\lambda_0 - 1)^2 \; var(\tilde{x}_{i0}),$$

$$u_r^2 = \sum_{j\neq 0}\sum_{k\neq 0} \lambda_j\lambda_k \; cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{rk}\right) + 2(\lambda_0 - \theta)\sum_{j\neq 0} \lambda_j cov\left(\tilde{y}_{rj}, \tilde{y}_{r0}\right) + (\lambda_0 - \theta)^2 \; var(\tilde{y}_{r0}),$$

$\lambda_j \; , s_i^-, s_r^+ \geq 0 \; , v_i \geq 0, u_r \geq 0 \; , j = 1,\ldots.n, \quad r = 1, \ldots. ,s \;\; , i = 1,\ldots,m$

Simetrik hata yapısına dayalı stokastik etkinlik

Daha önce belirttiğimiz gibi, stokastik veri zarflama analizi verideki gürültüyü işleyebilen, rasgele gürültü ve rasgele etkinsizliği içeren bir yaklaşımdır. Karar verme birimlerine ait verideki istatistiksel gürültü ve çevresel faktörler gibi bileşenlerle, bileşik hata terimlerini modellerde hesaba katar.

Çalışmayla simetrik hata yapısını modellere katarak, gürültülü verilerin olasılıksal modellenmesini yani stokastik gürültüyü stokastik veri zarflama analizi yaklaşımıyla hesaplıyoruz. Simetrik hata yapısına dayalı stokastik çalışmalarda amaç, rasgele girdilerin ve çıktıların bulunduğu doğrusal olmayan stokastik Eş. 3.11.'in deterministik doğrusal modele dönüştürülmesidir.

Karar verme birimlerinin stokastik girdi ve çıktılarını Eş. 3.16. da olduğu gibi düşünelim:

$$\tilde{x}_{ij} = x_{ij} + \; a_{ij}\tilde{\varepsilon}_{ij} \;\; , \;\; i = 1,\ldots,m \; , j = 1,\ldots,n$$

$$\tilde{y}_{rj} = y_{rj} + \; b_{rj}\tilde{\xi}_{rj} \;\; , \;\; r = 1,\ldots,s \; , \; j = 1,\ldots,n \qquad (3.16.)$$

Burada a_{ij} ve b_{rj} pozitif gerçek değerlerdir. $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ ve $\tilde{\xi}_{rj}$ ise normal dağılıma sahip rasgele değişkenlerdir.

$\tilde{\varepsilon}_{ij} \sim N(0, \overline{\sigma}^2)$

$\tilde{\xi}_{rj} \sim N(0, \overline{\sigma}^2)$

Bu nedenle $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ ve $\tilde{\xi}_{rj}$ girdilerin ve çıktıların ortalama değerlerine kıyasla, girdi ve çıktı hatalarıdır. Normal dağılım simetrik olduğu için, Eş. 3.16. da yer alan ifadeler, simetrik hata yapıları olarak adlandırılır. Böylece aşağıda yer alan ifadeler elde edilir.

$\tilde{x}_{ij} \sim N(x_{ij}, \overline{\sigma}^2 a^2{}_{ij})$

$\tilde{y}_{rj} \sim N\left(y_{rj}, \overline{\sigma}^2 b^2{}_{rj}\right)$

Normal dağılımlı her rassal değişken simetrik hata yapısı kapsamında değerlendirilebilir. Her KVB'nin i. girdisinin ve r. çıktısının bağımsız olduğunu düşünelim.

$Cov\left(\tilde{\varepsilon}_{ij}, \tilde{\xi}_{rj}\right) = 0, \quad i = 1, \ldots, m,$

$Cov\left(\tilde{\xi}_{rj}, \tilde{\xi}_{rk}\right) = 0, \; r = 1, \ldots, s, \quad j \neq k$ (3.17.)

Eş. 3.16.ve Eş. 3.17. ifadeleri göz önünde bulundurulunca, bu ifadeler her bir karar verme birimi için aynı hata olarak düşünülür. Böylece $\tilde{\varepsilon}_i = \tilde{\varepsilon}_{ij}$ ve $\tilde{\xi}_r = \tilde{\xi}_{rj}$ olur.

Örneğin, Eş. 3.9. da i. girdi kısıtını düşünelim,

$$P\left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j \leq \theta\tilde{x}_{i0}\right) \geq 1 - \alpha, i = 1, \ldots, m \quad (3.18.)$$

Burada $\tilde{h}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j - \theta\tilde{x}_{i0}$ olsun. Eş. 3.16.ve Eş. 3.17. göz önüne alınarak;

$\tilde{h}_i = \left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{x}_{ij}\lambda_j - \theta\tilde{x}_{i0}\right) + \tilde{\varepsilon}_i\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0}\right)$ elde edilir.

Böylece;

$$\tilde{h}_i \sim N\left(\left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j - \theta x_{i0}\right), \overline{\sigma}^2\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0}\right)^2\right) \text{ olur.}$$

Yukarıda yer alan ifade ve normal dağılım özelliğine göre; Eş. 3.18. de yer alan stokastik kısıt aşağıdaki gibi deterministik eşitine dönüştürülebilir.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j - \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}\left|\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0}\right| \leq \theta x_{i0} \qquad (3.19)$$

Aynı şekilde; Eş. 3.9. da r. çıktı kısıtını düşünelim,

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j + \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}\left|\sum_{j=1}^{n} b_{rj}\lambda_j - b_{r0}\right| \geq y_{r0} \qquad (3.20)$$

Böylece Eş. 3.19. ve Eş. 3.20. yardımıyla Eş. 3.9.' un deterministik eşiti aşağıdaki gibi olur.

Min θ

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j - \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}\left|\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0}\right| \leq \theta x_{i0} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j + \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}\left|\sum_{j=1}^{n} b_{rj}\lambda_j - b_{r0}\right| \geq y_{r0} \ , \qquad (3.21.)$$

$\lambda_j \geq 0$, $j = 1, \ldots, n$, , $r = 1, \ldots\ldots, s$, $i = 1, \ldots, m$

Eş. 3.21. doğrusal olmayan bir programlama modelidir ve aşağıda yer alan dönüşümlerle doğrusal bir yapıya kavuşturulabilir .[23]

$$\left|\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0}\right| = (p_i^- + p_i^+) \ , i = 1, \ldots, m,$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0} = (p_i^+ - p_i^-) \ ,$$

$$p_i^+ p_i^- = 0 \ , i = 1, \ldots, m \ ,$$

$$\left| \sum_{j=1}^{n} b_{rj}\lambda_j - b_{r0} \right| = (q_r^- + q_r^+) \ , r = 1, \ldots, s \ , \qquad (3.22.)$$

$$\sum_{j=1}^{n} b_{rj}\lambda_j - b_{r0} = (q_r^+ - q_r^-) \ ,$$

$$q_r^+ q_r^- = 0 \ , r = 1, \ldots, s \ ,$$

$$p_i^+ \geq 0 \ , p_i^- \geq 0 \ , q_r^+ \geq 0 \ , q_r^- \geq 0$$

Eş. 3.22. de yer alan ifadeleri Eş. 3.21.'e yerleştirirsek;

Min θ

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j - \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}(p_i^- + p_i^+) \ \leq \theta x_{i0} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j + \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}(q_r^- + q_r^+) \ \geq y_{r0} \qquad (3.23.)$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\lambda_j - \theta a_{i0} = (p_i^+ - p_i^-)$$

$$\sum_{j=1}^{n} b_{rj}\lambda_j - b_{r0} = (q_r^+ - q_r^-) \ ,$$

$$q_r^+ q_r^- = 0 \ , p_i^+ p_i^- = 0,$$

$\lambda_j \geq 0$, $j = 1, \ldots n$, , $r = 1, \ldots, s$, $i = 1, \ldots, m$,

$p_i^+, p_i^-, q_r^+, q_r^- \geq 0$

elde ederiz.

Eş. 3.23. te yer alan model $q_r^+ q_r^- = 0$, $p_i^+ p_i^- = 0$ kısıtlarının varlığı nedeniyle doğrusal değildir. Eş. 3.23. te optimal temel çözüm algoritmalarının kullanıldığı varsayımıyla $q_r^+ q_r^- = 0$, $p_i^+ p_i^- = 0$ kısıtlarının kaldırılması, doğrusal modeli ve doğrusal modelin optimal sonuçlarını sağlar. Bu kısıtların kaldırılmasıyla simetrik hata yapısı kapsamında Eş. 3.9. 'un doğrusal deterministik eşiti Eş. 3.24. te olduğu gibidir.

$\theta^*(\alpha) = \min \theta$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} \mathrm{x}_{ij}\lambda_j - \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}(p_i^- + p_i^+) \leq \theta \mathrm{x}_{i0}\,,$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j + \phi^{-1}(\alpha)\,\overline{\sigma}(q_r^- + q_r^+) \geq y_{r0}\,, \qquad (3.24)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \mathrm{a}_{ij}\lambda_j - \theta \mathrm{a}_{i0} = (p_i^+ - p_i^-)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \mathrm{b}_{rj}\lambda_j - \mathrm{b}_{r0} = (q_r^+ - q_r^-)\,,$$

$\lambda_j \geq 0$, $j = 1, \ldots n$, , $r = 1, \ldots s$, $i = 1, \ldots, m$,

$p_i^+, p_i^-, q_r^+, q_r^- \geq 0$

Diğer modeller içinde aynı dönüşümler uygulanıp, doğrusal deterministik eşitleri bulunmuş GAMS paket programı ile çözümler elde edilmiştir.

3.2. Literatür Taraması

VZA, KVB'lerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan ve birden fazla çıktı elde etmek için birden fazla girdi kullanan bir tekniktir. VZA kavramsal olarak ilk önce Farrell [14] tarafından tanıtılmıştı, ancak daha sonra, yaklaşım ekonomi, yöneylem araştırmaları ve optimizasyon konularında literatürün temellerini atan Charnes vd. [24] tarafından uygulamalarda kullanıldı. Charnes, Cooper, Rhodes [14], CCR modeli adı verilen ilk VZA modelini geliştirdi. Banker, Charnes, Cooper [15], BCC modelinden ölçeğe göre değişken getiri modelini elde ederek CCR modelini elde etmek için VZA'yı genişletti.

Literatürde VZA ile ilgili pek çok çalışma vardır. Elektrik dağıtım şirketlerinin performans kıyaslamalarında en sık kullanılan kıyaslama modelleri şunlardır: Veri Zarflama Analizi (VZA; Charnes ve diğerleri, 1978), Stokastik Sınır Analizi (SFA; Aigner vd., 1977; Meeusen, Van den Broeck, 1977), Düzeltilmiş Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi (COLS) (Richmond, 1974) ve Stokastik Yarı Parametrik Olmayan Veri Zarflama Analizi (StoNED; Kuosmanen, 2006; Kuosmanen ve Kortelainen, 2012).

VZA, KVB'lerin girdilerinin ve çıktılarının dışbükey bir doğrusal kombinasyonunu kullanarak etkinlik sınırı oluşturan parametrik olmayan doğrusal programlama metodolojisidir. SFA, etkinlik sınırının parametrik bir denklemini gerektirir ve sınırdan sapmaları temsil eden bir bileşik hata yapısına göre hareket eder. Bileşik hata, stokastik verimsizliklerin ve stokastik gürültünün toplamıdır. StoNED yaklaşımıda bileşik stokastik hata yapısını ve parametrik olmayan, parçalı doğrusal bir sınır içerir. Lopes ve Mesquita [25], çalışmalarıyla bu modellerin kıyaslama için Avrupa elektrik dağıtım düzenleyicileri arasında çok popüler olduğunu göstermiştir.

Çeşitli alanlarda, KVB'leri deterministik, stokastik ve bulanık gibi farklı verilerle değerlendirmek için birçok VZA modeli sunulmuştur. Bununla birlikte, birçok pratik problemde, karar vericiler kesin olmayan, rassal verileri olan karar verme birimlerinde zorlanmaktadırlar. Girdi ve çıktı değerlerinin ölçümü hata ve gürültüye maruz kalır. Verilerdeki gürültü genellikle sınır hesaplamalarında ve etkinlik sonuçlarında hatalara yol açabilir. Bu durumlarda, analistler kesin olmayan verileri rasgele değişkenler olarak kabul ederler. Rasgele değişkenlerle çalışılarak ve rassal olayların olasılığı göz önüne alınarak, mevcut bilgilerin farklı bakış açıları tespit edilebilir. VZA'da rasgele verilerle çalışmanın

temel avantajı, gelecekteki optimizasyon problemlerinde etkinliklerin öngörülebilmesidir. Girdilerin ve çıktıların rasgele veriler olarak kabul edildiği stokastik modeller, gelecekteki sorunların bu tür verileri analiz ederken ortaya çıkan bulanıklığı veya dalgalanmaları hesaba katması için makul bir yaklaşım gibi görünmektedir.

Land vd. [26,27], Li [28], Cooper vd. [21], Sengupta [29], Huang ve Li [30], Olesen [31], Khodabakhshi [32,33,34] Behzadi vd. [35] ve Jahanshahloo vd. [36] çalışmalarında stokastik VZA modellerini kullanmışlardır.

Son çalışmalarda, SVZA yaklaşımlarıyla büyük ölçekli şans kısıtlı optimizasyon problemlerinin doğrusallaştırılması imkanıyla bu problemlerde doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

VZA modellerinin amacı, homojen karar verme birimlerinin etkinlik ölçümü ve kıyaslaması için girdiler kümesini çıktılar kümesine dönüştürmektir.VZA modellerinin sonuçları, KVB'leri etkin ve etkin olmayan olarak ayırır. KVB'nin etkinlik değeri, etkinlik sınırının bir elemanı ise etkin olarak değerlendirilir. BCC modelinin sınırı parçalı bir doğrusal küme olduğundan, Banker vd. [15] sıfır olmayan gevşekliklerle zayıf etkinliği ve sıfır gevşeklikle etkinliği tanımlamıştır.

Bu bölümde temel amacımız, elektrik dağıtım şirketleri için önerilen VZA modellerinin özelliklerini ve sonuçlarını gözden geçirmektir. VZA ile elektrik dağıtım şirketlerinin etkinliğinin ilk çalışması Weyman-Jones [37] tarafından yapılmış, bu çalışmayla İngiltere'deki elektrik dağıtım sektörünün performansı ölçülmüştür. VZA, elektrik dağıtım sektörlerinin göreceli etkinlik analizi için popüler bir optimizasyon yöntemidir.

Parametrik yaklaşımlar istatistiksel teknikleri uygularken, parametrik olmayan yaklaşımlar VZA gibi doğrusal ve doğrusal olmayan programlama kullanır [38]. Omrani vd. [39], elektrik dağıtım birimlerinin etkinlik değerlerini tahmin etmek için veri zarflama analizinden (VZA), düzeltilmiş normal en küçük karelerden (COLS) ve temel bileşen analizinden (PCA) oluşan entegre bir algoritma kullanmıştır. Çalışmalarında 17 adet İran elektrik dağıtım birimi için şebeke uzunluğu, trafo kapasitesi ve çalışan sayısı girdi, kabul edilen müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı stokastik çıktı olarak kabul edilmiştir. Elektrik dağıtım birimlerini değerlendirmek için stokastik VZA yaklaşımı kullanılmıştır. Odyakmaz [9], Türkiye'deki 21

dağıtım şirketinin değerlendirilmesinde maliyet azaltmaya dayalı olarak VZA kullanmıştır. Bu bağlamda, çıktı olarak kullanılan toplam maliyet, en küçük kareler modelinde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Girdi olarak müşteri sayısı, dağıtım alanının toplam alanı, personel harcamalarının birim maliyeti, yatırım miktarı, elektrik kalitesi, benzer coğrafi özellikler ve abonelik tüketiminin konut aboneliği tüketimine oranı kullanılmıştır. Azadeh vd. [40] elektrik dağıtım birimlerinin etkinlik tahmini için entegre VZA, düzeltilmiş en küçük kareler yöntemi(COLS), stokastik sınır analizi (SFA) ve temel bileşen analizi (PCA) yöntemlerini kullandılar. Elektrik dağıtım birimlerinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan göstergeler olarak birçok çalışanı, işletme maliyetlerini, şebeke uzunluğunu, trafo kapasitesini, müşteri sayısını, servis alanını ve satılan enerji miktarını dikkate aldılar. Azadeh vd. 2009 [41] yılındaki çalışmalarında, İran'daki elektrik dağıtım birimlerinin performans değerlendirmesinde belirleyici bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen yaklaşımlarında VZA ve PCA kullandılar. Hat uzunluğu, trafo kapasitesi, çalışan sayısı, satılan enerji miktarı ve servis alanı çalışmalarında ana göstergeler olarak kabul edilmiştir. Başka bir çalışmada Çelen [42], Türkiye'de 21 elektrik dağıtım şirketinin etkinliğini deterministik VZA ve Tobit analizi kullanarak yansıtmıştır. Araştırmada müşteri sayısı, çalışan sayısı, hat uzunluğu, trafo gücü, müşteri başına kesinti süresi ve teknik kayıp oranı girdi olarak kullanılmış, müşteri yoğunluğu, müşteri yapısı, yanlış mülkiyet ve kayıp-kaçak oranları çıktı olarak kullanılmıştır.

Mullarkey vd. [43], İrlanda Cumhuriyeti'ndeki elektrik dağıtım şirketlerinin heterojenliğini kontrol etmek için orta gerilim enerji hatlarının diğer değişkenlerden daha iyi olduğunu savunmuştur. Bu çalışmalara uluslarası bir çalışma ekleyecek olursak, 1999 yılı verileriyle İtalya, Hollanda, Norveç, Portekiz, İspanya ve Birleşik Krallık Avrupa ülkelerinden 63 dağıtım firmasının Jamasb ve Pollitt [46] tarafından performans kıyaslaması yapılmıştır.

Gouveia vd. [44], 40 Portekiz elektrik şirketinin kıyaslanması için standart VZA modelleri ve değer tabanlıVZA yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması üzerinde çalıştılar. Araştırmada, belirsizlikle başa çıkmak için, değer tabanlı VZA yöntemi, süper etkinlik kavramını içerecek şekilde uyarlanmıştır. Arcos-Vargas vd. [45], İspanya'daki elektrik dağıtım şirketlerinin performans değerlendirmesinde CCR ve BCC VZA modellerinde farklı göstergeler kullandılar. Bu çalışmanın amacı, düzenleyici kurumlara dağıtım ücretini belirleyebilmeleri için teorik bir çerçeve sağlayan bir dizi model vermektir.

Klasik VZA yönteminde girdi ve çıktılar deterministik olduklarından, gelecekteki tutarsızlıklara karşı öngörülemeyen durumlara yol açar. Klasik VZA'nın dezavantajı, stokastik VZA'nın hesaplamaya dahil edilmesiyle aşılabilir. Land vd. 1993 [27] yılındaki çalışmalarında olduğu gibi Charnes vd. [17] bir okul programının etkinliğini incelemek için stokastik VZA yöntemini kullanmıştır. Land vd. [27], stokastik VZA olasılığını öne sürerek kendi modellerini oluşturdular. VZA'nın stokastik modelini çıktıların normal dağılımlı rasgele değişkenler olarak alınmasıyla şans kısıtlı programlama kapsamında tanıttılar. Aynı çalışmada stokastik optimizasyon modelleri etkin KVB'leri belirlemek için deterministik eşdeğerlerine dönüştürülmüştür.

Literatürde öncelikle Charnes ve Cooper [24,47] tarafından geliştirilen şans kısıtlı veri zarflama analizi yöntemiyle belirsizlik altında, etkinlik modellerini ortaya koymuştur Şans kısıtlı kavramı, çıktı odaklı bir stokastik süper etkinlik modeli geliştirmek için Khodabakhshi tarafından çalışılmıştır. Khodabakhshi 2010 yılında [32], 17 İran elektrik dağıtım şirketinin performans kıyaslaması için maliyeti, çalışan sayısını, trafo gücünü ve hat uzunluğunu girdi olarak, dağıtılan enerji miktarını, müşteri sayısını ve servis alanını çıktı olarak kullanıp stokastik VZA üzerinde çalışmıştır. Mirbolouki vd. [48], 2000- 2004 yıllarına ait verilere göre, 15 İran elektrik dağıtım biriminin etkinliğini ölçmek için şans kısıtlı programlama yaklaşımına dayanan bir stokastik CCR çarpan modeli geliştirmiştir. Çalışmada hat uzunluğu, taşıma kapasitesi ve çalışan sayısı girdi olarak seçilmiş, müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı stokastik çıktı olarak seçilmiştir. Talluri [49], Olesen [31], Behzadi [23], Demireli [50] gibi birçok yazar çalışmalarında ŞKVZA'yı da kullanmışlardır.

2011 yılında Khodabakhshi [32] "Stokastik veri zarflama analizinde süper etkinlik: Girdileri gevşetme yaklaşımı" çalışmasında; KVB'nin değerlendirilmesi için veri varyasyon limitlerine izin verildiğinde, önerilen modelin duyarlılık analizinin incelenebileceğini, deterministik veri zarflama analizinde girdilerdeki ve çıktılardaki stokastik değişimlere izin verilmediğinden, etkinlik ölçümünde varyasyonlara duyarlı olunacağını, örneğin, diğer KVB'lere göre etkin olarak ölçülen bir KVB'nin, rasgele varyasyonları göz önünde bulundurulursa etkin olamayacağını, geleneksel VZA modellerinde bu zayıflığı gidermek için, bazı çalışmaların stokastik girdi ve çıktı varyasyonlarını VZA'ya dahil ettiklerini belirtmiştir.

Sonuç olarak; sektörlerin içsel veya dışsal etkenlerinden kaynaklı beklenen ya da beklenmeyen olasılıksal durumlarının ve modellerde kullanılan değişkenlerin ölçüm hatalarının performans analizlerine eklenmelerine imkan verecek şekilde stokastik VZA modelleri ortaya konmuştur. Stokastik VZA modelleri problemde yer alan gözlemlerin etkinlik sınırı etrafında stokastik olarak değişim göstermesine ancak gözlemlerin çoğunun sınırın yalnızca bir tarafında olmasına olanak sağlarken, klasik VZA modelleri gözlemlerin etkinlik sınırının sadece tek tarafında olmasını sağlar. Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi, süreç girdilerinin veya çıktılarının rasgele belirlendiği varsayımına dayandığı için, deterministik VZA modellerine göre daha esnek bir etkinlik sınırı oluşturur.

Demireli vd. [50] çalışmalarında; deterministik VZA modelleriyle elde edilen performans sınırlarında elde edilen etkinlik skorlarının, şans kısıtlı stokastik VZA modeliyle elde edilen skorlardan daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Bu durum stokastik şans kısıtlı stokastik VZA modelinde çıktıların sınırı aşmasına sınırlı bir şekilde izin verilmesinden ve deterministik modellere kıyasla daha esnek ya da aşılabilir bir sınır oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmayla; klasik VZA ve şans kısıtlı stokastik VZA modelleriyle elde edilen bulgular için istatistiksel olarak da anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir.

2006 yılında Talluri'ye göre [49]; literatürde rasgele verileri VZA modellerine eklemeye yönelik stokastik VZA modelleri bulunmaktadır. Modellerin kendine özgü avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte Land vd. (1993) tarafından oluşturulan şans kısıtlı stokastik VZA modelinin, performans kıyaslaması yapılacak olan karar birimlerinin girdilerine ve çıktılarına ait belirsizlikleri matematiksel olarak doğru bir şekilde analizlere ekleyen bir metodoloji olduğu anlaşılmıştır.

Özetle; yapılan literatür taramasında elektrik dağıtımı için çoğunlukla deterministik veri zarflama yönteminin kullanıldığı ve aynı girdi çıktılar üzerinde durulduğu saptanmıştır.

Li [30], Sengupta [19], Huang ve Li [30], Olesen [31], Khodabakhshi [32,33,34], Behzadi, Nematollahi ve Mirbolouki [35], Jahanshahloo, Behzadi ve Mirbolouki [36] farklı modellerle stokastik VZA çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Azadeh vd. [51] 2001 ve 2011 yılları arasındaki verileri kullanarak 17 farklı İran elektrik dağıtım biriminin performans değerlendirmesini stokastik VZA ile çalışmışlardır. Çalışmaya dahil edilen girdiler hat uzunluğu, trafo gücü ve çalışan sayısı, belirsiz olarak modele eklenen çıktılar ise abone

sayısı, toplam elektrik satışıdır. Sueyoshi [52] ise gelecekteki planlama için kullanılabilecek bir CCR stokastik modeli ortaya koymuştur. Önerilen modelde kesin olmayan veri olduğunda stokastik çıktılar ile doğru sonuçlar üretilebilir. Elektrik dağıtım şirketlerinde de, dağıtım şirketleri girdilerini kontrol edebilirken, dış etkenler ve belirsizlikler nedeniyle çıktılarını kontrol edememektedir. Sadjadi vd. 2011 [53] yılında, interaktif bir veri zarflama analiz modeli uygulamıştır. Elektrik dağıtım şirketlerinin belirsiz olan girdilerini ve çıktılarını modele eklemişlerdir. Çalışmalarında şebeke uzunluğu, taşıma kapasitesi, çalışan sayısı, müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı kullanılmıştır. Başka bir çalışmada Sadjadi vd. [54] çıktı parametrelerindeki belirsizliği göz önünde bulundurarak yeni bir VZA metodu geliştirmiştir. Khodakaramia vd. 2017 [55] yılında, elektrik piyasalarının stokastik karakterizasyonu için bir optimizasyon formülasyonu önermiştir. Optimizasyon sonuçları, stokastik yaklaşımın, enerji sistemlerinin belirsiz davranışlarının daha iyi modellendiğini göstermiştir.

Bu çalışma ile birlikte modellere eklenen simetrik hata yapısı kavramı Li [28] tarafından 1998 yılında, stokastik VZA modeli içerisine eklenmiş, çalışma ile doğrusallaştırmaya ilişkin stokastik problem teknikleri kullanılarak modeller sunulmuştur. Önerilen stokastik modeller doğrusallaştırılmıştır. Bu nedenle, doğrusal ve doğrusal olmayan dışbükey optimizasyon problemlerini çözen belirli bir algoritma sınıfında olan iç nokta yöntemleri, modellerle ilişkili doğrusal programlama problemlerini çözmek için kullanılmıştır. Çalışmada, dönüşüm modelinin şans kısıtlı problemi lineer programlama problemine dönüştürmesine izin veren bir simetrik hata yapısı tanıtılmıştır. VZA ekstrem uçlu bir teknik olduğundan, verilerde gürültü ölçüm hatasına ve önemli sorunlara neden olabilir, çünkü etkinlik sınırı bu hatalara duyarlıdır. Bu nedenle, bu hataları birleştirmek için teorik girişimler yapılmıştır. Gstach [57]'in makalesi, VZA ve stokastik VZA ile ilgili gelecekteki modellemelerin gelişebileceği araştırmaların olduğunu göstermektedir. Gstach, bir hayali sınırı tahmin etmek için VZA'nın kullanılmasını önermiştir. Parametrik olmayan bu sahte sınırın doğru olması için VZA tarafından tahmin edilen etkinliklere maksimum bir olasılık tekniği uygulamıştır. Gstach, bir üretim sürecinin sonucunun etkin olmaması nedeniyle teorik bir maksimum değerden sapmayabileceğini, aynı zamanda kontrol edilemeyen hatalardan dolayı sapabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle, bu gürültülü ortamlarda VZA'nın güvenilirliği artabilmektedir. Yapılan çalışmada temel olarak çok çıktılı teknolojileri kullanabilen VZA+ modeli, üretimi olumsuz etkileyebilecek ve ilgili yaklaşımdan farklı olarak gürültüye izin verecek panel verileri gerektirmemektedir. Çalışma, sınırlı gürültü

bileşenine sahip, bağımsız ve normal dağılımlı veriler üretme varsayımını önermiştir. Bu varsayım, parametrik ve parametrik olmayan yaklaşımları üretim sınır tahminine karıştıran yaklaşımı mümkün kılmaktadır.

Brockett ve Golany [58] tarafından yayınlanan bir makalede, genel anlamda etkinlik kıyaslaması çalışmalarında gürültülü koşullar altında çalışma yapılması tavsiye edilmektedir.

Behzadi ve Mirbolouki [23], girdi odaklı CCR şans kısıtlı SVZA modeli aracılığıyla stokastik girdi ve çıktıları incelemişlerdir. Çalışmada şans kısıtlı SVZA, simetrik bir hata yapısı ile birleştirilmiştir. Makalelerinde, normal dağılımlı her rasgele değişkenin simetrik bir hata yapısı kapsamında değerlendirilebileceğini bildirmişlerdir.

Literatür taramasının bir sonucu olarak, elektrik dağıtım şirketlerinin performans kıyaslaması için bu araştırmada kullanılan yöntem ve veri seti özellikleri ile literatürdeki benzer araştırmalar arasındaki fark aşağıda yer alan çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Elektrik dağıtım birimlerinin değerlendirilmesi için önerilen yaklaşım ve diğer çalışmalar

	Model	**Girdiler/Çıktılar**	**Veri Seti Zaman Periyodu**	**Verilerin Rassallığı**
Azadeh vd. [51]	Stokastik çıktı odaklı CCR VZA	Girdiler; hat uzunluğu, taşıma kapasitesi ve çalışanların sayısı, çıktılar; müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı	2001-2011	Çıktılar stokastik
Mirbolouki vd. [48]	Stokastik girdi odaklı CCR şans kısıtlı VZA	Girdiler; hat uzunluğu, taşıma kapasitesi ve çalışan sayısı, çıktılar; müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı	2000-2004	Girdiler ve çıktılar stokastik
Khodabakhshi [32]	Stokastik çıktı odaklı süper etkin model BCC şans kısıtlı VZA	Girdiler; hat uzunluğu, trafo kapasitesi ve çalışan personel değişkenleri, çıktılar; dağıtılan enerji ve servis alanı değişkenleri	2000	Girdiler ve çıktılar stokastik
Khodabakhshi ve Kheirollahi [34]	Stokastik girdi odaklı süper etkinlik modeli BCC şans kısıtlı VZA	Girdiler; işletme maliyetleri, çalışan sayısı, trafo kapasitesi ve hat uzunluğu, çıktıları; müşteri sayısı ve servis alanı	2001	Girdiler ve çıktılar stokastik
Gouveia vd. [44]	Değer tabanlı(value based) VZA-BCC VZA	Girdiler; gelirler, arz kesintileri, olayların sayısı, müşteri başına şikayetler , çıktılar; müşteri sayısı, şebeke hattı uzunluğu	2004-2005	Deterministik ve stokastik girdi ve çıktılar

Çizelge 3.3. (devam) Elektrik dağıtım birimlerinin değerlendirilmesi için önerilen yaklaşım ve diğer çalışmalar

Arcos-Vargas vd. [45]	CCR ve BCC VZA modellerinde farklı göstergelerin kullanımı	Girdiler; hizmet karşılığı ödeme, gelirler, çıktılar; dağıtılan enerji miktarı, orta gerilimde kurulu güce eşdeğer kesinti süresi	2011	İsteğe bağlı (discretional) ve isteğe bağlı olmayan (non-discretional) girdi ve çıktılar
Sadjadi ve Omrani [54]	Robust VZA	Girdiler; hat uzunluğu, transformatör kapasitesi, çalışan sayısı, çıktılar; müşteri sayısı,toplam elektrik satışı	2004	Çıktılar stokastik
Omrani, Beiragh, Kaleibari [59]	Temel Bileşen Analizi (PCA) ve girdi odaklı CCR VZA	Girdiler; trafo kapasitesi, trafo sayısı, karasal hat uzunluğu, çalışan sayısı, alan, çıktılar; enerji dağıtımı, enerji tüketimi, müşteri sayısı, sokak lambası sayısı	2010	Girdiler ve çıktılar stokastik
Önerilen Model	Simetrik hata yapısı kapsamında girdi odaklı ve çıktı odaklı CCR şans kısıtlı VZA ve BCC şans kısıtlı VZA	Girdiler; OPEX, trafo gücü ve tepe yük değerleri, çıktılar; müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı	2011-2016	Girdiler ve çıktılar stokastik

Yukarıda yer alan çizelgede görüldüğü gibi, elektrik dağıtım şirketlerinin performans ölçümlerinde literatürde verilerin rasgele kabul edildiği stokastik VZA çalışmaları sayıca azdır.

Sonuç olarak, literatür taramasında, Türkiye'de elektrik dağıtım şirketlerinin performansını stokastik veri zarflama metodolojisi ile ölçmeye yönelik bir çalışma yoktur. Bununla birlikte, klasik VZA modellerinde belirsizlik noktasında verilerdeki gürültünün hesaba katılmaması nedeniyle, zayıflık vardır. Deterministik VZA modelleri girdilerde ve çıktılarda rasgele değişikliklere izin vermez. Deterministik çalışmalar sonucunda etkin olarak değerlendirilen bir KVB, bu tür rasgele veriler göz önüne alındığında etkin olmayan bir KVB'ye dönüşebilir.

Elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik kıyaslaması kapsamında literatürdeki çalışmalarda birçok farklı girdi ve çıktı kullanılmıştır. Elektrik dağıtım hizmetlerinin etkinliği için hesaplamalar yapılırken genel olarak akademik çalışmalarda girdi ve çıktı parametreleri, düşük ya da yüksek voltajlı elektrik kullanan abone sayısı, düşük ya da yüksek voltajlı elektrik arzı, elektrik arzının toplam sağladığı gelir, maksimum talep, ilgili elektrik dağıtım bölgesindeki çalışan toplam personel sayısı , yakıt, dağıtım sürecinde oluşan işletme giderleri, enerjide kayıp-kaçak oranları, üretim sürecinde elektrik enerjisi sektörünün

gelişeceğini gösteren net kapasite kullanımı, trafo kapasitesi yani elektrik dağıtımı yapan trafoların toplam sayısı, elektrik kablo hattı uzunluğu, genel maliyetler ya da giderler, toplam transformatör kapasitesi, toplam abone sayısı, enerji satış oranları, genel enerji talepleri, tarifeler, tepe yük oranları olarak belirlenmiştir. Jamasb ve Pollitt [60], elektrik dağıtım birimlerinin performansını ölçmek için en çok tercih edilen parametreleri çalışmalarında tanımlamıştır. Çalışmalarına göre, en çok kullanılan girdiler işletme giderleri OPEX, sermaye harcamaları CAPEX, toplam personel sayısı, toplam trafo gücü, elektrik kablo hattı uzunluğu, en çok tercih edilen çıktılar ise abone sayısı, dağıtılmış enerji oranı ve hizmet alanı olmuştur.

Literatüre göre, elektrik dağıtım karar birimlerinin performans ölçümlerinde ve etkinlik analizlerinde genellikle tercih edilen değişkenler aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 3.4. Elektrik dağıtım şirketlerinin etkinlik analizlerinde yaygın olarak kullanılan değişkenler

Girdiler	**Çıktılar**
Çalışan sayısı	Müşteri sayısı
Hat uzunluğu	Toplam satılan enerji miktarı
Trafo gücü	Servis alanı
OPEX	Tepe yük
CAPEX	Hat uzunluğu
Servis alanı	Trafo sayısı
Tepe yük	

4. TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETLERİNİN SİMETRİK HATA YAPISI KAPSAMINDA DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK VERİ ZARFLAMA YÖNTEMİ İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Çalışma kapsamında; Türkiye'nin 21 elektrik dağıtım şirketinin üç stokastik girdi ve iki stokastik çıktı ile deterministik ve şans kısıtlı stokastik VZA modellerine simetrik hata yapısının dahil edilmesiyle performans analizi yapılmış, sonuçlar daha önceki deterministik VZA çalışmasında elde edilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kullanılan veriler aşağıda verilmiştir.

4.1. Girdi ve Çıktı Seçimi

Analiz edilmiş işletme giderleri, trafo gücü ve puant yük stokastik girdiler olarak belirlenirken, abone sayısı ve dağıtım sistemine giren enerji miktarı stokastik çıktılar olarak seçilmiştir. Daha sonra en etkin elektrik dağıtım birimleri stokastik ortamdaki etkinlik puanlarına göre seçilmiştir. Türkiye'nin 21 elektrik dağıtım şirketi karar verme birimleri olarak modele eklenmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye' de faaliyet gösteren 21 elektrik dağıtım şirketi

Çizelge 4.1. Türkiye'de illere göre elektrik dağıtım şirketleri

Elektrik Dağıtım Şirketi	**Dağıtım Bölgesi**
Akdeniz DAĞITIM	Antalya, Burdur, Isparta
Akedaş DAĞITIM	Adıyaman, Kahramanmaraş
Aras DAĞITIM	Ağrı, Erzincan, Erzurum, Kars, Ardahan, Iğdır, Bayburt
ADM EDAŞ	Aydın, Denizli, Muğla
Anadolu Yakası EDAŞ	İstanbul - Anadolu Yakası
Başkent EDAŞ	Ankara, Bartın, Çankırı, Karabük, Kastamonu, Kırıkkale, Zonguldak
Boğaziçi EDAŞ	İstanbul - Avrupa Yakası
Çamlıbel EDAŞ	Sivas, Tokat, Yozgat
ÇoruhEDAŞ	Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize, Trabzon
Dicle EDAŞ	Batman, Diyarbakır, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak
Fırat EDAŞ	Bingöl, Elazığ, Malatya, Tunceli
Gediz EDAŞ	İzmir, Manisa
Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş.	Kayseri
Meram EDAŞ	Aksaray, Karaman, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde
Osmangazi EDAŞ	Afyon, Bilecik, Eskişehir, Kütahya, Uşak
Sakarya EDAŞ	Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya
Toroslar EDAŞ	Adana, Gaziantep, Hatay, Kilis, Mersin, Osmaniye
Trakya EDAŞ	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ
Uludağ EDAŞ	Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Yalova
Van Gölü EDAŞ	Bitlis, Hakkari, Muş, Van
Yeşilırmak EDAŞ	Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop

Girdi Değişkenleri

1. Analiz Edilmiş İşletme Giderleri: Etkinlik hesabına esas işletme gideridir. (OPEX)
2. Trafo Gücü: Trafo kurulu gücünün MWe cinsinden miktarıdır.
3. Puant Yük: Elektrik tüketimin en yoğun olduğu MWe cinsinden değerdir.

Çıktı Değişkenleri

1. Abone Sayısı: Elektrik dağıtım sistemi kullanıcı sayılarıdır.
2. Dağıtım Sistemine Giren Enerji Miktarı: İlgili mevzuatta tanımlanan dağıtım sistemine giren MWe cinsinden enerji miktarıdır.

Önerilen yaklaşımda dağıtım şirketlerinin 2011-2016 yılları arasında kaydedilen verileri kullanılmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi; işletme giderleri, trafo gücü ve tepe yük değerleri stokastik girdi değerleri, abone sayısı ve toplam satılan enerji mikatarı ise stokastik çıktılar olarak stokastik modellere eklenmiştir. Veri setimiz Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan alınmıştır. Matematiksel modellerin stokastik ve deterministik sonuçları GAMS matematiksel programlama ve modelleme yazılımına uygulanarak elde edilmiştir.

Literatürde geniş çapta tartışıldığı gibi, elektrik dağıtım şirketlerinin performans ölçümlerinde kullanılan verilerdeki ana bulanıklık kaynakları genel olarak, yakıt fiyatları, yakıt bulunabilirliği, enerji talebi, mevzuat ve kanunlarda öngörülemezlik gibi konulardır.

Araştırmada kullanılan veriler arasında; işletme ve bakım maliyetleri, işletme harcaması (OPEX), personel, idari maliyetler, malzemeler, üçüncü taraf hizmetleri, sigortalar, vergiler ve mevsimsel tepe yükü, sıcaklık ve tepe yükünün zaman dilimi, mevzuat değişiklikleri gibi diğer belirsizlik faktörleri yer almaktadır. Dolayısıyla, bu parametreler hakkında bilgi eksikliği nedeniyle olasılık teorisi modele aktarılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'nin elektrik piyasası çerçevesinde karar vermede hesaplanan sektör ve veri belirsizliğine odaklanmıştır.

Veriler 2011-2016 yıllarına ait olup, ortalama ve varyans değerleriyle modele eklenmiştir. Simetrik hata yapısı kapsamında $\bar{\sigma} = 1$ olduğunu varsayıp, $a_{ij} = \sqrt{Var(\bar{x}_{ij})}$ ve $b_{rj} = \sqrt{Var(\bar{y}_{rj})}$ elde ederiz. Böylece, normal dağılım varsayımı altında, stokastik VZA'nın sonuçları, deterministik VZA sonuçları ile aynı olmalıdır. 0 ile 1 arasında farklı α değerleri atanarak farklı veri zarfları elde edilir. Simetrik hata ve simetrik dağılımın var olduğu, α = 0.5 değerinde, dağılım fonksiyonunun tersi 0' a eşittir. Deterministik ve stokastik modellerin sonuçları bu α değeri ile karşılaştırıldığında, sonuçların aynı olduğu bulunmuştur. α' nın 0.5' ten farklı olduğu hata seviyeleri için veri zarflama sonuçları, şans kısıtlarının etkisiyle değişir.

4.2. Betimleyici İstatistikler ve Verilerin Analize Uygun Hale Getirilmesi

Çalışmada kullanılan trafo gücü, puant yük, işletme giderleri, abone sayısı ve toplam satılan enerji girdi ve çıktılarından elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Tahmini girdi parametreleri

	Girdi1			Girdi2			Girdi3		
KVB	Ort	Std._Sap.	Var	Ort	Std._Sap.	Var	Ort	Std._Sap.	Var
KVB1	3439.00	304.66	92820.66	185911744.00	23656915.40	559649646451814.00	1762.57	170.31	29005.71
KVB2	813.00	67.19	4514.84	136789334.00	71993787.21	5183105396383440.00	579.61	36.52	1333.80
KVB3	1439.00	160.29	25691.57	172211280.00	27054014.79	731919716258406.00	1491.94	64.70	4186.52
KVB4	3512.00	231.41	53550.30	209053750.00	43986648.32	1934825230770080.00	561.08	30.89	954.07
KVB5	6707.00	387.03	149795.36	491243784.00	65553798.56	4297300506031670.00	2098.33	1047.49	1097243.93
KVB6	10769.00	747.81	559221.95	490539910.00	27844715.50	775328181281462.00	4663.59	275.88	76109.68
KVB7	1065.00	58.95	3474.56	134277609.00	23107997.60	533979553225536.00	481.94	21.87	478.50
KVB8	1354.00	105.18	11063.50	171483054.00	5559505.72	30908103870464.10	561.33	44.71	1999.07
KVB9	3826.00	670.72	449869.32	399181806.00	56705235.97	3215483786553750.00	3851.67	218.74	47847.87
KVB10	1278.00	190.38	36245.32	141993652.00	6350977.12	40334910416893.30	403.49	199.42	39770.31
KVB11	7216.00	565.47	319754.81	242599902.00	35030340.75	1227124772941810.00	2899.17	251.14	63071.77
KVB12	4934.00	647.05	418667.81	222105761.00	12516549.35	156664007700391.00	1390.26	1081.61	1169888.22
KVB13	1217.00	68.88	4743.88	99594289.00	9771320.33	95478701026719.30	369.33	20.54	421.87
KVB14	3254.00	94.43	8917.60	314576799.00	47859508.99	2290532600627580.00	2135.99	147.25	21682.18
KVB15	1961.00	91.98	8460.05	155055496.00	2671017.72	7134335644503.00	1104.09	79.54	6327.33
KVB16	1976.00	130.80	17107.49	202064914.00	14913923.68	222425119456562.00	1648.04	68.14	4643.19
KVB17	5695.00	539.89	291482.23	399842323.00	121235920.84	14698148501526300.00	3134.13	236.15	55766.36
KVB18	1421.00	165.16	27277.66	110990000.00	22512854.66	506828624971485.00	1325.67	94.42	8914.67
KVB19	4139.00	307.89	94795.94	278923725.00	41499944.88	1722245424875050.00	1917.46	153.15	23453.68
KVB20	1393.00	96.35	9283.34	142461434.00	28650752.49	820865618435018.00	749.67	49.81	2480.67
KVB21	2344.00	346.09	119779.54	238342910.00	8459558.77	71564134519172.00	1123.84	18.91	357.51

Çizelge 4.3. Tahmini çıktı parametreleri

	Çıktı 1			Çıktı 2		
KVB	Ort	Std._Sap.	Var	Ort	Std._Sap.	Var
KVB1	7316471.00	539189.78	290725619211.49	1838326.00	124023.19	15381750618.57
KVB2	3477428.00	161908.62	26214401426.62	598499.00	36932.45	1364006028.67
KVB3	1875126.00	239648.50	57431405142.77	830171.00	113954.85	12985708066.70
KVB4	7112063.00	660832.41	436699478718.61	1687866.00	93922.39	8821415050.57
KVB5	13064862.00	886153.75	785268471865.13	3705568.00	278765.64	77710280227.90
KVB6	21993282.00	1009144.02	1018371650462.02	4477189.00	334546.21	111921167179.90
KVB7	2252326.00	58568.69	3430291016.26	867575.00	37811.66	1429721365.77
KVB8	3092327.00	220742.51	48727255515.56	1183468.00	66552.07	4429177933.37
KVB9	5384669.00	939234.15	882160785559.03	1373547.00	254943.22	64996043781.10
KVB10	2584385.00	255618.14	65340631985.90	811754.00	57714.16	3330923785.07
KVB11	12877336.00	626053.29	391942719688.31	2736291.00	290321.55	84286605111.50
KVB12	10276188.00	575962.05	331732287468.03	2511023.00	183914.14	33824410418.97
KVB13	1968874.00	155113.92	24060326866.06	624615.00	36322.62	1319332871.37
KVB14	7178811.00	851951.20	725820854681.09	1818104.00	101406.04	10283184285.50
KVB15	5490401.00	342759.01	117483737284.82	1542960.00	86365.11	7458931777.47
KVB16	8124983.00	400747.69	160598707255.06	1522795.00	85783.91	7358878670.17
KVB17	12605873.00	1282046.34	1643642823752.60	3339914.00	222674.02	49583716997.60
KVB18	5874359.00	311958.34	97318006749.71	929968.00	51006.94	2601708074.67
KVB19	10009283.00	614333.55	377405715379.90	2770122.00	159424.50	25416170709.87
KVB20	1496625.00	128191.36	16433025011.07	549781.00	53381.78	2849614092.67
KVB21	4743914.00	46426.89	2155456096.42	1794627.00	111635.04	12462381663.47

Modellerde kullanılan değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü gösteren korelasyon katsayıları istatistiksel analiz programı olan SPSS ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama ile, modellerde kullanılan girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin gücü beklendiği gibi yüksek, yönü pozitif çıkmıştır.

Çizelge 4.4. Modellerde kullanılan girdiler ve çıktılar arasındaki korelasyon

		TrafoGucu	OPEX	PuantYuk	AboneSayisi	SatılanEnerji
TrafoGucu	Pearson Correlation	1	,827**	,823**	,941**	,957**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21
OPEX	Pearson Correlation	,827**	1	,831**	,848**	,780**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000
	N	21	21	21	21	21
PuantYuk	Pearson Correlation	,823**	,831**	1	,738**	,785**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000
	N	21	21	21	21	21
AboneSayisi	Pearson Correlation	,941**	,848**	,738**	1	,955**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000
	N	21	21	21	21	21
SatılanEnerji	Pearson Correlation	,957**	,780**	,785**	,955**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	
	N	21	21	21	21	21

Çizelgede yer alan korelasyon katsayıları 2011-2016 yılları arasında yer alan veri kümelerinin ortalama değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Çizelgeye göre, çıktı olarak kullandığımız satılan enerji miktarı ile abone sayısı yüksek bir ilişkiye sahiptir. İşletme giderleri (OPEX), trafo gücü, tepe yük değerleride girdiler olarak kendi aralarında en yüksek korelasyona sahiptir. Trafo gücü ile yıllık satışa sunulan enerji miktarınında %95 gibi yüksek bir korelasyonla doğru orantılı bir ilişkiye sahip oldukları çizelgede gösterilmiştir. İlişkilerin yönüne bakacak olursak, tüm değişkenlerin birbiriyle pozitif yönlü korelasyona sahip olduğu da görülmüştür.

Verilerin normal dağılıp dağılmadığını inceleyecek olursak, normalliği sınamak amacıyla, tek örneklem Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Aşağıda yer alan çizelgede testin sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Verilerin normal dağılımının incelenmesi

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		TrafoGucu	IsletmeGiderleri	PuantYuk	ToplamSatis	AboneSayisi
N		21	21	21	21	21
Normal Parameters[a,b]	Mean	3321,5238	235202070,3	1631,1048	7085694,571	1786388,714
	Std. Deviation	2555,94428	118919910,0	1180,34078	5056780,379	1098643,352
Most Extreme Differences	Absolute	,177	,189	,144	,148	,195
	Positive	,177	,189	,144	,148	,195
	Negative	-,163	-,127	-,143	-,135	-,130
Kolmogorov-Smirnov Z		,811	,868	,660	,680	,896
Asymp. Sig. (2-tailed)		,527	,438	,777	,744	,399

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Araştırmada, tek yönlü Kolmogorov-Smirnov sonuçlarına göre, normal dağılım incelenmiş, anlamlılık düzeylerinin %95 güven seviyesine uygun olması nedeniyle normalliğin sağlandığı görülmüştür.

4.3. VZA Modellerinin Uygulanması

Uygulamada kullanılan performans ölçüm tekniklerinde, simetrik hata yapısının şans kısıtlı BCC VZA ve şans kısıtlı CCR VZA modellerine dahil edilmesi ve deterministik BCC VZA ve CCR VZA sonuçlarına göre, performans karşılaştırması sağlanmıştır. BCC ve CCR modellerini kullanmanın nedeni, teknik etkinlik ve saf teknik etkinliği ayrı ayrı hesaplamaktır. Çalışmada CCR ve BCC modellerinin, teknik ve maliyet esaslı modellerde girdi ve çıktı odaklı yöntemleri uygulanarak, dağıtım şirketlerinin veri kümelerinde incelenen yıllar itibarıyla toplam, teknik ve ölçek etkinlikleri üzerinde çalışılmıştır. Dağıtım şirketlerinin tüketicilere hizmet götürme aşamalarında yani dağıtım süreçlerinde, çıktıları üzerinde belirli kontrol mekanizmalarına sahip olmamaları, çalışma sırasında girdi odaklı modeller kullanılmasına neden olmuştur.

Daha önce belirtildiği gibi, BCC modeli karar verme birimlerinin saf teknik etkinlik analizini yaparken CCR modeli genel teknik etkinlik analizi yapar. CCR modelleri kıyaslamayı karar birimlerinin saf teknik etkinlik değerlerini aynı ölçekte olmayan diğer birimlerle yaptığından, etkinlik değerleri bu modelde düşük çıkabilmektedir. Bu çalışmanın problemine konu olan herhangi bir elektrik dağıtım şirketi ölçek olarak kendisinden daha etkin çıkmış başka bir elektrik dağıtım şirketiyle karşılaştırılırsa söz konusu şirketin etkinlik ölçümü düşük çıkacaktır. BCC modellerinde ise, karar birimleri ölçek olarak nispeten aynı

yapıdaki birimlerle kıyaslanır. Böylece BCC modeli ile hesaplanan teknik etkinlik ölçümleri, CCR modeline göre daha yüksek ya da eşit olmaktadır. BCC modeli kısmen şirketler arasında benzerlik kümelendirmesi yapmakta ve ona göre etkinlik skoru hesaplamaktadır. Bu kapsamda BCC modelinde etkin çıkan bir şirket CCR modelinde etkin çıkmıyorsa, o şirket kendine benzer şirketler arasında etkin çalışmakta, ancak genel anlamda etkin çalışmamaktadır. Bu nedenlerle çalışmada iki farklı VZA modeli kullanılmıştır.

Önerilen yaklaşım adım adım aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Adım 1: Probleme uygun karar verme birimlerinin seçilmesi. Karar verme birimleri 21 elektrik dağıtım biriminden seçilmiştir.

Adım 2: Araştırmada kullanılacak modellere karar verilmesi.

Adım 3: Elektrik dağıtım birimleri için gerekli verilerin toplanması. Modellerde kullanılan veriler 2011'den 2016'ya kadar olan süreci kapsayıp, Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan toplanmıştır.

Adım 4: Deterministik VZA modellerinde kullanılacak olan girdilerin ve çıktıların tanımlanması. Modellerin girdileri ve çıktıları deterministik olarak kabul edilmiştir.

Adım 5: Stokastik VZA modellerinin girdilerinin ve çıktılarının tanımlanması. Ele alınan modellerin girdileri ve çıktılarının stokastik olduğu varsayılmıştır.

Adım 6: Her girdi ve çıktı göstergesinin ortalamasının ve standart sapmasının bulunması. Stokastik VZA modellerinde, 2011-2016 dönemindeki her verinin ortalama ve standart sapması verilerin değerleri olarak kabul edilmiştir.

Adım 7: Elektrik dağıtım birimlerini değerlendirmek için deterministik VZA modellerinin GAMS programlama üzerinde uygulanması.

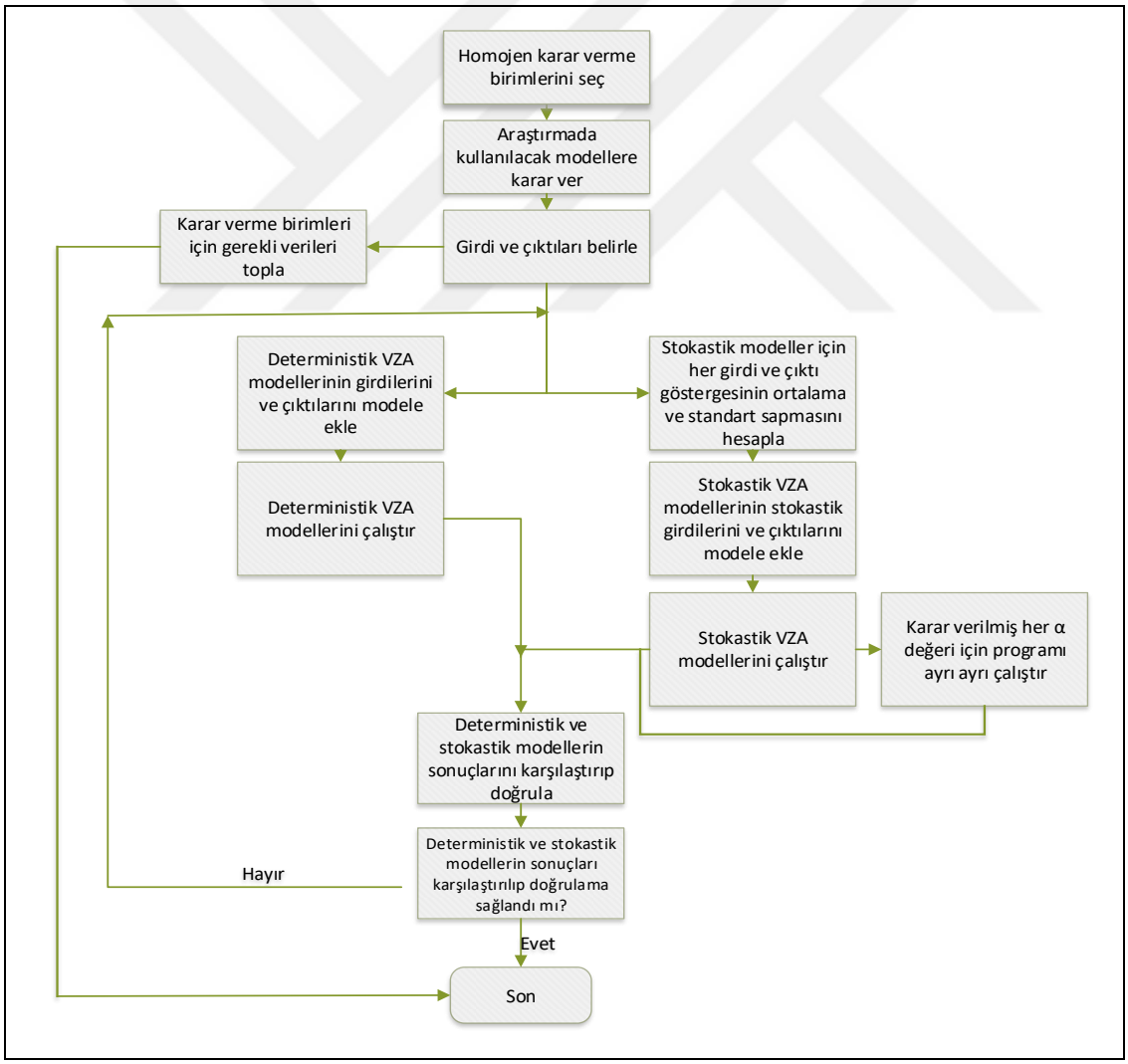
Adım 8: Elektrik dağıtım birimlerini değerlendirmek için stokastik VZA modellerinin GAMS programlama üzerinde uygulanması.

Adım 9: Hata seviyesi için α değerlerinin 0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.9 olarak seçilmesi ve programların belirnen her bir α değeri için ayrı ayrı çalıştırılması.

Adım 10: GAMS kodlama sonuçlarına göre deterministik VZA modellerinin ve stokastik VZA modellerinin sonuçlarının simetrik hata ve normal (simetrik) dağılım altında karşılaştırılıp, doğrulama analizi yapılması.

Adım 11: Elde edilen bulgulara göre, KVB'lerin etkinlik analizinin yapılması, referans olacak KVB'lerin seçilmesi.

Aşağıda çalışmada önerilen yaklaşımın akış şeması sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Elektrik dağıtım birimlerinin performans ölçümü için önerilen yaklaşımın akış şeması

4.4. Bulgular

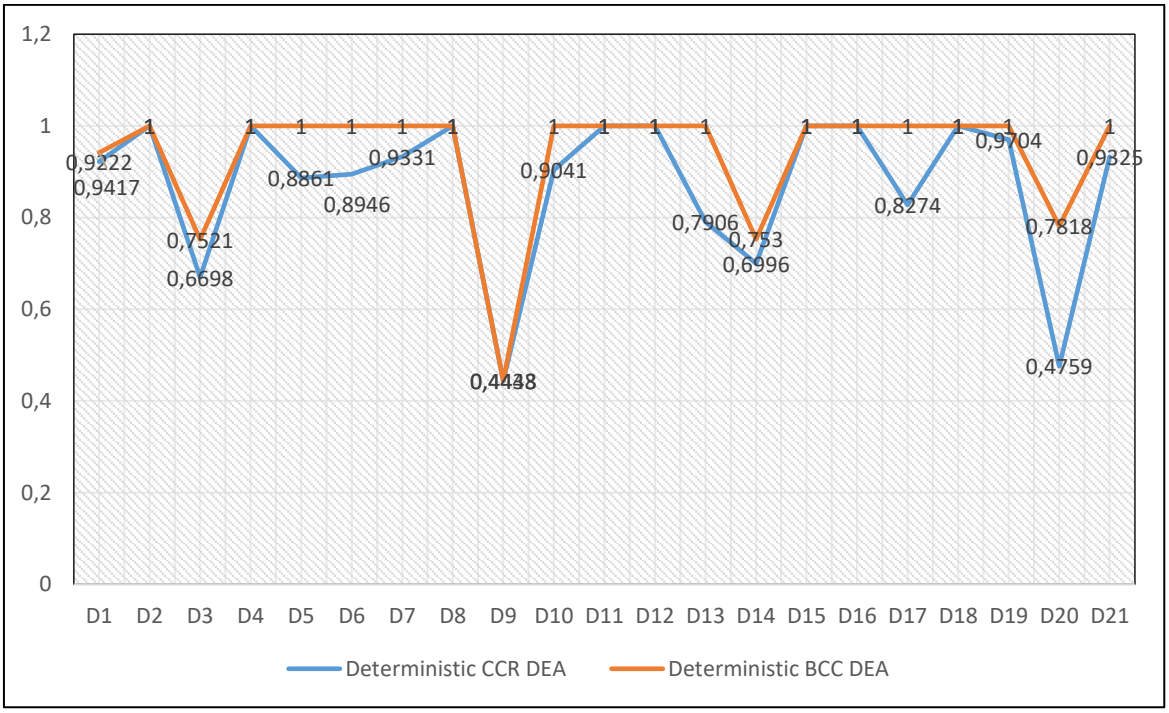
Bazı durumlarda, bir KVB'nin etkin olmayışının, verimsiz çalışmasından mı yoksa KVB'nin çalıştığı uygun olmayan koşullardan mı kaynaklandığını incelemek gerekir. CCR modeli tarafından sağlanan genel teknik etkinlik, ölçek etkisini dikkate almadığından, BCC modeli, ölçeğe göre sabit olmayan/değişken getiri altında saf teknik etkinliği ifade eder. Hem CCR hem de BCC modellerinde teknik etkinlik skoru olan 1'e eşitlik tam etkinlik anlamına gelir. Öte yandan, skor 1'den düşükse, teknik olarak etkin olmama durumu söz konusudur. Girdi ve çıktıların uygulanmasıyla elde edilen deterministik modellerin sonuçları aşağıda yer alan çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.6. Deterministik VZA modelleriyle elde edilen sonuçlar

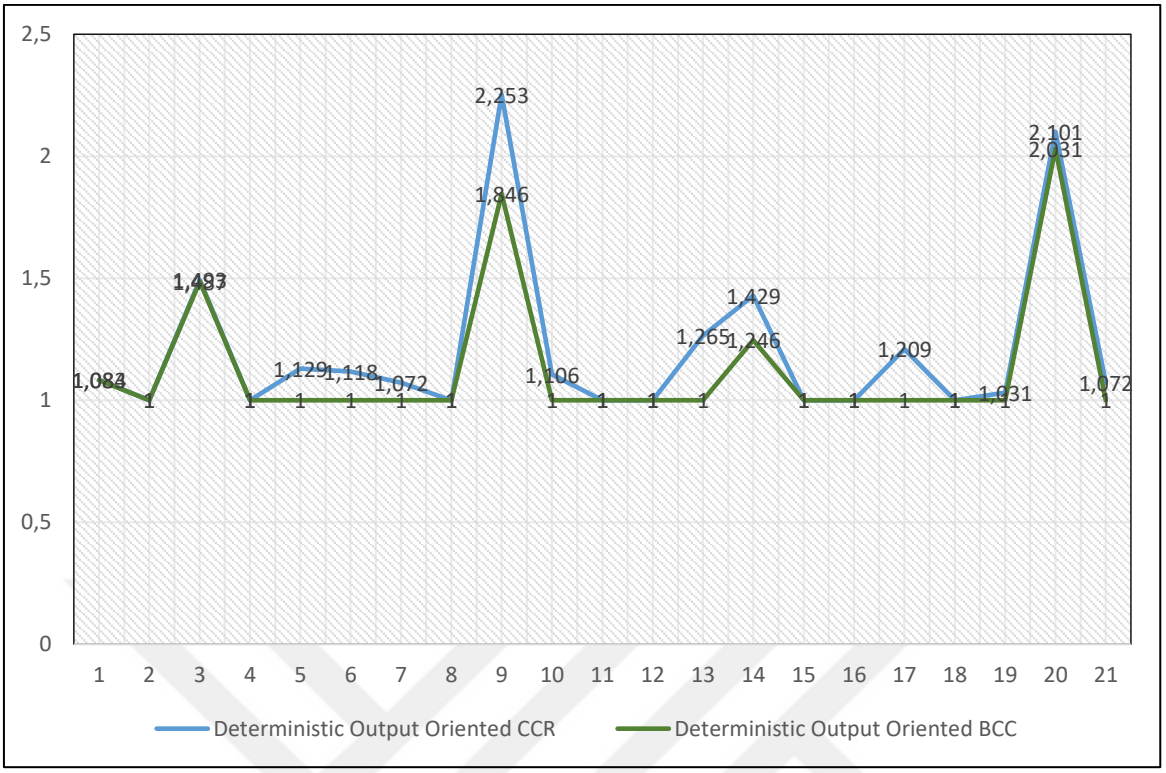
	CRS/CCR Girdi Odaklı	VRS/BCC Girdi Odaklı	CRS/CCR Çıktı Odaklı	VRS/BCC Çıktı Odaklı
KVB1	0.9222	0.9417	1.0843	1.0826
KVB2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB3	0.6698	0.7521	1.4929	1.4872
KVB4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB5	0.8861	1.0000	1.1286	1.0000
KVB6	0.8946	1.0000	1.1178	1.0000
KVB7	0.9331	1.0000	1.0717	1.0000
KVB8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB9	0.4438	0.4443	2.2532	1.8461
KVB10	0.9041	1.0000	1.1061	1.0000
KVB11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB13	0.7906	1.0000	1.2648	1.0000
KVB14	0.6996	0.7530	1.4294	1.2456
KVB15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB16	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB17	0.8274	1.0000	1.2086	1.0000
KVB18	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB19	0.9704	1.0000	1.0305	1.0000
KVB20	0.4759	0.7818	2.1014	2.0311
KVB21	0.9325	1.0000	1.0724	1.0000

Yukarıda yer alan çizelgede görüldüğü gibi, her iki deterministik modelde KVB2, KVB4, KVB8, KVB11, KVB12, KVB15, KVB16, KVB18'in kalıcı olarak etkin, bu nedenle en verimli ölçek büyüklüğüne (Most Productive Scale Size-MPSS) sahip olduklarını söyleyebiliriz. Yani, bu KVB birimleri ölçeğe göre sabit olmayan getiri altında saf teknik ve ölçeğe göre sabit getiri altında genel teknik olarak etkindirler. Ayrıca, şekil 4.3 'te ve şekil 4.4'te görüldüğü gibi, deterministik BCC modelinin deterministik CCR modeline kıyasla düzelmiş bir etkinlik sınırına sahip olduğu söylenebilir. Bu sınır, Hem BCC hem de CCR

modellerinde etkin olmayan KVB1, KVB3, KVB9, KVB14 ve KVB20'nin bir otorite, düzenleyici tarafından kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Diğer taraftan, KVB5, KVB6, KVB7, KVB10, KVB13, KVB17, KVB19 ve KVB21'in BCC deterministik modellerinde etkin oldukları, CCR deterministik modellerinde ise etkin olmadıkları saptanmıştır. Bu durum bu KVB'lerin genel teknik etkinliklerinin yani teknik etkinlik ve ölçek etkinliğinin biraraya gelmesiyle oluşan toplam etkinliklerinin düşük olduğunu, yerelde etkin genelde/global etkin olmadıklarını göstermektedir. Burada, dağıtım şirketlerinin çıktı miktarlarındaki artış oranı, girdi miktarlarındaki artış oranından düşük olduğundan, şirketlerin kaynaklarını gerektiği gibi kullanmadıkları vurgulanabilir.



Şekil 4.3. Girdi yönlü deterministik modellerin karşılaştırılması



Şekil 4.4. Çıktı yönlü deterministik modellerin karşılaştırılması

Çalışmada elektrik dağıtım şirketlerinin değerlendirilmesinde, farklı hata seviyelerinde stokastik VZA modelleri uygulanmıştır. Stokastik modellerin farklı α seviyelerinde her KVB için etkinlik skorları çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Farklı α değerlerinde stokastik girdi odaklı BCC VZA sonuçları

	α=0.005	α=0.02	α=0.05	α=0.1	α=0.2	α=0.3	α=0.4	α=0.5	α=0.6	α=0.9
KVB1	0.992	0.990	0.989	0.987	0.979	0.968	0.955	0.942	0.725	0.739
KVB2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.799	0.611
KVB3	0.899	0.879	0.856	0.829	0.796	0.777	0.764	0.752	0.453	0.255
KVB4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.636	0.996
KVB5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.607	1.000
KVB6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.847	0.339
KVB8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.779	0.439
KVB9	0.834	0.716	0.640	0.599	0.546	0.508	0.475	0.444	0.096	0.207
KVB10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.819	0.777
KVB11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.717	0.820
KVB12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.786	0.792
KVB13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.689	0.532
KVB14	0.841	0.819	0.806	0.795	0.781	0.772	0.764	0.752	0.377	0.576
KVB15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.014	0.322
KVB16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.561	0.004
KVB17	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.555	0.713
KVB18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.518	0.488
KVB19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.869	0.818
KVB20	0.808	0.807	0.806	0.803	0.798	0.793	0.788	0.782	0.582	0.422
KVB21	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.721	0.663

Çizelge 4.8. Farklı α değerlerinde stokastik girdi odaklı CCR VZA sonuçları

	α=0.005	α=0.02	α=0.05	α=0.1	α=0.2	α=0.3	α=0.4	α=0.5	α=0.6	α=0.9
KVB1	0.968	0.961	0.958	0.957	0.955	0.950	0.938	0.922	0.647	0.673
KVB2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.465	0.341
KVB3	0.854	0.831	0.812	0.795	0.757	0.722	0.695	0.669	0.244	0.239
KVB4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB5	1.000	1.000	0.988	0.964	0.942	0.928	0.908	0.886	0.000	0.000
KVB6	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.948	0.919	0.894	0.000	0.000
KVB7	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993	0.964	0.948	0.933	0.000	0.000
KVB8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB9	0.767	0.694	0.642	0.593	0.541	0.502	0.471	0.443	0.000	0.000
KVB10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.962	0.904	0.000	0.000
KVB11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB13	0.810	0.807	0.805	0.803	0.800	0.798	0.796	0.790	0.000	0.000
KVB14	0.779	0.761	0.751	0.742	0.728	0.717	0.708	0.699	0.000	0.000
KVB15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB17	1.000	1.000	1.000	1.000	0.981	0.924	0.877	0.827	0.000	0.000
KVB18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
KVB19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	0.970	0.000	0.000
KVB20	0.564	0.555	0.548	0.542	0.515	0.499	0.486	0.476	0.000	0.000
KVB21	1.000	1.000	1.000	1.000	0.986	0.962	0.944	0.932	0.000	0.000

Çizelge 4.9. Farklı α değerlerinde stokastik çıktı odaklı BCC VZA sonuçları

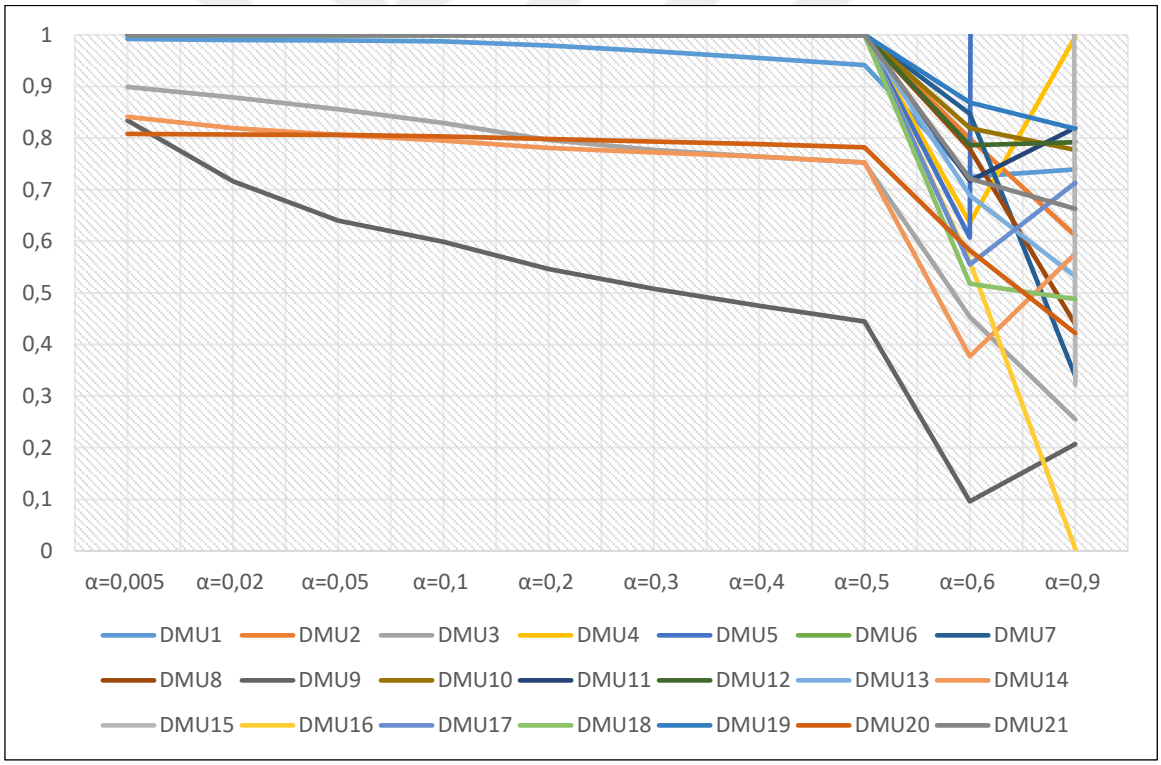
	α=0.005	α=0.02	α=0.05	α=0.1	α=0.2	α=0.3	α=0.4	α=0.5	α=0.6
KVB1	1.009	1.011	1.013	1.016	1.026	1.037	1.058	1.087	3.028
KVB2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.506
KVB3	1.159	1.192	1.222	1.253	1.310	1.372	1.434	1.487	11.987
KVB4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.131
KVB5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.693
KVB6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9.815
KVB8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.160
KVB9	1.129	1.250	1.345	1.444	1.577	1.680	1.763	1.846	4.227
KVB10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.630
KVB11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.709
KVB12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.145
KVB13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	11.268
KVB14	1.115	1.142	1.163	1.183	1.206	1.220	1.233	1.246	3.123
KVB15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.023
KVB16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.954
KVB17	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.770
KVB18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.839
KVB19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.206
KVB20	1.733	1.769	1.796	1.821	1.853	1.887	1.967	2.031	14.850
KVB21	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.679

Çizelge 4.10. Farklı α değerlerinde stokastik çıktı odaklı CCR VZA sonuçları

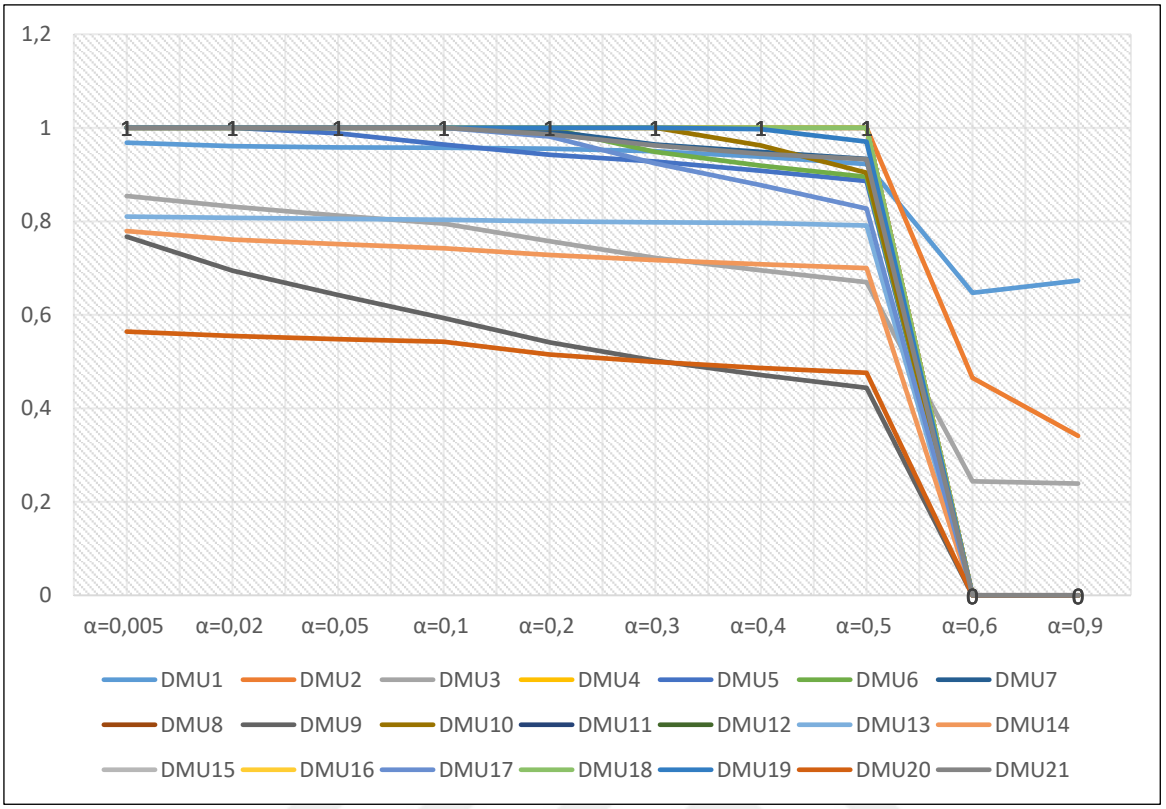
	α=0.005	α=0.02	α=0.05	α=0.1	α=0.2	α=0.3	α=0.4	α=0.5	α=0.6
KVB1	1.033	1.040	1.043	1.045	1.046	1.052	1.066	1.084	1.544
KVB2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.139
KVB3	1.170	1.203	1.231	1.257	1.319	1.383	1.439	1.493	5.543
KVB4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.567
KVB5	1.000	1.000	1.011	1.036	1.061	1.077	1.100	1.129	1.527
KVB6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.055	1.087	1.118	1.897
KVB7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.007	1.036	1.054	1.072	1.815
KVB8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.436
KVB9	1.303	1.441	1.555	1.685	1.845	1.990	2.120	2.253	9.272
KVB10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.039	1.106	2.205
KVB11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.117
KVB12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.631
KVB13	1.233	1.238	1.241	1.244	1.249	1.252	1.255	1.265	1.669
KVB14	1.284	1.313	1.331	1.348	1.374	1.393	1.411	1.429	3.235
KVB15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.162
KVB16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.364
KVB17	1.000	1.000	1.000	1.000	1.019	1.082	1.140	1.209	1.424
KVB18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.054
KVB19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.030	1.245
KVB20	1.772	1.799	1.823	1.844	1.939	2.002	2.053	2.101	2.916
KVB21	1.000	1.000	1.000	1.000	1.014	1.039	1.059	1.072	1.330

Çalışmada α seviyeleri 0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ve 0.9 olarak kabul edilmiş ve program her α değeri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Tüm α seviyelerine göre stokastik VZA modellerinin sonuçları çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9' da gösterilmektedir. Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9' da görüldüğü gibi, 0.6 civarı hata seviyeleri elektrik dağıtım birimlerinin etkinlik değerlerini düşürmektedir.

Sonuçlar hata seviyesi 0.5'ten 0.6'ya yükseldiğinde elde edilen etkinlik değerlerinin azaldığını göstermiştir. Çizelge elektrik dağıtım birimlerinin etkinliğinin, hata seviyesi yarıdan daha yüksekken saptığını göstermektedir. Ek olarak, her bir KVB'nin etkinliği, azalan hata seviyeleri ile birlikte artmıştır. Bu nedenle, sonuçlara göre, α değerleri arttığında, etkin birim sayısının azalacağı açıktır. Sonuçlarda oluşan değişim seviyeleri grafiklerle Şekil 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.5. Stokastik BCC modeliyle her KVB için α değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.6. Stokastik CCR modeliyle her KVB için α değerlerinin karşılaştırılması

Sonuçlara göre, deterministik ve stokastik BCC VZA modellerinde KVB1, KVB3, KVB9, KVB14 ve KVB20, 0.5 anlamlılık düzeyinde etkin değilken, diğer KVB'ler kalıcı olarak etkin olmuştur. Bunun yanında, deterministik ve stokastik CCR VZA modellerinde, KVB1, KVB3, KVB5, KVB6, KVB7, KVB9, KVB10, KVB13, KVB14, KVB17, KVB19, KVB20 ve KVB21 0.5 anlamlılık düzeyinde etkin değildir. Deterministik modellerde olduğu gibi, KVB5, KVB6, KVB7, KVB10, KVB13, KVB17, KVB19 ve KVB21'in BCC stokastik modellerinde etkin, CCR stokastik modellerinde ise etkin olmadıkları saptanmıştır. Bu durum yine bu KVB'lerin genel teknik etkinliklerinin düşük olduğunu göstermektedir. Burada da, etkin olmayan şirketlerin kaynaklarını gerektiği gibi kullanmadıkları anlaşılmaktadır. Genel olarak, KVB1, KVB3, KVB9, KVB14, ve KVB20 dışında kalan birimler, gelecek kararlar ve planlamalar için kıyaslama ve performans ölçümünde referans alınabilecek birimlerdir.

4.5. Stokastik Modellerin Doğrulanması

Önerilen model diğer modeller tarafından doğrulanmalıdır. Bu çalışmada, deterministik koşullar altındaki stokastik VZA modelleri sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermek için, modellerin sonuçları deterministik VZA modellerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Stokastik modellerde girdi ve çıktıların ortalaması alınıp modele eklenince ve

$a_{ij} = \sqrt{Var(\bar{x}_{ij})}$=0 , $b_{rj} = \sqrt{Var(\bar{y}_{rj})} = 0$

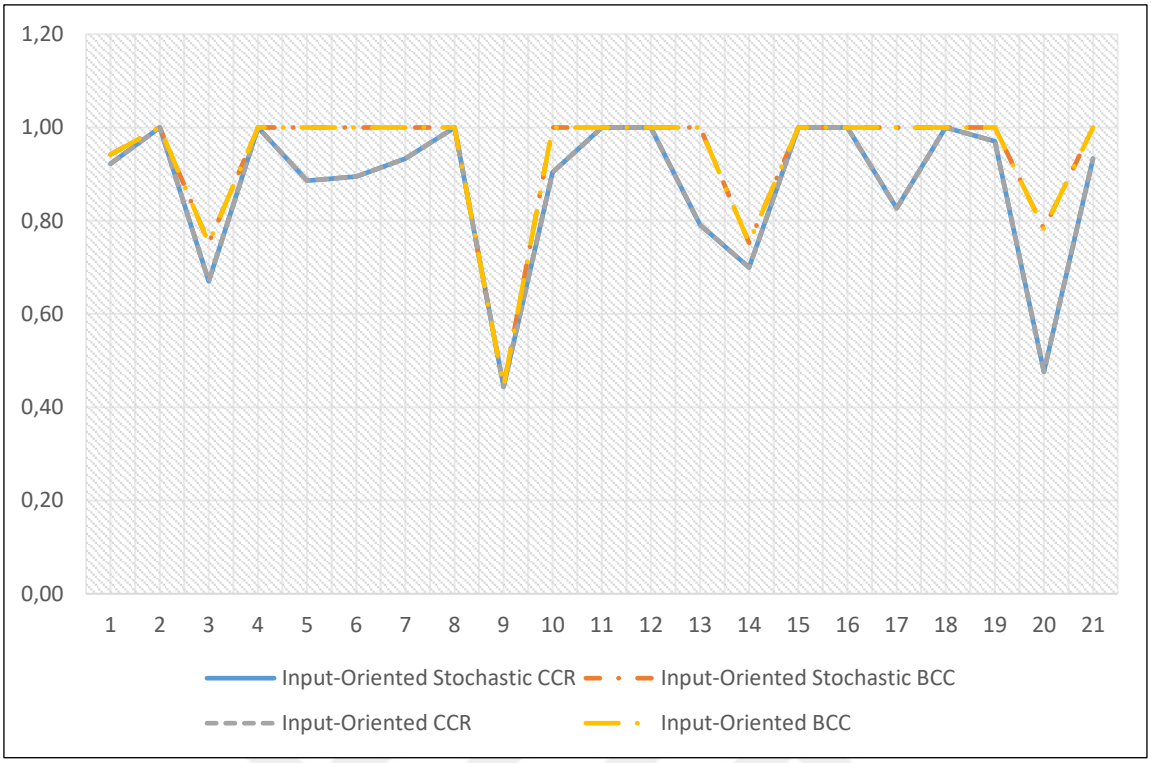
olarak alınınca, verilerin simetrik (normal) dağılıma sahip oldukları varsayımı altında, deterministik VZA modelleri ile validasyon sağlanıyor olmalıdır [27]. Çizelge 4.10, 4.11 ve şekil 4.7, 4.8 bize bu koşullar altında stokastik ve deterministik modellerin sonuçlarını sunmaktadır. Buna göre, deterministik CCR-BCC ve stokastik CCR-BCC modelleri aynı sonuçları verirler. Böylece, stokastik VZA modelleri deterministik VZA modelleri tarafından doğrulanmış olur.

Çizelge 4.11. Girdi yönlü stokastik ve deterministik VZA modellerinin karşılaştırılması ve doğrulanması

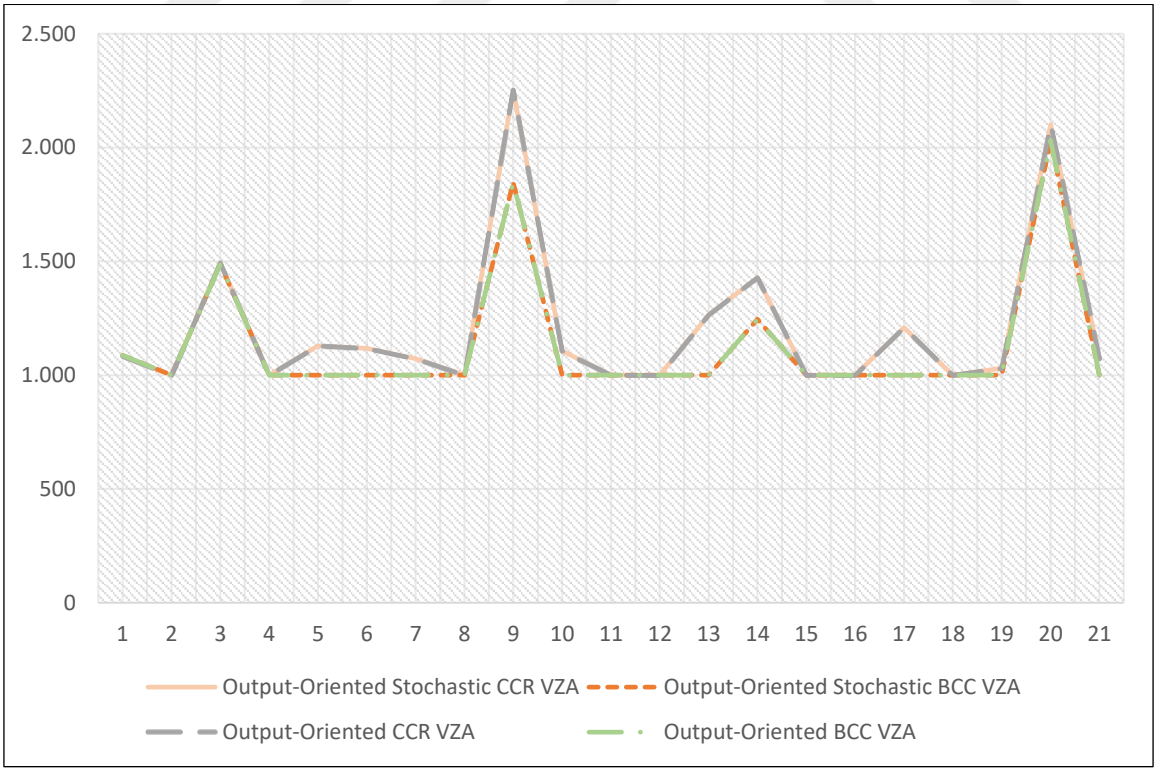
	Stokastik CCR VZA	Stokastik BCC VZA	CCR VZA	BCC VZA
KVB1	0.9222	0.9417	0.9222	0.9417
KVB2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB3	0.6698	0.7521	0.6698	0.7521
KVB4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB5	0.8861	1.0000	0.8861	1.0000
KVB6	0.8946	1.0000	0.8946	1.0000
KVB7	0.9331	1.0000	0.9331	1.0000
KVB8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB9	0.4438	0.4443	0.4438	0.4443
KVB10	0.9041	1.0000	0.9041	1.0000
KVB11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB13	0.7906	1.0000	0.7906	1.0000
KVB14	0.6996	0.7530	0.6996	0.7530
KVB15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB16	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB17	0.8274	1.0000	0.8274	1.0000
KVB18	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
KVB19	0.9704	1.0000	0.9704	1.0000
KVB20	0.4759	0.7818	0.4759	0.7818
KVB21	0.9325	1.0000	0.9325	1.0000

Çizelge 4.12. Çıktı yönlü **s**tokastik ve deterministik VZA modellerinin karşılaştırılması ve doğrulanması

	Stokastik CCR VZA	Stokastik BCC VZA	CCR VZA	BCC VZA
KVB1	1.084	1.087	1.084	1.087
KVB2	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB3	1.493	1.487	1.493	1.487
KVB4	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB5	1.129	1.000	1.129	1.000
KVB6	1.118	1.000	1.118	1.000
KVB7	1.072	1.000	1.072	1.000
KVB8	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB9	2.253	1.846	2.253	1.846
KVB10	1.106	1.000	1.106	1.000
KVB11	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB12	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB13	1.265	1.000	1.265	1.000
KVB14	1.429	1.246	1.429	1.246
KVB15	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB16	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB17	1.209	1.000	1.209	1.000
KVB18	1.000	1.000	1.000	1.000
KVB19	1.030	1.000	1.030	1.000
KVB20	2.101	2.031	2.101	2.031
KVB21	1.072	1.000	1.072	1.000



Şekil 4.7. Girdi yönlü stokastik ve deterministik modellerin grafiklerle karşılaştırılması ve doğrulanması



Şekil 4.8. Çıktı yönlü stokastik ve deterministik modellerin grafiklerle karşılaştırılması ve doğrulanması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde elektrik enerjisi dağıtım süreçlerinde olduğu gibi, endüstriyel ve ekonomik faaliyet süreçlerinde de müşteri ilişkilerine ve hizmetlerine gelen şikâyetlerin bir çoğu dağıtım kaynağındaki sorunlardan oluşmaktadır. Belirli ortamda, güvenilir elektrik enerjisini sağlayan sistem, refah, gelişen ekonomi ve teknoloji anlamında önkoşuldur. Dağıtım şirketleri dağıtım sürecinin ileride oluşabilecek sorunlarından, arz-talep dengesizliğinden, büyümesini ya da küçülmesini proaktif bir yaklaşımla farkedecek şekilde kısa ve orta dönemli (5 ve 10 yıllık) planlama ile acil eylem stratejilerinin oluşturulmasından sorumludur. Bu nedenle, tedarik devamlılığı, hizmette teknik ve ticari kalite değişkenlerinin iyileştirilmesi, tüketicilere dağıtılan enerji hizmeti kalitesinin artırılması, talep tahminlerini ve çevresel gelişim parametrelerini içeren yaklaşımlar ile yatırım planlarının oluşturulması gereklidir. Kısa, orta ve uzun dönemli yatırım planları içerikleri; can ve mal güvenliği içeren, enerji taleplerinin karşılanmasını sağlayan, daha çok ve daha iyi aydınlatmayı sağlayan, şehir şebekesi yenilemeyi ve tedarik devamlılığını iyileştirmeyi gözeten, köy şebekelerinin yenilenmesini ve bakımının yapılmasını amaçlayan, dağıtım merkezi için planlanan, sayaç bakımını içeren, süreçlere otomasyon ve daha çok teknoloji katmayı hedefleyen yatırımlar şeklindedir. Bu yatırımların en uygun maliyetli çözümle abonelerin hizmetine sunulması, müşterilerin güvenlik ihtiyaçlarını karşılayan sabit, belirli, sürekli ve güvenilir bir elektrik enerjisi sağlayan sistemle mümkündür. Bu nedenle; kamu kuruluşlarının ihtiyaç duyulan giderlerini, maliyetlerini minimum seviyeye düşürmeleri gerekmektedir.

Birçok mühendislik ve bilim problemi, doğal fenomenlerin rastlantısallığı ve/veya insan tarafından yaratılan yapıların fonksiyonel durumunu belirleyen değişkenlerin eksik bilgisine bağlı olarak belirsizliğe tabidir. Bu bağlamda, enerji sektöründe belirsizlikle mücadele eden hesaplama yöntemleri, mühendislerin ve bilim insanlarının çevresel etkilere karşı daha az duyarlı çözümler sunmasını sağlarken, aynı zamanda maliyet azaltma, arz-talep dengesini sağlama, kayıp-kaçak oranlarını düşürme gibi güvenilirlik iyileştirmeleri elde etmelerini amaçlar.

Enerji sistemleri çok çeşitli belirsizliklere tabidir. Elektrik sistemlerinde yeniden yapılanma ve rekabet, bu belirsizliklerin getirdiği zorlukların üstesinden gelmek için mevcut düzenleme ve araçlara bağlıdır. Elektrik ticaretinde, rekabet söz konusu olduğundan, elektrik piyasasının özellikleri ve çevresel faktörleri nedeniyle elektrik enerjisi sisteminin belirli bir

veri yolundaki üretimi, iletimi ve tüketimi tüm sistemi etkiler. Bu nedenle, belirsizliklerin giderilmesi için gerçekleştirilecek eylemler, ticaretin tutarlılığından ödün vermeden, gerekirse sadece yerel değil genel yönetim uyarılarını ya da yaptırımlarını gerektirir.

Elektrik piyasalarıyla ilgili karar verme sorunları belirsizlikten muaf değildir. Karar vericiler, bu pazarların işleyişini düzenleyen kuralların, üst yönetim kararlarını koşullandıran belirsizliklerin varlığından sorumlu kabul edilebilir. Örneğin, enerji fiyatları, üreticiler ve tüketiciler sırasıyla elektrik piyasasına satış teklifleri ve satın alma teklifleri gönderdikten sonra bilinmektedir. Satılacak veya satın alınacak enerjinin miktarı ve fiyatı ile ilgili kararlar, nihai pazar sonucunun rassal verilerine rağmen, kesin olarak verilir. Benzer şekilde, enerji işlemlerine ilişkin anlaşmalar ve bunların uygulamaları arasında var olan zaman boşluğu, bir üreticinin faaliyet süreciyle enerji kaynaklarının mevcudiyeti hakkında belirsizlikle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır.

Bunların dışında, enerjide belirsizlik; piyasa düzenleme fiyatları, yakıt fiyatları, arz-talep belirsizliği, kayıp-kaçak oranları, mevzuat belirsizlikleri, Türkiye elektrik piyasası içinde üst yönetimin karar verme aşamalarını ve yatırım, hizmet gibi faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir.

Çalışmada elektrik dağıtım şirketleri ile ilgili olarak genellikle veri eksikliği ve belirsizlik olması nedeniyle, performans değerlendirmesi için stokastik veri zarflama analizine de dayanan bir yaklaşım tanıtılmaktadır. Deterministik veri zarflama analizinin yanında, elektrik dağıtım şirketleri ile ilgili olarak genellikle eksik ve stokastik veri olması nedeniyle elektrik dağıtım birimlerinin performans değerlendirmesi için stokastik veri zarflama analizine de dayanan girdi ve çıktı yönelimli şans kısıtlı programlama yaklaşımı kullanılmıştır.

Stokastik programlama, stokastik verileri içeren optimizasyon problemlerinin modellenmesi ve çözümü için bir yaklaşımdır. Şans kısıtlı programlama yaklaşımı, stokastik programlamanın en önemli yöntemlerinden biridir. Şans kısıtlı stokastik VZA modelleri, klasik VZA modellerine göre, daha esnek bir etkinlik limiti yaratır, çünkü girdilerin ve / veya çıktıların rasgele belirlendiği varsayımına dayanır.

Çalışmada, doğrusal olmayan stokastik BCC ve CCR modellerinin deterministik eşitleri simetrik hata yapısının modellere eklenmesiyle, doğrusal modellere dönüştürülmüştür.

CCR modeli hem teknik hem de ölçek etkinliğini değerlendirirken, BCC modeli, KVB'lerin etkinlik/üretim sınırına göre saf teknik etkinliğini tahmin etmek için kullanılır. Bu nedenle, BCC sonuçları altındaki teknik etkinlik skorları, CCR sonuçlarından ya yüksek ya da bu sonuçlara eşittir.

Deterministik ve stokastik sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, bir karar verme biriminin etkinlik ve performans kıyaslamalarında BCC etkin olması CCR etkinliğinden daha basittir. Dolayısıyla, CCR etkin olan bir birim, BCC modelinde de etkindir. Bu durum, bu birimin hem yerel ölçekte hem de global ölçekte etkin olduğunu gösterir. Bu çalışmayla elde edilen bulgularda da, BCC modelindeki etkinlik değerleri CCR modeline eşit veya ondan daha büyük gelmiştir. Bir karar biriminin BCC modeline göre etkin olduğu, CCR modeline göre ise etkin olmadığı durumda, karar verme biriminin daha önce açıklandığı gibi yerel olarak etkin bir şekilde çalıştığı, ancak genelde/global ölçekte, yani diğer kıyaslama birimleriyle karşılaştırıldığında etkin çalışmadığı düşünülmektedir.

CCR modeli belirli bir KVB'nin yapı ve süreçleri itibariyle kendisine benzer ya da benzer olmayan şekilde çalışan şirketlerle birlikte mukayese edilip, genel bir etkinlik skoru oluştururken, BCC modeli yerelde yani ilgili KVB'nin süreçlerinde kendine benzer şekilde faaliyet gösteren şirketlerle birlikte mukayese edilip, etkinlik skoru oluşturmaktadır. Buna göre, BCC modeli, KVB'lerin etkinlik/üretim sınırına göre saf teknik etkinliğini tahmin etmek için kullanılır. Bu nedenle, BCC sonuçları ile teknik etkinlik skorları elde edilir. CCR modeli ise daha önce belirtildiği gibi, hem teknik hem de ölçek etkinliği skorlarını verir.

En verimli ölçek boyutu (MPSS), verimlilik sınırında, üzerinde çalışılan girdi-çıktı parametreleri için ortalama üretkenliği en üst düzeye çıkaran, en iyi sonuçları elde etmek için kaynakların nasıl organize edilmesi ve kullanılması gerektiğini belirten bir ölçümdür. Bu ölçüm VZA çalışmalarında hem CCR hem de BCC etkinliğinde sağlanabilir. [62] En verimli ölçek boyutu (MPSS), bir endüstrinin veya şirketin mal veya hizmet üretiminde başarısı için bir ölçüt olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, KVB2, KVB4, KVB8, KVB11, KVB12, KVB15, KVB16 ve KVB18, deterministik ve stokastik modellerde

hem BCC hem de CCR etkinliklerini sağlayarak en verimli ölçek boyutunu gerçekleştirmiştir.

Uygulanan yöntemlerde girdi yönelimli modellerin kullanılmasının nedeni, elektrik dağıtım şirketlerinin tüketicilere hizmet sağlarken çıktıları üzerinde kontrole sahip olamayışları, çıktı yönelimli modellerin kullanılmasının nedeni ise, diğer modellerle tutarlılığın sınanmak istenmesidir.

Bu çalışmada verilerin belirsizliği ve 2011 sonrası Türkiye elektrik dağıtım şirketlerinin özelleştirilmeye başlanması konuları göz önüne alınarak, dağıtım şirketlerinin yerelde teknik etkinliği araştırılıp, şans kısıtlı stokastik BCC ve CCR girdi ve çıktı odaklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar, hata oranı 0,5' ten fazla iken stokastik etkinliğin olumsuz olabileceğini göstermiştir. Ayrıca her KVB'nin etkinliği, azalan hata seviyesi için artmıştır. KVB1, KVB3, KVB9, KVB14, ve KVB20 sonuçlara göre, etkin değilken diğer KVB'ler etkin çıkmışlardır. Bir KVB, en düşük hata seviyesinde etkin değilse, KVB daimi etkin olmayan birim olacaktır. Bununla birlikte, bir hata seviyesindeki etkin birimler, KVB2'de olduğu gibi diğer hata seviyelerinde etkin olmayabilir. Bu sonuçlar, stokastik etkinliği değerlendirmek için hata seviyesine daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini vurgular. Kısacası; stokastik modeller, farklı rasgelelik seviyelerini analiz edebilir, ancak klasik modeller yapamaz, yani stokastik modeller klasik modellere kıyasla, verilerin stokastik hatalarının sonuçlara olan etkilerini yansıtma yeteneğine sahiptir. Rasgelelik küçük olduğunda, yani verilerde gürültü az olduğunda stokastik ve deterministik modeller arasında anlamlı bir fark olmayacağı açıktır. Ancak, rasgelelik yani gürültülü veriler arttıkça, iki modelin sonuçları daha farklı hale gelir ve KVB'lerin etkinlikleri değişebilir.

Bunların dışında; etkin olmayan KVB' lerin çıktı miktarları sabit tutulup, girdi miktarlarında azalma veya girdi miktarları sabit tutulup, çıktı miktarlarında artma görülürse etkinlik sağlanabilir.

Deterministik BCC-CCR girdi ve çıktı odaklı etkinlik değerleri ile stokastik BCC-CCR girdi ve çıktı odaklı etkinlik değerleri literatürde yer aldığı ve diğer çalışmalarda olduğu gibi tutarlılık ve paralellik göstermiş olup, çalışmada elde edilen stokastik modellerden beklenilen etkinlik değerlerindeki artış, çalışma ile sağlanmıştır. Şans kısıtlı SVZA, deterministik VZA modellerine göre daha esnek bir etkinlik sınırı oluşturur.

BCC ve CCR teknik etkinlik sonuçları arasında literatürde yer alan önceki çalışmalara göre önemli bir fark olmadığı için, Türkiye'nin elektrik dağıtım şirketlerinin daha önceki yıllara ve özelleştirme öncesi döneme kıyasla, KVB1, KVB3, KVB9, KVB14 ve KVB20 dışında ölçekte etkili olduğunu söyleyebiliriz.

Sonuçlara göre, daimi etkin olamadığı görülen KVB1, KVB3, KVB9, KVB14 ve KVB20 için; bulundukları bölgeler itibariyle geniş alanlarda tarımsal sulama ihtiyacı olması,tarımsal sulamada kayıt dışı elektrik kullanımından dolayı çok fazla israf olması,israfa dönüşen tüketimlerin elektrik hatları ve trafolara fazla yük bindirmesi, kayıp-kaçak oranının fazlalığı, yüzölçümü geniş arazilerde yetersiz hat uzunlukları olması, yatırımların zamanında değerlendirilmemesi, abone sayısı fazlalığından kaynaklı arz-talep dengesizliğinin oluşması etkin olmayan süreçlere neden olmaktadır.

Karar verme biriminin etkin çalışmamasına neden olan hususlar; bu bölgelerde yer alan ve modellerde etkin olmadıkları görülen dağıtım şirketlerine ait şebekelere yapılan yatırımların denetimle artırılması, şirketlerin girdilerini minimize çıktılarını maksimize edecek şekilde denetimlere yön verilmesi, kayıt dışı elektrik kullanımı ile mücadelede yasal ve caydırıcı düzenlemelerin gözden geçirilmesi ve takibi, şebeke altyapılarının yenilenerek, yeni teknoloji projelerini ve imkanlarını devreye alarak servis kalitesinin artırılması, yüzölçümü, hat uzunluğu, dağıtımın yapıldığı bölgedeki nüfus ve abone sayısı gibi parametrelerin yatırım kararı verilirken hesaba katılması ile aşılabilir.

Otomasyon her alanda denetim, doğru veriyi toplama, izleme ve raporlama için çok önemlidir. Üst yönetimlerin otomasyon kullanılmayan geleneksel elektrik dağıtım sistemlerinde, tedarikçiler ve müşteriler arasında interaktif iletişimin sağlanması için akıllı sayaçların ve izleme sistemlerinin mevcut elektrik şebekelerine dahil edilerek elektrik şebekelerinin elektronik ortamda takip edilmesi, güncellenmesi ve dağıtım yapılırken kullanıcı güvenliğini sağlayan akıllı şebekelerin tercih edilmesi gerekebilir. Böylece yalnızca sayaçların okumalarında ve bakımlarında değil aynı zamanda, tedarikten son tüketiciye kadar bütün elektrik şebekesinin uzaktan elektronik olarak takip ve kontrol edilebilir olması sağlanacak, yönetim bilişim sistemlerine uygun olarak, yetki tabanlı veri yönetimi, iş zekâsı ve karar destek sistemleri sayesinde elde edilecek akıllı şebeke raporları ve görselleriyle denetim ve yönetim kolaylaşacak, etkin olmama nedenlerinde düşüş sağlanacaktır.

Geleneksel şebekelerde elektrik dağıtım şirketleri abone sayılarıyla doğru orantılı bir şekilde puant talebini karşılamak için ne gerekiyorsa yaparken, akıllı şebekelerde şirket kesintiyi sistem üzerinden tespit edip, puant talebini yönetip, operasyon harcamalarını (OPEX) ve yatırım harcamalarını (CAPEX) azaltır. Bunun yanında, akıllı sistemlerde orta gerilim ve alçak gerilim kayıplarıda kontrol altına alınabilir.

Özelleştirmeye değinecek olursak, özelleştirmelerin doğurduğu sonuçları daha iyi anlamak bakımından veri seti 2011 sonrası yıllara ait tutulmuştur. Sonuçlar 2011 öncesine göre iyileşmeler gösterse de; elektrik enerjisi sektöründe Özelleştirme İdaresi Başkanlığı'nca ortaya konan özelleştirme amaçları ile 4628 sayılı Elektrik Piyasası Yasası'nda vurgulanan "…rekabet ortamında çevreyle uyumlu, ucuz, sürekli ve kaliteli elektrik enerjisinin tüketicilerin kullanımına sunulması…" amaçlarının, özelleştirmelerden sonra gerçekleşen uygulamalar ve yapılan düzenlemelerle ne kadar örtüştüğünü etkin olmayan KVB'ler üzerinden incelemek gerekir. Bu kapsamda, dağıtım şirketlerinin özelleştirilmeleri sürecinde elektrik sektöründe oluşan yenilikleri, değişiklikleri; elektrik enerjisi tüketim ve hizmet bedelleri, tüketim bedellerinde tüketiciye yansıtılan bölgeler arası farklılıkları, dağıtım tesisi yatırımları ve bakım onarımı, şirketlerin bu yatırımlar için kullanılan kredi faizlerini nasıl karşıladıklarını inceleyerek değerlendirmek doğru olacaktır. Sektörde yapılacak yatırımlar doğru zamanda gerçekleşmeli ve düzgün planlanmalıdır. Sektör yatırımlarının arz güvenliği sorunları oluşturmayacak kadar erken, kaynak israfı oluşturmayacak kadar da geç yapılması gereklidir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, literatürdeki sonuçlarla parelellik içermektedir. Analizler sonucunda ve kullanılan girdi ve çıktı parametrelerine göre, sosyo-ekonomik seviyesi ve eğitim düzeyi yüksek bölgelerde yer alan dağıtım şirketlerinin, sosyo-ekonomik seviyesi ve eğitim düzeyi düşük bölgelerde yer alan dağıtım şirketlerine göre, kaynaklarını daha performanslı ve etkin kullandıkları ve giderlerini daha iyi planlayıp, yönettikleri görülmektedir. Etkinlik düzeyi düşük olan dağıtım şirketlerinin modellerde kullanılan girdileri ve çıktıları göz önüne alınırsa, müşteri sayısı ve dağıtılan enerji miktarı etkin olmama nedeni olarak görünmekle birlikte, kayıp kaçak oranlarında sağlanacak düşüşler ve arz-talep dengesizliğinin giderilmesi ile bu parametrelerde iyileşme sağlanabilir, etkin olmama durumlarının giderileceği söylenebilir.

Çalışmada yer alan ve elektrik dağıtım şirketlerinin performans ölçümleri için kullanılan, simetrik hata yapısındaki stokastik BCC ve CCR etkinlik bulguları literatürde yapılan çalışmalar ile tutarlılık göstermektedir. Deterministik modellere kıyasla, stokastik modellerden beklenen etkinlik değerlerinde artış çalışma tarafından sağlanmıştır. Bu çalışma bize olasılıksal durumları ve rassal değişkenleri de dikkate alan stokastik modellerin, enerjide karar verme birimlerinin veya kamu hizmetlerinin performansının ölçülmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak; ülkemiz gibi rasgeleliğin hep var olduğu ancak belirsizlikten kaçınma eğiliminin de yüksek olduğu toplumlarda belirsizliklerin etkisinin incelenmesi ve ortaya konması, olasılıksal durumların etkilendiği ortamlarda şirketlerin reaktif ya da proaktif yaklaşımlarının pekişmesi açısından önemlidir. Bu pekiştirme piyasada şeffaf ve öngörülü yaklaşımları, doğru karar vermeyi sağlayacak, gerek duyulan güvenilir ve kaliteli üretim ve yönetim süreçlerini doğuracaktır. Gelecek dönemlerde yapılacak çalışmalarda, enerjide karar verme birimleri etkinliği için diğer VZA modellerinde rassal değişkenlerin ve simetrik hata yapısının modellere uygulanması, girdi ve çıktı parametre değerlerindeki değişimlerin etkinlik sonuçlarına etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş... URL: https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri , Son Erişim Tarihi: 06.05.2020.

2. Kul, M., Uyarıoğlu, Y., Ayasun, S., Vatansever, F., Eminoğlu, U. ve İmal, N. (2013). *Elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı.* Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi.

3. İnternet: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Akademik Veri Yönetim Sistemi. URL: https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/atalayt/105449, Son Erişim Tarihi: 04.03.2020.

4. İnternet: Özelleştirme İdaresi Başkanlığı (ÖİB) Türkiye Elektrik Dağıtım Sektörü Özelleştirmesi. URL: http://oib.gov.tr/tedas/tedas.htm, Son Erişim Tarihi: 20.02.2020.

5. Gürbüz, A., (2006). *Enerji enstitüsü elektrik sektöründe özelleştirme ve türkiye'de serbest tüketici uygulaması.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstütüsü, İstanbul, sayfa aralığı.

6. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. URL: http://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2017-10/80.xls, Son Erişim Tarihi: 06.02.2020.

7. İnternet: EPDK Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği (2012). URL: https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-6740/elektrik-dagitimi-ve-perakende-satisina-iliskin-hizmet-kalitesi-yonetmeligi, Son Erişim Tarihi: 21.04.2020.

8. Coelli, T. J. and Rao, D. S. P. (2003). *Total factor productivity growth in agriculture: A malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000.* Centre for Efficiency and Productivity Analysis, New York, Working Paper no. 02/2003.

9. Odyakmaz, N. (2009). *Türkiye'deki elektrik dağıtım şirketlerinin performansa dayalı düzenleme çerçevesinde karşılaştırmalı etkinlik analizi.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

10. Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J. and Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis.* Boston: Kluwer Publication.

11. Giannakis, D., Jamasb, T. and Pollitt, M. (2005). Benchmarking and incentive regulation of quality of service: An application to the uk electricity distribution networks. *Energy Policy*, 33, 2256–2271.

12. Kuosmanen, T., Saastamoinen, A. and Sipilainen, T.(2013), What is the best practice for benchmark regulation of electricity distribution? Comparison of DEA, SFA and StoNED methods. *Energy Policy,* 61, 740–750.

13. Akan, Y. ve Çalmaşur, G . (2012). Etkinliğin hesaplanmasinda veri zarflama analizi ve stokastik sınır yaklaşımı yöntemlerinin karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25 .

14. Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A. Gen*, 120, 253-90.

15. Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W., (1984). Some Models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30, 1078– 1092.

16. Coelli, T. (1996). *A Guide to DEAP Version 2.1: A data envelopment analysis (computer) program*. Australia: University of New England, CEPA Working Paper, No. 96/08.

17. Charnes, A., Cooper, WW. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

18. Cooper, W.W., Deng, H., Huang, Z. and Li, SX. (2002). Chance constrained programming approaches to technical efficiencies and inefficiencies in stochastic data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 1347–1356.

19. Sengupta, J.K. (1987). Data envelopment analysis for efficiency measurement in the stochastic case. *Computers & Operations Research*, 14, 117–29.

20. Cooper, WW., Huang, Z. and Li, S. (1996). Satisficing DEA models under chance constraints. *The Annals of Operations Research*, 66, 259-279.

21. Cooper, WW., Deng, H., Huang, Z. and Li, SX. (2004). Chance constrained programming approaches to congestion in stochastic data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 155, 487-501.

22. Cooper, W.W., Thompson, R.G. and Thrall, R.M. (1996). Introduction: Extensions and new developments in DEA. *Annals of Operations Research*, 66, 3-46.

23. Behzadi, M.H. and Mirbolouki, M. (2012). Symmetric error structure in stochastic DEA. *International Journal of Industrial Mathematics*, 4, 335-343.

24. Charnes, A. and Cooper, W. W. (1959). Chance-constrained programming. *Management Science*, 6(1), 73-79.

25. Lopes, A.L.M. and Mesquita, R.B. (2015). *Tariff regulation of electricity distribution: A comparative analysis of regulatory benchmarking models.* The 14th European Workshop on Efficiency and Productivity Analysis, Helsinki.

26. Land, C. K., Lovell, C. A. K. and Thore, S. (1994). Productive efficiency under capitalism and state socialism: An empirical inquiry using chance-constrained data envelopment analysis. *Technological Forecast Social Change*, 46, 139-152.

27. Land, C. K., Lovell, C. A. K. and Thore, S. (1993). Chance-constrained data envelopment analysis. *Managerial and Decision Economics*, 14, 541-554.

28. Li, S.X. (1998). Stochastic models and variable returns to scales in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 104, 532-548.

29. Sengupta, J.K. (2002). Efficiency analysis by stochastic data envelopment analysis. *Applied Economics Letters*, 7, 379-383.

30. Huang, Z. . and Li, S.X. (2001). Stochastic DEA models with different types of input-output disturbances. *Journal of Productivity Analysis*, 15, 95-113.

31. Olesen, O.B. (2002). *Comparing and combining two approaches for chance constrained DEA*. (Discussion paper), Şehir: The University of Southern Denmark.

32. Khodabakhshi, M. (2010). An output oriented super-efficiency measure in stochastic data envelopment analysis: Considering iranian electricity distribution companies. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 663–671.

33. Khodabakhshi, M. and Asgharian, M. (2008). An input relaxation measure of efficiency in stochastic data envelopment analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 2010-2023.

34. Khodabakhshi, M. and Kheirollahi, H. (2010). Measuring technical efficiency of Iranian electricity distribution units with stochastic data envelopment analysis. *Iranian Conference on Applied Mathematical Modelling.*

35. Behzadi, MH., Nematollahi, N. . and Mirbolouki, M. (2009). Ranking efficient KVBs with stochastic data by considering inecient frontier. *International Journal of Industrial Mathematics* 1, 219-226.

36. Jahanshahloo, G.R., Behzadi, M.H. and Mirbolouki, M. (2010). Ranking stochastic efficient DMUs based on reliability. *International Journal of Industrial Mathematics*, 2, 263-270.

37. Weyman-Jones, G.T. (1991). Productive efficiency in regulated industry: The area electricity boards of england and wales. *Energy Economics*, 3, 116-122.

38. Fallahi, A., Ebrahimi, R. and Ghaderi, S.F. (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: a case study. *Energy*, 36, 6398–405.

39. Omrani, H., Azadeh, A., Ghaderi, S.F. and Abdollahzadeh, S. (2010). A consistent approach for performance measurement of electricity distribution companies. *International Journal of Energy Sector Management*, 4, 399–416.

40. Azadeh, A., Ghaderi, SF., Omrani, H. and Eivazy, H. (2009). An integrated DEA–COLS–SFA algorithm for optimization and policy making of electricity distribution units. *Energy Policy*, 37, 2605–2618.

41. Azadeh, A., Ghaderi, S.F. and Omrani, H. (2009). A deterministic approach for performance assessment and optimization of power distribution units in Iran. *Energy Policy*, 37, 274–280.

42. Çelen, A. (2013). Efficiency and productivity (TFP) of the Turkish electricity distribution companies: An application of two-stage (DEA&Tobit) analysis. *Energy Policy*, 63, 300-310.

43. Mullarkey, S., Caulfield, B., McCormack, S. and Basu, B. (2015). A framework for establishing the technical efficiency of Electricity Distribution Counties (EDCs) using Data Envelopment Analysis. *Energy Conversion and Management*, 94, 112-123.

44. Gouveia, M.C., Dias, L.C., Antunes, C.H., Boucinha, J. and Inácio, C.F. (2015). Benchmarking of maintenance and outage repair in an electricity distribution company using the value-based DEA method. *Omega,* 53, 104-114.

45. Arcos-Vargas, A., Núñez-Hernández, F. and Villa-Caro G. (2017). A DEA analysis of electricity distribution in Spain: An industrial policy recommendation. *Energy Policy*, 102, 583–592.

46. Jamasb, T. and Pollitt, M. (2003). International benchmarking and regulation: An application to european electricity distribution utilities. *Energy Policy*, 31, 1609–1622.

47. Charnes, A. and Cooper, W. W. (1962). Chance constraints and normal deviates. *Journal of the American Statistical Association*, 57, 134-148.

48. Mirbolouki, M., Behzadi, M.H. and Korzaledin, M. (2014). Multiplier ,models in stochastic DEA. *Data Envelopment Analysis and Decision Science,* 1-6.

49. Talluri, S., Narasimhan, R. and Nair, A. (2006). Vendor performance with supply risk: a chance-constrained VZA approach. *International Journal of Production Economics* 100, 212–222.

50. Demireli, E. and Özdemir, A.Y. (2013). Seçilmiş Avrupa ülkelerinde makroekonomik performans ölçümü: Şans kısıtlı veri zarflama analizi ile bir uygulama. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences,* 37.

51. Azadeh, A., Haghighi, S. M., Zarrin, M. and Khaefi, S. (2015). Performance evaluation of Iranian electricity distribution units by using stochastic data envelopment analysis. *Electrical Power and Energy Systems,* 73, 919–931.

52. Sueyoshi, T. (2000). Stochastic VZA for restructure strategy: An application to a Japanese petroleum company. *Omega*, 28, 385–98.

53. Sadjadi, SJ., Omrani, H., Makui, A. and Shahanaghi, K. (2011). An interactive robust data envelopment analysis model for determining alternative targets in Iranian electricity distribution companies. *Expert Systems with Applications,* 38, 9830–9.

54. Sadjadi, S.J. and Omrani, H. (2008). Data envelopment analysis with uncertain data: An application for iranian electricity distribution companies. *Energy Policy,* 36, 4247–4254.

55. Khodakaramia, A., Farahanib, F. H., Aghaeid, J. (2017). Stochastic characterization of electricity energy markets including plug-in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 112-122.

56. Brazdik, F., (2004). Stochastic Data Envelopment Analysis: Oriented and Linearized Models. joint workplace of the Center for Economic Research and Graduate Education, Charles University, Prague, and the Economics Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

57. Brockett, P.L. and Golany, B. (1996). Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in data envelopment analysis. *Management Science,* 42(3), 466-472.

58. Omrani, H., Beiragh, R.G. and Kaleibari, S.S. (2015). Performance assessment of Iranian electricity distribution companies by an integrated cooperative game data envelopment analysis principal component analysis approach. *Electrical Power and Energy Systems*, 64, 617-625.

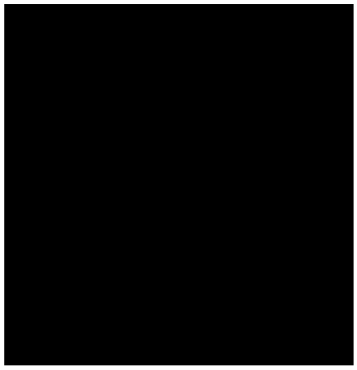
59. Jamasb, T. and Pollitt, M. (2001). Benchmarking and regulation: International electricity experience. *Utilities Policy*, 9, 107–130.

60. Özden Ünal, H. (2008), Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.

61. Aydemir, Z.C. (2002). Bölgesel rekabet edebilirlik kapsamında illerin kaynak kullanım görece verimlilikleri: Veri zarflama analizi uygulaması. Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Yayın No:2664.

62. Banker, R.D. and Kemerer, C.F. (1989). Scale economies in new software development. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 15(10), 1199-1205.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDIN YENİOĞLU, Zühre
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri :
Medeni hali :
e-posta :

Eğitim Derecesi	**Okul/Program**	**Mezuniyet yılı**
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Bilişim Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı	2013
Lisans	Çankaya Üniversitesi Matematik-Bilgisayar	2003
	Ahmet Yesevi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği	2018

İş Deneyimi, Yıl	**Çalıştığı Yer**	**Görev**
2003- 2015	İçişleri Bakanlığı-BID	Programcı
2015- 2020	EPDK-BID	Mühendis

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

1. Aydın Yenioğlu, Z., Toklu, B. (Baskıda). Stokastik Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü: Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Politeknik Dergisi*

2. Aydın Yenioğlu, Z., Ateş, V. (2019). Yenilenebilir Enerji Kullanımındaki Göreceli Etkinliklerin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi: Türkiye ve Bazı Avrupa Ülkeleri Örneği, *Politeknik Dergisi*, 22, 863-869.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR…