HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİĞİ

Cuma KILINÇ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2011
ANKARA

Cuma KILINÇ tarafından hazırlanan “HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİĞİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr.Adnan SÖZEN …….
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)** …….
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)
Prof.Dr.Adnan SÖZEN …….
Enerji Sistemleri Mühendisliği ,Gazi Üniversitesi
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) …….
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) …….
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) …….
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Tarih: ...../……./……

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans / Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Cuma KILINÇ

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TOPLAM FAKTÖR VERİMLİLİĞİ
(Doktora Tezi)

Cuma KILINÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2011

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemiz elektrik üretiminde %49.79'luk bir paya sahip 10 adet hidroelektrik santralin etkinlik analizi Veri Zarflama Analizi (VZA) tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. VZA, birden çok girdi ve çıktıya sahip karar birimlerinin göreceli performanslarının ölçülmesi için kullanılır. Analizde, Charnes ve arkadaşları [1] tarafından geliştirilen klasik VZA modeli (CCR modeli) ile BCC (VRS modeli) modelleri kullanılarak ölçek etkinliği değerleri bulunmuştur. Santrallerin etkinliklerinin belirlenmesinde, girdi ve çıktı değişkenleri değiştirilerek iki farklı Model geliştirilmiştir. Böylece hidroelektrik santrallerin üretim (Model 1) ve birim üretim başına maliyet (Model 2) etkinlikleri kıyaslanmıştır. Etkinliklerin zaman içerisindeki değişimini görmek için Window analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara etkin olmayan hidroelektrik santrallerin etkin hale gelebilmesi için girdilerini çıktıya dönüştürme başarısına göre eksiklikleri ve fazlalıkları belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 912.1.080
Anahtar Kelimeler : Veri zarflama analizi, etkinlik analizi, hidroelektrik santraller
Sayfa Adedi : 84
Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Adnan SÖZEN

TOTAL FACTOR EFFICIENCY OF HYDRO- POWER PLANTS

(Ph.D. Thesis)

Cuma KILINÇ

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2011

ABSTRACT

In this study, the efficiency analyses of ten hydro power plants (HPP) used for electricity generation were conducted through Data Envelopment Analysis (DEA) and window analysis (WA). Two efficiency indexes, based on production and energy unit cost performance were defined and pursued. In the calculation of operational performance, the main production factors were used as inputs, and net production was used as the output (Model 1). On the other hand, in the calculation of energy costs, the cost of generating a unit energy in terms of TL (Turkish Liras), were used as the output (Model 2).Data Envelopment Analysis (DEA) is the main instrument for measurement of relative performances of decision making units with multiple inputs and outputs. Constant returns to scale (CRS or CCR) and variable returns to scale (VRS or BCC) type DEA models were used in the analyses for this study. The relationship between efficiency scores and input/output factors was also investigated. Employing the obtained results, the hydro power plants were evaluated with respect to both the cost of energy generation and the net production. The inputs of HPPs are not serially independent, such as the water collection at the dam reservoir through consecutive years. Thus, changes in performance relative to preceding or following years were also investigated by window analysis.

Science Code : **912.1.080**
Key Words : **Hydro-power plant, Efficiency, Window Analysis**
Page Number : **84**
Adviser : **Prof.Dr.Adnan SÖZEN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla bana destek olan hocam Prof.Dr.Adnan SÖZEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT.....v

TEŞEKKÜR..... vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI..... 4

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLER..... 9

4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ 17

4.1. Giriş..... 17

4.2. VZA'nin Kullanım Alanları 18

4.3. VZA'nin Uygulanma Aşamaları 23

4.4. VZA'nin Uygulanmasındaki Amaçlar..... 33

4.5. VZA'nin Güçlü ve Zayıf Yönleri 35

4.6. VZA Yazılımları 36

4.7. Doğrusal VZA Programı:Primal Formülasyon 38

4.8. Doğrusal VZA Programı:Dual Formülasyon 41

4.8.1.Teknik etkinlik 41

4.8.2. Ölçek etkinliği..... 46

4.9. Veri Zarflama Analizinde Toplam Etkinlik 54

Sayfa

5. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ETKİNLİK ANALİZİ..... 50

5.1. Materyal 50

5.2. Net Üretim Etkinliği Analiz Sonuçları.....55

5.3. Enerji Maliyeti Etkinliği (Model 2) Analiz Sonuçları 61

5.4. Window Analiz Sonuçları 65

5.4.1. Model 1 analiz sonuçları 65

5.4.2. Model 2 analiz sonuçları 69

6. SONUÇLAR..... 77

KAYNAKLAR 78

ÖZGEÇMİŞ..... 84

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Referans çalışmaların literatür taraması 5

Çizelge 3.1. Birincil enerji ve elektrik enerjisi üretim ve tüketiminde gelişmeler 9

Çizelge 3.2. Yakıt cinslerine göre kurulu güç ve üretim değerleri.....11

Çizelge 3.3. Önemli hidroelektrik santrallerin teknik özellikleri.....12

Çizelge 3.4. Analiz için seçilen hidrolektrik santrallerin teknik bilgileri.....15

Çizelge 5.1. Analizde kullanılan girdi-çıktı değişkenler 51

Çizelge 5.2. Model 1 CRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar.....60

Çizelge 5.3. Model 1 VRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar.....60

Çizelge 5.4. Model 2 CRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar.....64

Çizelge 5.5. Model 2 VRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar.....65

Çizelge 5.6. HES'lerin CRS'ye göre çıktı yönlü Window analizi ve özet istatistikleri 67

Çizelge 5.7. HES'lerin VRS'ye göre çıktı yönlü Window analizi ve özet istatistikleri 69

Çizelge 5.8. Model 2'ye göre HES'lerin CRS girdi yönlü Window analizi ve özet istatistikleri.....71

Çizelge 5.9. Model 2'ye göre HES'lerin VRS girdi yönlü Window analizi ve özet istatistikleri.....74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Enerji kaynaklarına göre dağılım 11

Şekil 3.2. Türkiye'nin kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı.... 13

Şekil 3.3. Hidrolelektrik potansiyel 14

Şekil 3.4. Seçilen hidroelektrik santrallerin bireysel katkıları 16

Şekil 4.1. Verimlilik 19

Şekil 4.2. Teknik etkinlik ve verimlilik 21

Şekil 4.3. Ölçeğe göre artan getiri özelliği 22

Şekil 4.4. Etkinlik sınırı (girdi minimizasyonu) 42

Şekil 4.5. Etkinlik sınırı (çıktı maksimizasyonu)..... 44

Şekil 4.6. Ölçeğe göre değişen getiri 47

Şekil 5.1. Girdiye ve çıktıya göre verimlilik. 51

Şekil 5.2. Ölçeğe göre değişken model..... 53

Şekil 5.3. Model 1 için CRS etkinlik skorları 58

Şekil 5.4. Model 1 için VRS etkinlik skorları 59

Şekil 5.5. Model 2 için VRS etkinlik skorları 62

Şekil 5.6. Model 2 için CRS etkinlik skorları 63

Şekil 5.7. Etkinlik skorları (Model 1 CRS ve VRS) 75

Şekil 5.8. Etkinlik skorları (Model 2 CRS ve VRS) 76

1. GİRİŞ

Dünya'da ve Türkiye'de enerji talebi günden güne artmakta, enerji krizi her ülkeyi ciddi şekilde tehdit etmektedir. Nüfus artışı; hızlı kentleşme ve sanayileşme, enerjiye olan talebi artırmakla beraber, klasik enerji kaynaklarının dışında farklı enerji kaynaklarının da değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Dünya'da yenilenemez enerji kaynaklarının tüketimi artmakta olup, fosil yakıtların tüketimi atmosfer sıcaklığını artırmaktadır. Küresel ısınma ile mücadele de gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmekte, yenilenebilir enerji kaynağının büyük bir kısmını oluşturan hidroelektrik potansiyellerini, büyük oranda kullanmaktadır.

Uluslar arası enerji ajansının (IEA) 2009 yılı raporuna göre [2], global elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı:

%5,6 Petrol
%20,9 Doğalgaz
%41,5 Kömür
%13,8 Nükleer
%15,6 Hidrolik
%2,6 Yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır.

Ucuz, temiz, güvenilir ve sürdürülebilir enerji üretiminin, bir ülkenin kalkınma ve sosyo-ekonomik gelişmesindeki anahtar rolü açıktır. Bu nedenle bu niteliklere sahip elektrik enerjisinin üretilebileceği yerli ve yenilenebilir kaynakların öncelikli olarak geliştirilmesi büyük önem taşmaktadır. Hidroelektrik santraller (HES) biriktirilen suların potansiyel enerjisini türbin ve jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine çeviren enerji üretim tesisleridir. Ülkemiz akarsularının topoğrafik yapı ve hidrolojik koşulları hidroelektrik enerji üretimi açısından avantajlı olup ortalama akarsu eğimleri 1300m civarındadır. Hidroelektrik enerji santrallerinin yerli kaynak kullanma

avantajının yanı sıra işletme, çevre ve stratejik açılardan da avantajları lunmaktadır.

Hidroelektriğin Türkiye'deki gelişimi incelendiğinde 1989'larda toplam ihtiyacın %60'ı hidroelektrikten sağlanırken, bu oran 2010 yılında %16 seviyelerine gerilemiştir. 2010'da, Türkiye'nin elektrik üretiminde kaynaklara göre dağılımı: % 55'i doğalgazdan, %26'sı kömürden, geri kalan % 3'lük bölüm ise rüzgâr ve diğer enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Bu rakamlar gösteriyor ki; Türkiye'nin enerji üretimi doğalgaza dolayısıyla dışa bağımlı hale gelmiştir. Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, dünyada en hızlı büyüyen enerji pazarlarından biridir. OECD ülkeleri arasında Türkiye'nin 1995'te %2 olan enerji üretimi payını 2020 yılında %7'ye çıkararak önemli bir ekonomik güç olacağı tahmin edilmektedir [3]. Ancak sınırlı miktarda enerji kaynaklarına sahip olduğu için enerji üretim kaynaklarının yaklaşık %74'nü ithal yoluyla karşılamaktadır. Türkiye'nin bu dışa bağımlılık oranını kabul edilebilir düzeylerde tutmak amacıyla yerli ve yenilenebilir kaynaklarımıza gereken önem verilmeli ve elektrik üretiminin bu kaynaklardan sağlanmasına özen gösterilmelidir. Cumhuriyetin 100. yılına doğru gelişmesini hızlandırmak isteyen Türkiye, durum değerlendirmesini sağlıklı yaparak, doğru verilerden hareket ederek, ülke içi koşullara ve yerli kaynaklara önem vererek, teknolojik-ekonomik-sosyal-çevresel faktörleri optimize eden bir enerji stratejisi, politikası ve enerji arz-talep dengesi oluşturmak zorundadır.

Türkiye'nin iki temel enerji kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kömür diğeri hidroliktir. Kömür kaynakları düşük kalorili olduğu için ileri teknoloji gerektiren yakma ve arıtma tesislerine ihtiyaç duymaktadır. Türkiye'nin değerlendirmesi gereken en iyi enerji kaynağı hidroliktir.

Bu çalışmada Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından işletilen hidroelektrik santrallerin kurulu güç bakımından %53,6'sına elektrik üretim bakımından %49,8'ine denk gelen 10 adet hidroelektrik santralin üretim ve enerji maliyeti

yönünden etkinlikleri değerlendirilmiştir. Etkinliklerin değerlendirilmesinde son yıllarda yaygın ve etkin olarak önerilen Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılmıştır. Çok boyutlu ve parametrik olmayan ölçüm tekniği olan VZA, oldukça yeni bir yaklaşım olmasına karşın çok yaygın uygulama alanları bulmuştur. VZA başlangıçta özellikle kâr amaçsız karar verme birimlerinin (KVB) (bu çalışmada santraller) performans hesaplaması için düşünülmüştür. Ancak giderek yaygınlaşarak kâr amaçlı olan ve olmayan; askeri operasyonlar, ticari bankalar, üniversiteler, hastaneler, tarımsal kooperatifler, kamu kesimi kurumlarının etkinliğine varıncaya kadar çok çeşitli alanlarda uygulamalara rastlanmaktadır.

Çalışmada etkinliğin zaman içerisindeki değişimini görmek için Window analizi kullanılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma ile ülkemizin temel enerji kaynağı hidroelektrik santrallerin, üretim ve enerji maliyet performansları hesaplanarak bilimsel dayanaklarla somut verilerle ve analitik bağıntılarla hidroelektrik santrallerin iyileştirme çalışmalarına katkı da bulunulacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

VZA'nin uygulama alanları arasında banka şubelerinin etkinliklerinin ölçülmesi, kamu hizmetlerinin etkinliği, hastanelerin etkinliğinin ölçülmesi, aracı kurum hizmetleri, okul etkinlikleri, üniversite bölümlerinin etkinliklerinin ölçülmesi, otellerin etkinliklerinin ölçülmesi, kütüphanelerin etkinliklerinin ölçülmesi sayılabilir.

Parametrik olmayan ve çok değişkenli ölçüm tekniği olarak VZA, ilk kez literatürde bugünkü anlamı ile A. Charnes, W.W. Cooper ve E.Rhodes (CCR Modeli) tarafından European Journal of Operational Research [1] dergisinde yayınlanan makalelerinde kullanılmış ve daha sonra yönetim biliminde, kamu sektörü karar alma birimlerinin karşılaştırılmalı teknik verimliliklerinin analizinde yeni bir araç olarak benimsenmiştir. CCR modelinin ilk uygulamaları kamu sektöründe ve özellikle eğitim üzerine çalışmalar olup kar amaçlı değerlendirmeler değildi. Kar amacı gütmeyen ancak temel girdi bileşenlerini çıktıya dönüştürme etkinliğini göreceli olarak hesaplayan modeller geliştirilerek VZA'nın kullanım alanları arttırılmıştır. 1985'ler ve sonrasında VZA'nın teorisi daha da geliştirilmiştir. CCR modeli geliştirilerek, Banker, Charnes ve Cooper (BBC) tarafından BBC Modeli ortaya konuldu. Veri zarflama analizi ve malmguist index yaklaşımlarının enerji alanında son yıllardaki literatür taraması sonucuna göre kullanılan veriler ve analiz yöntemleri ile ilgili referans bilgiler Çizelge 2.1'de derlenmiştir.

Çizelge 2.1. Referans çalışmaların literatür taraması

Çalışma	Kullanılan veri	Girdiler	Çıktılar	Kullanılan Metod
Briec, W. Et al.[4]	2001-2008 arasında Portekizdeki hidroelektrik barajlar	Yatırım maliyeti İşletme maliyeti	Kapasite Üretim	Malmquist Index
Cristobal, J.R.S.[5]	İspanyadaki yenilenebilir enerji santralleri	kW başına yatırım Bakım peryodu İşletme ve bakım maliyeti	Güç İşletme süresi Faydalı yaş CO_2 (ton)	Veri Zarflama Tekniği (VZA)
Vaninsky (2006) [6]	1991-2004 arasında ABD'nde elektrik üretimi	• İşletme giderleri • Enerji kayıpları	• Net kurulu güç	VZA
Jamasb et al. (2008) [7]	1996-2004 arasında 39 ABD gaz dönüşüm firması	• Top VZA lam giderler	• Dağıtım • Kompresör kapasitesi • Hat uzunluğu	VZA
Ramos-Real et al. (2009) [8]	18 Breziya elektrik dağıtım firması (1998-2005)	• Elektrik hat uzunluğu (km) • Çalışan sayısı • Kayıplar (GWh)	• Satış (GWh) • Müşteri sayısı,	VZA
Wang et al.(2007) [9]	Hong Kong elektrik sağlayıcı endüstrisi 1978-2003	• Sermaye artırımı • İşçi	• Elektrik dağıtım satışları (MWh) • Müşteri yoğunluğu (müşteri/km^2)	Malmquist Index
Kulshreshtha and Parikh (2002) [10]	Hindistan'daki yeraltı ve yerüstü kömür madenciliği firmaları 1985-1997	• Yerüstü: Madencilik makineleri, vinçler, damperler • Yeraltı: Madencilik makineleri, halat çekme	• Yerüstü: fazla yük kaldırma • Yeraltı:Kömür	Malmquist Index

Çizelge 2.1.(Devam) Referans çalışmaların literatür taraması

Hawdon (2003) [11]	33 Uluslar arası gaz firması 1998 ve1999	• İstihdam • Boru hattı uzunluğu	• Gaz tüketimi • Müşteri sayısı	VZA
Pe'rez-Reyes and Tovar (2009) [12]	14Peru elektrik dağıtım şirketi	• İşçi sayısı • Güç dağıtım kayıpları (MWh) • Hat uzunluğu (km)	• Satışlar (MWh) • Müşteri sayısı	Malmquist Index
Wolf (2009) [13]	1001 uluslar arası petrol gaz firmaları 1987-2006	• Petrol/Gaz rezervi • Toplam aktifler • Çalışan sayısı	• Gelir • Net kar	Çok değişkenli regresyon
Abbott (2006) [14]	Avustralya'nın elektrik sağlayıcı endüstrisi 1969-1999	• Sermaye stoku • Kullanılan enerji (in TJ) • İşçi istihdamı	• Tüketilen elektrik	VZA
Barros 3(2008) [15]	Portekiz'deki hidroelektrik santrallerdeki enerji üretimi 2001-2004	• Çalışan sayısı • Sermaye • İşletme maliyetleri • Yatırım	• Üretilen (MW) • Kapasite kullanımı	Malmquist Index
Estache et al. (2008) [16]	Afrika ülklerindeki 12 elektrik firması 1998-2005	• Sermaye • İşçi	• Satış • Elektrik tüketimi • Müşteriler	Malmquist Index
Wei and Wang (2005) [17]	Listelenmiş 10 Çin kömür şirketi 2003	• Hisse başına toplam aktifler • Hisse başına net aktifler • Hisse başına işletme maliyeti	• Hisse başına kazanç • Hisse başına işletme yararı	VZA
Ran and Hui (2006) [18]	16 Çin kömür şirketi 2005	• Toplam sermaye • İşçi sayısı • İşletme maliyeti	• Net yarar • İşletme yararı	VZA
Fang, Wu and Zeng (2009) [19]	17 Çin ve 8 ABD kömür maden şirketi 2001-2005	• Toplam aktifler • İşçi sayısı • İşletme maliyeti	• Hisse başına kazanç • İşletme karıNet kar	VZA

Çizelge 2.1. (Devam) Referans çalışmaların literatür taraması

Wei , Liao and Fan (2007) [20]	25 Çin demir-çelik firması 1994-2003	• Fuel oil, doğal gaz,elektrik • Kömür, odun kömürü • Kok	•Pig demir •Ham çelik •Biten çelik	Malmquist Index
Mukherjee (2008) [21]	18 Hindistan üretim sektörü 1998-2004	• İşçi • Sermaye • Enerji • Malzemeler	•Devlette imal edilen brüt üretim değeri	VZA
Düzakın and Düzakın (2007) [22]	Türkiye'nin 500 büyük sanayi kuruluşu	• İlave edilmiş brüt değer • Net aktifler • Ortalama çalışan sayısı	•Vergiden önceki yarar •İhracat gelirleri	VZA
Mukherjee (2008) [23]	ABD üretim sektörü 1970-2001	• Sermaye • İşçi • Enerji • Malzemeler • Servisler	•Üretim değeri •Tüketim değeri	VZA
Malighetti et al. (2007) [24]	37 İtalyan havaalanı yönetimi 2005-2006	• Havaalanının tüm alanı • Pistleri toplam uzunluğu • Uçak park pozisyonu sayısı	•Uçak hareketleri yıllık sayısı •Müşteri hareketleri yıllık sayısı	VZA
Lei and Ri-jia[25]	Çin'deki kömür madeni girş güvenliği	• Profesyonel personel güvenliği atanan oranı • Kişi başı maliyeti güvenlik önlemleri sağlayan ilişkili adam başına koruma ekipmanı sağlama maliyeti • Güvenlik eğitim ve adam başına eğitim maliyeti • Güvenliği yönetim maliyeti • Her insanın emniyet doğru geçerlidir Toral çalışma süresi	•Risk derecesinin azalması •Yaralanmaların azalması	VZA

Çizelge 2.1. (Devam) Referans çalışmaların literatür taraması

Sözen, A., et al. [26]	Türkiye'deki termik santrallerin etkinlikleri	• Kapasite • Isıl verim • Ort.işletme zamanı • Proje üretim kapasitesi	• Üretim başına yakıt maliyeti • Emisyonlar	VZA
Sarıca, K. ve Or, İ. [27]	Türkiye'deki güç santralleri	• Yakıt maliyeti • Faydalanma %'si	• Üretim	VZA

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLER

Hidrolik santrallerin ortalama yağışlı şartlardaki üretim kapasitesi ile termik santrallerin standart üretim kapasiteleri toplamı, "proje üretim kapasitesini" hidrolik santrallerin kurak şartlardaki üretim kapasitesi ile termik santrallerin standart üretim kapasitesi toplamı ise "güvenilir üretim kapasitesini" vermektedir. Ülkemiz kurulu gücü ve bu kurulu güç ile yapılan elektrik enerjisi üretimi ve tüketim gelişmeleri yıllar itibariyle Çizelge 3.1' de verilmiştir [28].

Çizelge 3.1. Birincil enerji ve elektrik enerjisi üretim ve tüketiminde gelişmeler

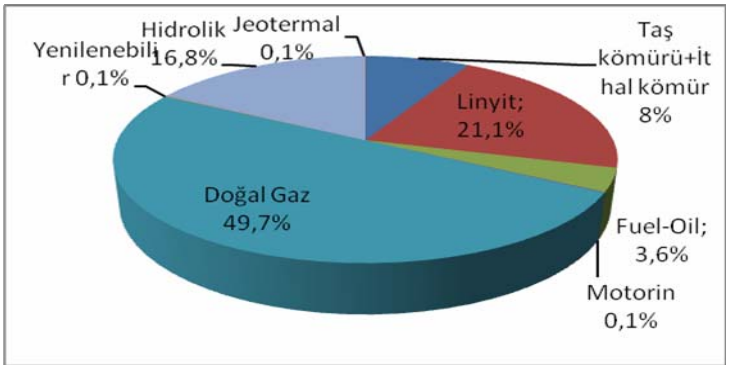
ELEKTRİK ENERJİSİ	BİRİM	2005	2006	2007	2008	2009
KURULU GÜÇ	MW	38 843	40 565	40 836	41 818	44 300
Termik	MW	25 917	27 443	27 296	27 625	29 340
Hidrolik	MW	12 926	13 122	13 540	14 193	14 960
ÜRETİM	GWh	161 956	176 300	191 568	198 418	194 800
Termik	GWh	122 336	131 929	155 362	164 301	157 200
Hidrolik	GWh	39 620	44 371	36 206	34 117	37 600
İTHALAT	GWh	636	573	864	789	700
İHRACAT	GWh	1 798	2 236	2 422	1 122	1 200
TÜKETİM	GWh	160 794	174 637	190 010	198 085	194 300
Kişi Başına Tüketim	kWh	2 230	2 391	2 602	2 647	2 565
BİRİNCİL ENERJİ						
ÜRETİM	BTEP	26 472	28 045	27 455	29 192	28 380
TÜKETİM	BTEP	90 077	99 313	107 257	106 525	99 360
Kişi Başına Tüketim	TEP	1 249	1 377	1 468	1 423	1 312

2008 yılında yaklaşık olarak 1981 milyar kWh olarak gerçekleşen elektrik enerjisi talebinin, kriz dönemi harici, yıllık %6,5 artması halinde 2020 yılında 406 milyar kWh olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu talebin güvenilir olarak karşılanabilmesi için yatırımlar yapılması gerekmektedir. Bu uzun dönemli gerçekçi verilere dayanılarak hazırlanan Arz-Talep dengesine göre 2020 yılına kadar ülkemizde 40 000 MW ile 46 000 MW arası kurulu gücünde yeni santral yapımına ihtiyaç duyulması beklenmektedir.

EİEİ tarafından bu güne kadar projelendirilen toplam 357 adet HES projesinin toplam enerji üretim potansiyeli 77,879 GWh/yıl olup bu rakam ekonomik hidroelektrik potansiyelimizin %60'ına karşılık gelmektedir. Büyük kapasiteli HES projelerinin yanı sıra akarsularımızın bugüne kadar incelenmemiş kısımlarının araştırılarak enerji üretimi bakımından değerlendirilmesine yönelik olarak ülkemizin ekonomik HES potansiyelinin daha da artırılması maksadıyla küçük akarsular üzerinde de ilave HES potansiyel belirleme çalışmaları yürütülmektedir.

Elektrik üretiminde; arz güvenliği, süreklilik, ucuzluk, çevreye en az etki, verimlilik aranan temel kriterlerdir. Petrol ve doğalgaz fiyatlarında uluslararası anlaşmazlıklar nedeniyle önceden öngörülemeyen artışlarla arz talep projeksiyonlarının gerçekleşme şansı ortadan kalkmaktadır. Elektrik enerjisi arz/üretim planlaması, kamunun finans ve birincil kaynak temini, kullanımı, yeni üretim tesislerinin mevcut enterkonnekte şebekeye bağlanması için iletim-dağıtım sistemlerinin planlaması, uluslar arası enterkonneksiyonlardaki transfer kapasitesinin planlanması, arz güvenliği için gerekli ilave kapasite ihtiyacının belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır.

2008 yılı sonu itibariyle yaklaşık olarak 198.4 milyar kWh olarak gerçekleşen elektrik enerjisi üretiminin yıllar itibariyle enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 3.1'de verilmiştir [29].



Şekil 3.1. Enerji kaynaklarına göre dağılım

Yıllar itibariyle elektrik enerjisinde yakıt cinslerine göre kurulu güç ve üretim değerleri de Çizelge 3.2'de verilmiştir. Mühendislik hizmetleri EİEİ tarafından gerçekleştirilen ve halen işletmede olan önemli hidroelektrik santrallerin teknik verileri Çizelge 3.3'de verilmiştir [30].

Çizelge 3.2. Yakıt cinslerine göre kurulu güç ve üretim değerleri

	2005		2006		2007		2008	
	Kurulu Güç	Üretim	Kurulu Güç	Üretim	Kurulu Güç	Üretim	Kurulu Güç	Üretim
Taş kömürü	1 986	13 246	2 034	13 520	1 986	15 136	1 986	15 858
Linyit	7 131	29 946	7 131	34 370	8 211	38 294	8 109	41 858
Fuel-Oil	2 253	5 121	2 219	6 450	1 773	6 470	1 745	7 209
Motorin. LPG Nafta	253	362	253	400	228	67	48	310
Doğal Gaz	10 976	73 445	11 516	74 370	11 648	95 025	13 428	98 685
Çok Yakıtlı	3 268	-	3 268	-	3 384	-	2 219	-
Biyogaz-atık	35	122	37	155	43	214	60	220
TERMİK	25 902	122 242	26 458	129 265	27 273	155 206	27 595	164 139
HİDROLİK	12 906	39 561	13 065	43 540	13 395	35 851	13 829	33 270
Jeotermal	15	94	23	95	23	156	30	162
Rüzgar	20	59	50	100	145	355	364	847
TOPLAM	38 843	161 956	39 596	173 000	40 836	191 568	41 818	198 418

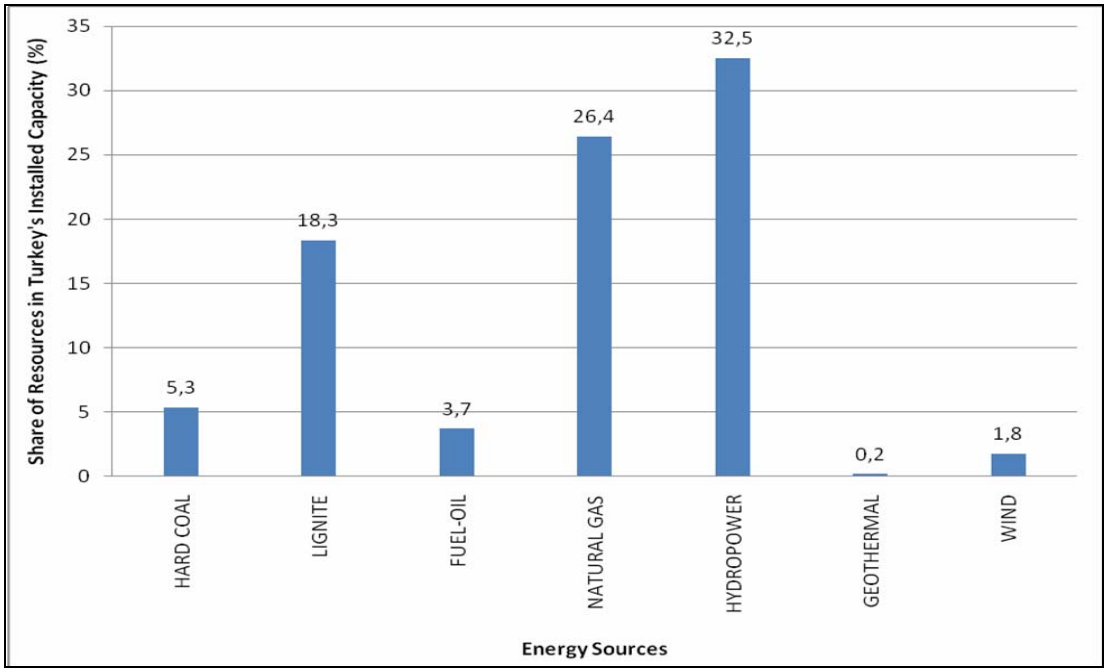
Çizelge 3.3. Önemli hidroelektrik santrallerin teknik özellikleri

PROJE ADI	BİTİŞ YILI	YERİ		BARAJ TİPİ	TALVEGDEN YÜKSEKLİK (m)	DEPOLAMA HACMİ (10^6 m^3)	KURULU GÜÇ (MW)	YILLIK ORT. ENERJİ (GWh)
		AKARSU	İLİ					
SARIYAR	1956	SAKARYA	ANKARA	B.A.	108	1900	160	400
SEYHAN	1956	SEYHAN	ADANA	T.D.	77	1200	54	350
KEMER	1958	AKÇAY	AYDIN	B.A.	113,5	544	48	143
HİRFANLI	1959	KIZILIRMAK	ANKARA	K.D.	83	5980	128	400
DEMİRKÖPRÜ	1960	GEDİZ	MANİSA	T.D.	77	1320	69	193
ALMUS	1966	YEŞİLIRMAK	TOKAT	T.D.	95	950	27	99
KESİKKÖPRÜ	1966	KIZILIRMAK	ANKARA	T.+K.D.	52,6	95	76	250
GÖKÇEKAYA	1972	SAKARYA	ESKİŞEHİR	B.K.	158	910	278	562
KEBAN	1975	FIRAT	ELAZIĞ	BA.+K.D.	207	30600	1330	6000
HASAN UĞURLU	1981	YEŞİLIRMAK	SAMSUN	K.D.	175	1074	500	1217
SUAT UĞURLU	1981	YEŞİLIRMAK	SAMSUN	K.D.	51	182	46	273
OYMAPINAR	1984	MANAVGAT	ANTALYA	İ.K.	185	300	540	1620
ASLANTAŞ	1984	CEYHAN	ADANA	T.D.	95	1150	138	569
KARAKAYA	1987	FIRAT	DİYARBAKIR	K.A.	173	9580	1800	7354
ALTINKAYA	1988	KIZILIRMAK	SAMSUN	K.D.	195	5763	700	1632
DERBENT	1990	KIZILIRMAK	SAMSUN	K.D.	33	213	58	257
SIR	1991	CEYHAN	K.MARAŞ	İ.K.	116	1120	284	725
ATATÜRK	1993	FIRAT	Ş.URFA	K.D.	169	48700	2400	8900
KIRALKIZI	1998	DİCLE	DİYARBAKIR	K.D.	126	1919	94	146
DİCLE	1999	DİCLE	DİYARBAKIR	K.D.	87	595	110	298
KARKAMIŞ	1999	FIRAT	Ş.URFA	K.D.	29	157	189	652
BİRECİK	2000	FIRAT	Ş.URFA	BA+K.D.	62,5	1220	672	2518
BERKE	2001	CEYHAN	ADANA	İ.K.	201	427	510	1668
MURATLI	2006	ÇORUH	ARTVİN	K.D.	44	75	115	444
YAMULA	2006	KIZILIRMAK	KAYSERİ	K.D.	115	3476	100	422
BORÇKA	2008	ÇORUH	ARTVİN	K.D.	86	419	300	1039
KİĞ	1991	FIRAT(PERİ)	BİNGÖL	K.D.	164	507	140	423
TOPLAM							10 866	38 554

B.A. : Beton Ağırlık **T.D.**: Toprak Dolgu **K.D.** : Kaya Dolgu **T.+K.D.**: Toprak+Kaya Dolgu
B.K. : Beton Kemer **İ.K.** : İnce Kemer **BA.+K.D.** : Beton Ağırlık + Kaya Dolgu

2009 verilerine göre Türkiye'nin toplam kurulu gücü 44761 MW, toplam elektrik üretimi ise 194062 GWh dir [29]. Kurulu gücün temel enerji kaynakları paylarına göre dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir.

Toplam kurulu güç içerisinde en yüksek paya sahip (%32,5) hidroelektrik santrallerdir. İkinci olarakta doğalgaz santralleri (%26,4) yer almaktadır.



Şekil 3.2. Türkiye'nin kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı (2009)

Bir ülkedeki bütün doğal akışların yüzde yüz verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin "brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tümünün kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek azami potansiyele "teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel" denir. Öte yandan teknik yapılabilirliği olan her tesis ekonomik yapılabilirliği olan tesis olmayabilir. Bu nedenle teknik potansiyelin, mevcut ve beklenen yerel ekonomik şartlar içinde geliştirilebilecek bölümü ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır. Türkiye'nin teorik

hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin yüzde 1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %14'sıdır. Halen teknik ve ekonomik olarak geliştirilebileceği belirlenen 216 TWh/yıl'lık Türkiye hidrolik enerji potansiyelinin yaklaşık 45 milyar kWh/yıllık (yüzde 36) kısmı işletmede, 11 milyar kWh/yıllık kısmı inşa halindedir. Brüt hidroelektrik potansiyel yaklaşık 433 TWh/yıl'dır (Şekil 3.3) [30].

Şekil 3.3. Hidroelektrik potansiyel

Ekonomik olarak kullanılabilir kurulu güç ve yıllık ortalama elektrik üretimi 35,500 MW and 140 TWh/year, respectively. Türkiye'nini en önemli akarsuların hidroelektrik potansiyeli: Fırat (38,070 GWh), Dicle (16,702 GWh), Doğu Karadeniz (11,271 GWh), Çoruh (10,630 GWh), Seyhan (7,968 GWh), Kızılırmak (6,229 GWh), Yeşilırmak (5,308 GWh), Doğu Akdeniz (6,212 GWh) and Antalya (5,089 GWh)'dir [31-33]. Toplam 130 hidrolik işletmedeki santralde toplam kurulu güç 12,251 MW ve yıllık üretim 44,388 GWh'dir. Teknik hidroelektrik potansiyelde zamanla teknik olanakların artmasına bağlı olarak bir artış beklenebilir. Buna karşılık ekonomik hidroelektrik potansiyel, dünyadaki ve o ülkedeki ekonomik konjonktüre bağlı olarak büyük değişimler gösterebilir. Uzun dönemde gerek inşaat tekniğinde gerekse HES'lerin elektromekanik teçhizat üretiminde olabilecek gelişmeler

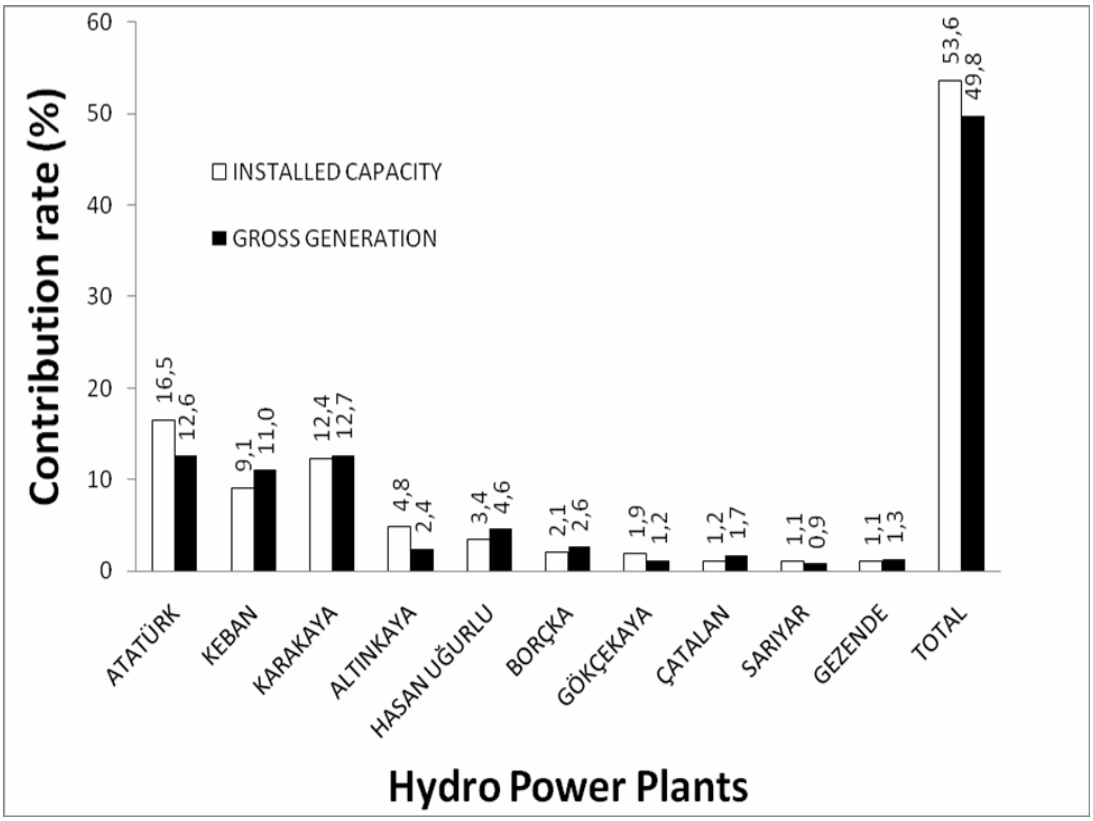
sonucunda maliyetlerde azalma ve buna bağlı olarak da ilave küçük HES potansiyelinin geliştirilmesinde artış beklenebilir.

Türkiye'nin mevcut kurulu gücünün %53,63'üne karşılık gelen 10 adet hidroelektrik santral bu çalışmada etkinlik analizine tabii tutulmuştur. Bu santrallerin kurulu güçleri ve brüt üretimleri 2009 yılına ait verilerle Çizelge 3.4'de verilmiştir. Toplam kurulu hidroelektrik gücü 14553 MW iken analizde dikkate alınan hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 7804 MW'dır. Toplam üretilen hidroelektrik enerjisi 35958 GWh iken dikkate alınan hidroelektrik santrallerin üretimi 17902 GWh'dir.

Çizelge 3.4. Analiz için seçilen hidrolektrik santrallerin teknik bilgileri (2009)

HİDROELEKTRİK SANTRALLER	TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)	BRÜT ÜRETİM (GWh)
ATATÜRK	2405	4525,4
KEBAN	1330	3958,8
KARAKAYA	1800	4556,7
ALTINKAYA	702,55	436
HASAN UĞURLU	500	1658,4
BORÇKA	300,6	936,9
GÖKÇEKAYA	278,4	420,3
ÇATALAN	168,9	627,1
SARIYAR	160	307,2
GEZENDE	159,4	475,7
TOPLAM	7804,85	17902,5
TÜRKİYE'DEKİ TOPLAM HİDROELEKTRİK SANTRALLER	14553,3	35958,4
ANALİZDEKİ SANTRALLERİN ORANI	53,63%	49,79%

Seçilen hidroelektrik santrallerin bireysel olarak Türkiye elektrik üretimine ve elektrik kurulu gücüne katkıları ayrı ayrı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Seçilen hidroelektrik santrallerin bireysel katkıları (2009)

4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

4.1. Giriş

Bir karar biriminin göreceli etkinlik değeri, çıktı değerlerinin ağırlıklı toplamının, girdi değerlerinin ağırlık toplamına oranlanmasıyla elde edilir. Burada belirlenmesi gereken, girdi ve çıktıların alacağı ağırlık değerlerinin ne olacağıdır. Girdi ve çıktı değerleri genelde farklı birime sahip olabilirler. VZA'nın, performans analizinde yaygın olarak kullanılmasının en büyük nedeni, farklı birimlerdeki verilerin kullanılmasına olanak sağlaması ve ağırlıkların belirlenmesinde karar vericilere sağladığı avantajlardır. Girdi ve çıktı ağırlıkları, model tarafından her karar birimi için, etkinlik değeri maksimize edecek şekilde belirlenir [3].

Ağırlıklandırma sırasında sağlanması gereken kısıtlar, aynı ağırlıklarla hiçbir karar biriminin etkinlik değerinin 1'den (<1) yüksek olmaması ve bütün ağırlıkların pozitif olması temeline dayanır. Model, performansı ölçülen karar birimlerinin göreli olarak en avantajlı oldukları çıktılara yüksek ağırlık değerleri ve dezavantajlı oldukları çıktılara düşük ağırlık değerleri atayacaktır. Bu ağırlık atamaları girdi değerleri için de aynı şekilde gerçekleşir. Sonuç olarak ağırlıklar belirlenirken bir takım öznel ölçütlere ihtiyaç duyulmamakta, karar verici veya analizcinin bilinçli veya bilinçsiz olarak bazı karar birimlerine avantaj sağlayacak ağırlık değerleri vermesinin önüne geçilmekte ve her karar birimi için nesnel bir etkinlik değerine ulaşılmaktadır.

VZA modellerinde, bir karar biriminin etkin olması için iki dayanağı vardır [3]:

- Çıktıların hiçbirinin değeri, bir veya daha fazla girdinin değeri artırılmadan ya da bir veya daha fazla çıktının değeri azalmadan arttırılamaz.

- Girdilerin hiçbirinin değeri, bir veya daha fazla girdinin değeri artırılmadan ya da bir veya daha fazla çıktının değeri azalmadan düşürülemez.

Bu kurallara uyan karar birimleri (bu çalışmada ülkeler) etkinlik sınırını oluşturur ve etkinlik değerleri 1'dir. Etkin olmayan bir karar birimin performansı, etkinlik sınırına uzaklığı ile belirlenir.

VZA, performans değerlendirmesinde kullanışlı bir yöntem olmasına rağmen, modelin bazı sınırlamaları vardır. Bunların en önemlilerinden biri, VZA'nın, kullanılan verilere karşı çok hassas olmasıdır. Performans değerlerinin ölçümünde kullanılan etkinlik sınırları, verilerdeki hata ve belirsizliklerden çok etkilenir. Bu nedenle VZA ile doğru bir performans değerlemesi yapabilmek için eldeki verilerin kesin ve hatasız olması gerekir. Öte yandan kullanılmak istenen veriler sözel olarak ifade ediliyor olabilir (örneğin: "eski" veri, "iyi" servis).

4.2. Tanımlar

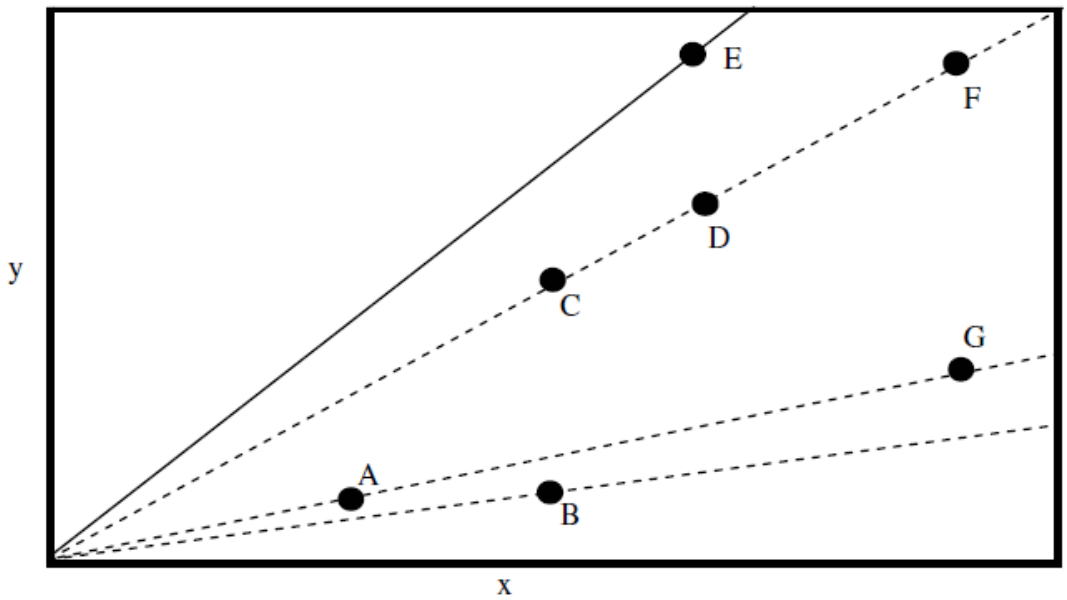
Üretim: Girdilerini en iyi şekilde çıktıya dönüştürme yeteneğine üretim adı verilir. Johston'ın [34] tanımına göre üretim fonksiyon olarak;

"Üretim fonksiyon olarak, birim zamanda sisteme akan herhangi bir miktardaki girdinin üretmeyi başarabileceği maksimum çıktı miktarını anlatan bir bağıntıdır."

Sınır: Elde edilen fonksiyonun olası gözlemlerinin oluşturduğu küme içinde kalması sınırı oluşturur. Bu sebeple, üretim; sınırın altındaki noktalarda gerçekleştiğini, sınırın üstünde ise gerçekleşmemeyi gösterir. Buradan, herhangi bir karar verme biriminin ait olduğu üretim fonksiyonu altında kalması onun "göreli verimliliği"nin ölçüsü olarak ifade edilir [35].

Üretim imkanları kümesi içerisinde en iyi girdi-çıktı birleşimini veren KVB'nin oluşturduğu sınır, üretim sınırını gösterir ve bu sınırın dışında bir karar birimini gözlemek imkansızdır. Bunun sebebi; sınırın ötesinde üretim imkanı yoktur [36].

Verimlilik(Üretkenlik): Verimlilik veya başka bir deyişle prodüktivite; çıktının girdiye oranıdır. Eğer bir girdi ve bir çıktıya sahip KVB düşünülürse basit şekilde verim çıktının girdiye oranı olarak tarif edilir. Koordinat eksenlerinde gösterilirse (Şekil 4.1): y çıktıyı, x girdiyi temsil etmek üzere, KVB için (A,B,C,…) verim ifadesi; KVB ni temsil eden her harfin orijinden geçen eğimi ile verilir. Bu durumda verimi en yüksek olan KVB E'dir, en düşük verime sahip olan ise B'dir. C, D ve F KVB'leri ve B ve G KVB'leri aynı düzeyde verimliliğe sahiptirler. E, KVB ölçek büyüklüğü en yüksek olan KVB'ni gösterir ve Banker [37] tarafından tarif edilen en verimli ölçek büyüklüğüne (Most Productive Scale Size) sahip olarak tanımlanır [36].



Şekil 4.1. Verimlilik

Üretim süreçleri genelde birden çok girdi ve çıktıyı içerir, yani çok parametrelidir. Bu nedenle tek bir girdi ve çıktı ile verimlilik tarif etmek yanlış

olacaktır. Bu tür yanlışlıkları önlemek üzere toplam faktör verimliliği (Total Factor Productivity) kavramından faydalanılır. Toplam faktör verimliliğinde, girdilerin ağırlıklı toplamı ve çıktıların ağırlık toplamı şeklinde tek girdi ve çıktıya dönüştürülür. Dolayısıyla sanal girdi ve çıktı elde edilir.

Teknik etkinlik: Üretim sürecinin etkin olabilmesi; zaman boyutu ile birlikte ele alınırsa, mevcut teknoloji çerçevesinde, çıktının en az girdi kullanılarak üretilmesine bağlıdır.

Üretim aşamasında kullanılan girdiler $\overrightarrow{X}$ vektörü ile çıktılar ise $\overrightarrow{y}$ vektörü ile gösterilirse, zamana bağlı olarak X^t girdileri, Y^t çıktılarının toplam kümesi Ω ile tanımlanabilir. Böylece Ω, t dönemindeki veya t karar birimi için tüm mümkün girdi-çıktı bileşimlerinin kümesini ifade eder. Bu Ω kümesi içerisinde kalan girdi ve çıktıya sahip KVB daha az savurgandır ve daha etkin olarak tarif edilebilirler. Bu küme içerisinde kalanlar eğer çıktılardan bir kısmını girdileri sabit tutarak artırmak mümkün değilse, bu eleman için üretim sürecinde israfta bulunmadığını söyleyebiliriz. İsrafın olmaması teknik etkinlik kavramı ile kendini gösterir.

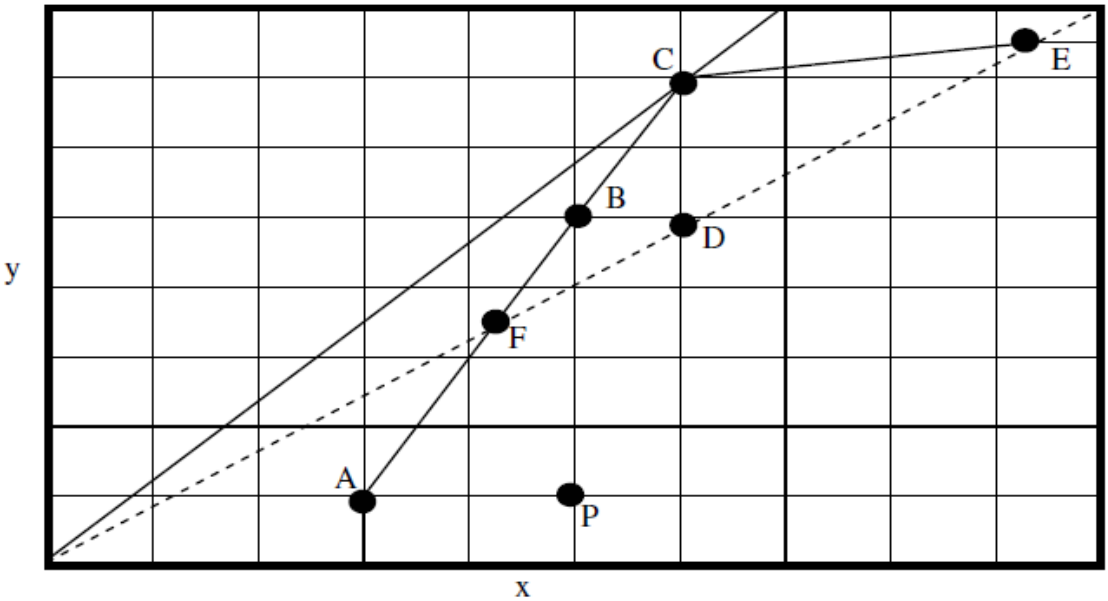
Böylelikle teknik etkinlik; “girdilerini en verimli şekilde kullanarak maksimum çıktıyı üretme” becerisi olarak tarif edilir. Bu tanımdan yola çıkarak, teknik etkin olan karar birimlerinin üretim sınırının üzerinde yer alması gerektiği söylenebilir. Sınırın altında kalanlar ise göreli olarak kaynaklarını israf etmişlerdir diyebiliriz. Böylece referans verilen karar birimleri üretim sınırını tanımlayan karar birimleri ve bunların doğrusal kombinasyonları sonucunda oluşan hipotetik KVB’leridir. Üretim sınırı teknik olan tüm mümkün üretim karışımlarının kümesi olur ve etkin sınır olarak tanımlanır.

Teknik etkinlik ile verimlilik arasındaki farkı gösterebilmek için Şekil 4.5 verilmiştir. Şekil 4.5’de görüleceği üzere A ve B KVB leri üretim sınırında ve

teknik etkindirler. P ise, A ile aynı çıktı düzeyinde ancak daha fazla girdi kullanmıştır. Yine P, KVB B ile aynı miktarda girdi kullanmış olmasına rağmen daha az çıktı üretmiştir. Bu nedenle P KVB etkin olmayan KVB olarak adlandırılır.

Bu üç KVB'nin verimlilikleri, çıktı/girdi oranlarından hesaplanmakta ve sonuçta B, KVB'nin diğerlerine göre verimli olduğu, P'nin ise en verimsiz KVB olduğu sonucuna varılır. A, KVB etkin olarak değerlendirilmesine karşın B'ye kıyasla daha verimsizdir.

Şekil 4.2'ye göre P, KVB B, KVB'ne doğru hareketi sonunda teknik etkinliğini ve verimliliğini artıracağı gözükmektedir. Nedeni ise sırasıyla üretim sınırına yaklaşmakta olması ve çıktı/girdi oranının büyümesidir. A, KVB ise B'ye doğru yaklaşarak etkinliğini artırabilir. Nedeni ise üretim sınırından ayrılmakta ve çıktı/girdi oranının büyümesidir. Göreli olarak en verimli olan C, KVB, Banker'in tanımladığı en verimli ölçek büyüklüğündedir.



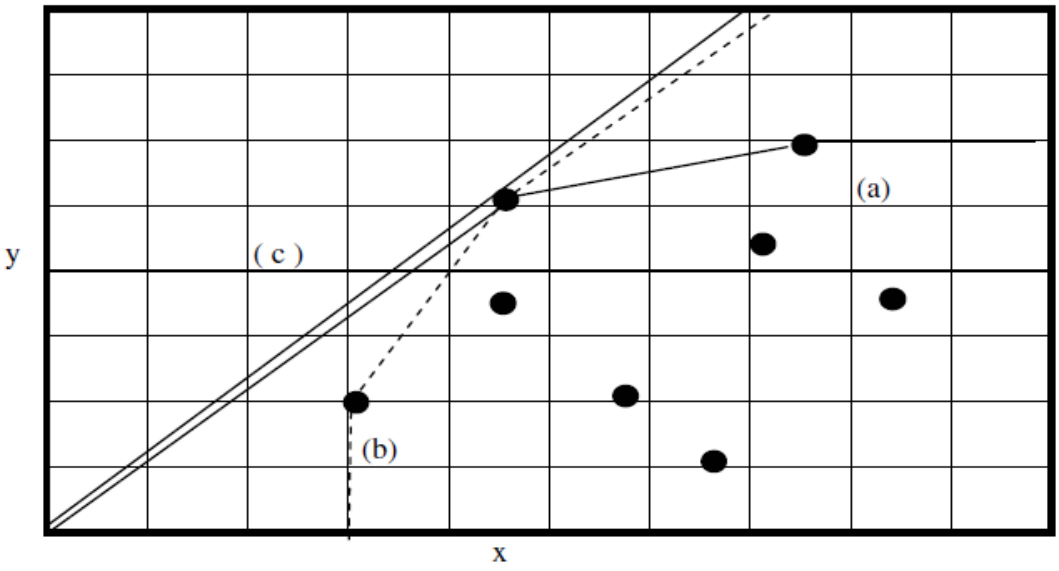
Şekil 4.2. Teknik etkinlik ve verimlilik

C, KVB ile D karşılaştırılırsa, D, KVB'nin üretim sınırı üzerinde yer almadığından kaynak israfında bulunduğu söylenebilir. Ancak D, KVB, en verimli ölçek büyüklüğündeki C ile aynı girdi ölçeğindedir. Buradan, D KVB'nin optimum ölçekte olduğu ancak kaynaklarını iyi kullanmadığı söylenebilir.

F, D ve E, KVB'leri aynı verimlilik düzeyindedirler ancak D, KVB optimum ölçektedir. E ve F teknik olarak etkin olmalarına rağmen optimum ölçekte değildirler.

Ölçek Etkinliği: Bir diğer performans değerlendirme kavramı da en verimli ölçek büyüklüğüne olan yakınlıktır. Buna ölçek etkinliği denilmektedir. C ve D, KVB'leri ölçek etkinliğindedirler, ancak C teknik etkin, D ise teknik etkinsizdir.

Aynı verimlilik düzeyinde olan ve her ikiside teknik etkin olan E ve F, KVB'leri ölçek etkin olmamalarına rağmen, F teknik etkinliğini korumak kaydıyla, ölçeğini büyüttüğünde verimliliğini artıracaktır. Bu duruma ölçeğe göre artan getiri (Increasing Return to Scale) denir. Şekil 4.3 bu durumu (b) üretim sınırı ölçeğe göre artan getiri özelliğini göstermektedir [38].



Şekil 4.3. Ölçeğe göre artan getiri özelliği

E, KVB ise teknik etkinliğini koruyarak ölçeğini küçülttüğü zaman verimliliğinde artış gözleyecektir. Bu durum ölçeğe göre azalan getiri (Decreasing Return to Scale) olarak adlandırılır. Şekil 4.3'daki a üretim sınırı ölçeğe göre azalan getiri özelliğini gösterir.

Üretim sınırındaki ölçeğe göre artan, azalan ve sabit getiri aralıklarının birlikte bulunması durumuna ise değişken getiri (Variable Return to Scale) olarak tarif edilir.

4.3. Veri Zarflama Analizinin Teorisi

Veri Zarflama Analizi (VZA). ilk olarak Charnes. Cooper ve Rhodes [1] tarafından ürettikleri mal veya hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar verme birimlerinin göreli etkinliklerinin ölçülmesi amacı ile geliştirilmiştir. Ancak parametresiz bir etkinlik yöntemidir. "Karar Birimleri" girdiyi çıktıya dönüştüren (homojen yapıdaki) işletme veya ekonomik kuruluşlar veya performansları karşılaştırılacak olan birimlerdir.

Veri Zarflama Analizi, literatürdeki adıyla "Data Envelopment Analysis" doğrusal programlama teorisinin prensiplerine dayanan ve spesifik olarak karar verme birimlerinin (literatürdeki adıyla "Decision Making Units" ya da "DMU's") göreli verimliliğini tahmin etmek için tasarlanmış olan parametresiz bir yöntemdir. VZA'da "karar verme birimi" terimi birtakım girdileri birtakım çıktılara dönüştürmekten sorumlu isletme veya ekonomik kuruluşlar olarak tanımlanır.

VZA yöntemin sahip olduğu en önemli özellik her karar verme birimindeki etkinsizlik miktarını ve kaynaklarını tanımlayabilmesidir. Bu özelliği ile yöntem etkin olmayan birimlerde ne kadarlık bir girdi azaltma ve/veya çıktı miktarını artırmak gerektiğine ilişkin olarak problem çözenlere yol gösterebilir. İlk başta kar amacı gütmeyen kurumların (hastane, silahlı kuvvetler, üniversite vb.)

karşılaştırmalı etkinliğinin ölçülmesini hedefleyen bu yöntem, daha sonraları ARGE projelerinde, çok uluslu ya da çok şubeli şirketlerin göreli performanslarının ölçümünde ve nihayet kar amaçlı üretim ve hizmet sektörlerinde de işletmeler arası göreli etkinliğin ölçümünde yaygınca kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin getirdiği en önemli yenilik, birçok girdinin kullanılarak birçok çıktının elde edildiği ortamlarda parametrik yöntemlerde olduğu gibi önceden belirlenmiş herhangi bir analitik üretim fonksiyonu varlığının öngörülmesine gereksinim duymadan ölçüm yapabilmesidir [39]. Ayrıca girdi ve çıktılar ölçüm birimlerinden bağımsızdırlar. Bu nedenle işletmenin değişik boyutlarının aynı zamanda ölçülebilmesi imkanı vardır.

Veri Zarflama Analizi, birden çok ve farklı ölçeklerle ölçülmüş ya da farklı ölçü birimlerine sahip girdi ve çıktıların karşılaştırma yapmayı zorlaştırdığı durumlarda karar birimlerinin göreli performansını ölçmeyi amaçlayan doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir. VZA yöntemi çoklu girdi ve çoklu çıktılar içeren üretim ilişkilerinde girdi ve çıktıların ağırlıklarını belirleyerek performans karşılaştırması yapılmasına olanak tanır.

Karar birimlerinin aynı hedefe yönelik benzer işlevler görmesi, aynı pazar şartlarında çalışması ve gruptaki bütün birimlerin verimliliklerini nitelendiren etmenlerin yoğunluk ve büyüklüklerindeki farklılıklar hariç aynı olması şartları aranır.

Problemlerin çoğunda, işlemlerde birçok girdi kullanılır (personel sayısı, Ücretler, çalışma saatleri, teçhizat sayısı gibi). Benzer biçimde farklı çıktı ölçütleri de mevcuttur (karlılık, pazar payı, büyüme hızı gibi). Karar vericiler için kullanılan birçok girdinin sonucu bu girdilerin dönüştürülmesiyle elde edilen çıktılardan dönüştürme işleminde hangi birimlerin verimliliğinin düşük olduğunu tespit etmek oldukça güçtür. Bu noktada VZA karar vericilere göreceli etkinlikleri belirlemede önemli bir yardımcı araç sunmaktadır. VZA yaklaşımı referans guruplarının bütün birimlerine dayanarak bir kuramsal

etkinlik sınırı oluşturmada doğrusal programlamadan faydalanmaktadır. Kuramsal birime ait çıktı referans grubundaki bütün çıktıların ağırlıklı ortalamaları yardımıyla hesaplanır. Kuramsal birime ait girdi ise yine bütün referans grubundaki girdilerin ağırlıklı ortalamalarıyla belirlenmektedir. Doğrusal programlama modelindeki kısıtlar, kuramsal birim çıktılarının, incelenen birim çıktılarından büyük veya eşit olmasını gerektirmektedir. Kuramsal birimin girdilerinin, incelenen birimden daha düşük olması kuramsal birimin aynı veya daha fazla çıktıyı daha düşük girdi kullanarak elde ettiğini göstermektedir.

VZA, çok sayıda değişken ile ilişkileri (kısıtlar) bir arada değerlendirildiği "matematiksel programlama" gibi teknikleri kullandığı için çok sayıda girdi ve çıktının bir arada değerlendirilmesine olanak vermeyen ve karar vericiyi sınırlandıran diğer tekniklere göre kullanıcıya daha rahat çalışabilme imkanı sunar. Çünkü politika üretilen ve yönetimsel kararların alındığı gerçek hayat problemleri pek çok faktörün aynı anda değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte VZA matematiksel programlamanın sahip olduğu geniş teori ve metodoloji birikimi sayesinde yol gösterici analizleri ve yorumların yapılabilmesine olanak sağlar [40].

m adet girdisi ve t adet çıktısı olan n adet KVB için maksimize edilecek çıktı/girdi oranının matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Maxh_k = \frac{\sum_{r=1}^{t} u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ik}}$$

Bu ifadede $X_{ij}>0$ parametresi j-inci karar birimi tarafından kullanılan i-nci girdi miktarını. $Y_{rj}>0$ parametresi de j-inci karar birimi tarafından kullanılan r-inci çıktı miktarını göstermektedir. Bu karar problemi için değişkenler k karar biriminin i girdi ve r çıktıları için vereceği ağırlıklardır. Bu ağırlıklar sırasıyla v_{ik}

ve u_{rk} olarak gösterilmiştir. k-ıncı KVB'nin ağırlıklarını diğer karar birimleri de kullandığı zaman etkinliklerinin %100'ü geçmemesini sağlayan kısıt.

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_{rk} Y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_{ik} X_{ij}} \leq 1 \quad ; \quad J=1,\ldots,n.$$

biçiminde tanımlanır. Son olarak kullanılacak girdi ve çıktı ağırlıklarının negatif olamamasını sağlayan kısıt da;

$$u_{rk} \geq 0 \quad ; \quad r = 1,\ldots,t$$

$$v_{ik} \geq 0 \quad ; \quad i = 1,\ldots,m$$

biçimindedir. Bu eşitsizlikler setini doğrusal programlama formuna çevirip simpleks ya da benzeri algoritmalarla çözüme ulaşmak için maksimizasyon formundaki amaç fonksiyonunun paydasının 1'e eşitlenip bir kısıt haline getirilmesi yeterlidir.

VZA'nin Kullanım Alanları

Son yıllarda VZA modelleri yönetim biliminde ve yöneylem araştırması uygulamalarında çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. VZA'nın kullanım alanlarına örnekler aşağıda verilmiştir:

- ✓ Sağlık hizmetleri (hastane. doktorlar), eğitim (okullar, üniversiteler), bankalar.
- ✓ İmalat firmaları, yönetim performanslarının değerlendirilmesi.
- ✓ Sigorta şirketleri, lojistik firmalar, tedarikçi değerlendirme
- ✓ Restoranlar, toptancılar, şehirler, kamu kurumları.

- ✓ Bölgesel gelişme alanlarında göreli verimlilik ölçümü yapmak amacıyla uygulanmıştır.

VZA'nın kullanılabileceği bazı konular şunlardır [41]:

Eş Grupların Kullanımı: VZA, her etkin olmayan birim için ona karşılık gelen bir küme etkin birim tanımlar ve bu birimler etkin olmayan birimler ile eş grup oluştururlar. Eş gruptaki her birim etkin olmayan birimin girdi çıktı yönlendirmesini alır ve etkin olmayan birimle aynı ağırlıkları kullanarak etkin hale gelir.

Etkin Çalışma: Uygulamalarının Belirlenmesi: İyi çalışma uygulamalarının belirlenmesi ve dökümünün yapılması sadece göreli etkin olmayan birimler için değil aynı zamanda göreli etkin birimler için de etkinliğin artırılmasına imkan sağlayabilir. Göreli etkin birimler, iyi çalışma uygulamalarının kaynağıdır. Bununla beraber etkin birimler arasında bazıları diğerlerinden daha iyi örnektir.

Hedef Belirleme: Pratikteki uygulamalarda sıklıkla göreli etkin olmayan birimlerin performanslarının iyileştirilmesinde rehber olmak üzere hedeflerin belirlenmesi arzu edilir. VZA ile girdi ve çıktı seviyelerinde hedefler belirlemek mümkündür.

Etkin Stratejilerin Belirlenmesi: VZA, kolaylıkla birimlerin içinde çalıştıkları politikaları ve programları karşılaştırmada kullanılabilir. Ayrıca modelin uygun çözümü ile yönetsel ve program etkinliklerini değerlendirebilir.

Zaman Boyunca Etkinlik Değişimlerinin Gözlenmesi: VZA ile etkinliği saptanmış bir firma daha sonraki dönemlerde etkinliğini yitirebilir ve referans olma özelliğini kaybeder.

Kaynak Ataması: VZA, göreli etkin ve etkin olmayan birimleri belirlediği gibi etkin olmayan birimler için kaynak koruma ve/veya çıktı artırma potansiyelleri için tahminler verir. Bunların ikisi de yöntemi, kaynakların birimlere atanması için uygun kılar. Göreli etkin ve etkin olmayan birimlerin belirlenmesi kaynakların prensipte hangi yönde transfer edilmeleri hakkında ilk işareti verir.

VZA'nın Uygulanma Aşamaları

VZA 'nın uygulanabilmesi için gerekli olan bazı adımlar vardır. Bu adımlar şunlardır [39].

Karar birimlerinin seçimi

Yapılacak çalışma için hangi karar biriminin uygun olduğu, çalışmanın ana temasını hangi konunun oluşturduğuna bağlıdır. Karar birimleri girdileri çıktılara dönüştürmekle sorumlu herhangi bir ekonomik birim olabilir. VZA, gözlemlenen girdi ve çıktılara dayanarak, örneklemde ya da gözlem kümesinde yer alan karar verme birimlerinin göreli etkinlik değerlerini hesaplamaktadır. Etkinlik değerlerini yorumlayabilmek için, öncelikle amaçlanan çalışma için uygun KVB'nin ne olduğunu saptamak gerekir. Hangi karar biriminin uygun olduğu sorusu tamamen yapılacak çalışmanın amacına ya da ana temayı hangi konunun oluşturduğuna bağlıdır. Karar birimleri girdileri çıktılara dönüştürmekle sorumlu herhangi bir ekonomik birim olabilir. Ancak analize konu olacak karar birimlerinin aynı hedefe yönelik benzer işlevleri görmesi, aynı pazar şartlarında çalışması ve gruptaki bütün birimlerin verimliliklerini nitelendiren etmenlerin yoğunluk ve büyüklüklerindeki farklılıklar hariç aynı olması şartları aranır [42]. Ahn [43], iki seçim prensibi belirlemiştir:

- Her bir karar birimi kullandığı kaynaklar ve ürettiği çıktılardan sorumlu birbirim olarak tanımlanmış olmalıdır;

- Verimlilik sınır tahmini sonucunun anlamlı çıkabilmesi için örneklemde yer alan karar birimi sayısı yeterince büyük olmalıdır. Bu karar birimlerinin birbirlerine yaptıkları üretim açısından yeterince benzer olmaları aynı girdileri aynı çıktılara dönüştürmeleri ve benzer ortamlarda yer alıyor olmaları gereklidir.

VZA ile verimlilikleri ölçülüp karşılaştırılacak olan KVB'nin sayısının anlamlı ve doğru sonuçlar elde edilebilmesi bakımından belirli bir değerin üzerinde olması gerekmektedir [44]. Vassiloglou ile Giokas [45], VZA ile verimliliklerin sağlıklı olarak ölçülebilmesi için gerekli karar birimi sayısının girdi ve çıktı toplamının en az üç katı olması gerektiğini. Bowlin [46] ise her bir girdi ve çıktı basına en az üç karar biriminin seçilmesi gerektiğini söyleyerek aynı görüşü savunmuşlardır [47]. Norman ve Stoker [48], kullanılacak girdi-çıktı sayısının çokluğuna bağlı olmakla birlikte deneyimlere dayanarak bu sayının en az 20 olması gerektiği üzerinde durmaktadır. Boussofiane [49] de girdi sayısı m. çıktı sayısı da s ise en az m+s+1 tane karar biriminin araştırma sonuçlarının güvenilirliği açısından gerekli bir kısıt olduğunu belirtmiştir. Diğer yandan Boussofiane'nin değerlendirmeye alınan KVB sayısının değişken sayısının en az iki katı olması gerektiği yönünde de görüsü mevcuttur.

Girdi ve çıktıların seçimi

VZA'da kullanılan girdi ve çıktılar çalışmadaki karar birimlerini karşılaştırmanın temelini oluşturduklarından büyük bir dikkatle seçilmelidir. Her ne kadar fonksiyonel bir varsayım bulunmasa da aynı karar birimi için farklı girdi ve çıktı grupları farklı verimlilik değerleri alacağından üretim sürecine nedensel olarak bağlı girdi ve çıktıların belirlenmesi gereklidir. Bununla birlikte modele çok fazla girdi ve çıktı eklenmesi. VZA'nin verimli ve

verimsiz birimleri birbirinden ayrıştırma yeteneğini düşürmektedir. Girdi ve çıktı sayılarının artabilmesi için karar bilimlerinin sayısının da artması gerekmektedir (n = gözlem sayısı, m = girdi sayısı, p = çıktı sayısı iken n > m+p).

VZA'da değişkenler, girdi ve çıktı olarak ayrılırken KVB üzerindeki etkilerine bakılır. Retzlaff-Roberts, girdi ve çıktı değişkenleri yerine birimler üzerinde pozitif ve negatif etkili değişenler kavramının kullanılmasının daha doğru olacağını belirtmiş, artısı birimin daha iyi olarak değerlendirilmesini sağlayan değişkenlerin "pozitif etkili", düşüşü de birimin daha iyi olarak değerlendirilmesini sağlayan değişkenlerin ise "negatif etkili" olarak alınmasını önermiştir [50].

Verilerin güvenilirliği

VZA için girdi ve çıktılar tanımlandıktan sonra tüm karar birimleri için bu girdi ve çıktı verilerinin elde edilmesi gereklidir. Herhangi bir birim için güvenilir verilerin elde edilememesi durumunda hem söz konusu birimin verimlilik değeri, hem de göreli verimlilik hesaplaması nedeniyle tüm birimlerin verimlilik değerleri tartışmalı hale geleceğinden söz konusu birim çalışmadan çıkarılır.

Göreli verimliliğin ölçülmesi

Göreli verimlilik ölçümü doğrusal programlamaya dayandığından optimizasyon programlarından (GAMS; LINDO. vb.) ya da Windows altında çalışabilen özel VZA programlarından (Frontier Analyst, DEAP, Warwick DEA software, vb.) yararlanılabilir.

Verimlilik değerleri

Charnes ve Cooper'in [1] formülize ettiği üzere herhangi bir karar birimi için %100 verimlilik aşağıdaki durumlarda söz konusudur:

a) Hiçbir çıktısı aşağıdaki durumlar haricinde artırılamaz:
    i) bir ya da birden fazla girdisinin artırılması veya
    ii) diğer çıktılarından bazılarının azaltılması.
b) Hiçbir girdisi aşağıdaki durumlar haricinde azaltılamaz:
    i) çıktılardan bazılarının azaltılması veya
    ii) diğer bazı girdilerinin artırılması

Verimlilik hesaplamaları sonucunda her bir karar verme birimi için 0 ve l arasında (ya da % cinsinden 0 ile 100 arasında) bir verimlilik değeri bulunur. Verimlilik değeri 1'e (%100) eşit olan birimler "en iyi gözlem" kümesini oluştururlar. Verimlilik değeri l 'den küçük olan karar birimleri ise göreceli olarak verimsizdir. Göreceli olarak verimsiz karar birimlerinin birden sapma oranı göreli verimsizlik ölçüsünü verir.

Başvuru grupları

VZA, verimli olmayan karar birimlerinin de göreli olarak verimli birimlerin uyguladığı yönetsel ya da organizasyonel yöntemleri uygulayarak aynı verimlilik seviyesine ulaşabilecekleri varsayımı üzerine kuruludur. Bu varsayıma göre verimsiz bir KVB için aynı girdi-çıktı kombinasyonları ile daha iyi bir üretim performansı tutturulabileceğinin kanıtı verimli karar birimlerinin varlığıdır.

Literatürde, verimsiz bir karar verme biriminin başvuru grubunda yer alan birimlerle yalnızca girdi-çıktı kombinasyonu olarak değil yönetsel uygulamalar

açısından derinlemesine incelemeler yapılarak karşılaştırılması gerektiği yer almaktadır.

Verimli olmayan karar birimleri için hedef belirlenmesi

VZA'nin uygulanmasından elde edilen en büyük fayda verimli olmayan karar birimlerine performanslarım iyileştirebilmeleri için ulaşılabilir hedefler koymasıdır. Çünkü hesaplamalarla verimli birimlerin ekle edilebilir bir teknoloji kullandıkları varsayımı yapıldığından verimli birimlerin teknolojisi verimsiz birim için de ulaşılabilir kabul edilmektedir.

Hesaplamalarla elde edilen sonuçlar etkin birimlerin elde edilebilir bir teknoloji kullandıkları kabulünü içerdiğinden etkin olmayan birim için de ulaşılabilir kabul edilmektedir. Ancak pratikte bu her zaman mümkün olmaz. Etkin olmayan birimlerde fiziksel kısıtlar olabilir ya da kontrol edilemeyen girdiler olabilir. Hedeflere doğru girişilen iyileştirme çabaları sonuçsuz kalabilir. Belirlenen hedefler için göz önünde bulundurulması gereken diğer nokta etkinlik analizinin yapıldığı ve dolayısıyla hedeflerin belirlendiği tarih "t" iken hedeflere varmak için iyileştirme çalışmalarının muhtemelen "t+1" zamanında yapılacağıdır. Bu nedenle. "t" zamanındaki hedeflere bağlı kalmak etkinliğin zaman içinde sabit olduğu varsayımını yapmak anlamına gelebilir.

Sonuçların değerlendirilmesi

Karar verme birimleri detaylı olarak incelendikten sonra her bir karar verme birimi için bütün girdi ve çıktıların dikkate alındığı genel bir değerlendirmeye geçilir. VZA ile belirlenen hedeflere (verimsiz kaynak kullanımının azaltılması. vb.). karar vericilere ait çeşitli tercihler nedeni ile ulaşılamasa bile elde edilen bilginin daha sonraki çalışmalarda değerlendirilebilmesi, iyileştirmelere açık olunması anlayışı önemli kazananlardır.

VZA'nın Uygulanmasındaki Amaçlar

• Karşılaştırılan birimlerin her biri için girdi-çıktı boyutlarından herhangi birinde göreli etkinsizliğin kaynaklarının ve miktarlarının belirlenmesi.

• Etkinliğe göre birimlerin sınıflandırılması.

• Karşılaştırılan birimlerin yönetimlerinin değerlendirilmesi.

• Birimlerin kontrolleri dışındaki program ve politikaların verimliliklerini değerlendirmek ve program etkinsizliği ile yönetsel etkinsizliği ayırt etmek.
• Değerlendirme altındaki birimler için kaynakların yeniden atanması amacıyla niceliksel bir temel oluşturulması. Bu yeniden atama politikalarının genel amacı sınırlı kaynakları istenilen çıktıları üretmekte daha etkin kullanılabilecek birimler arasında değiştirmektir.

• Birimler arasındaki karşılaştırma ile doğrudan doğruya ilişkili olmayan amaçlar için etkin birimlerin ya da etkin girdi-çıktı ilişkilerinin belirlenmesi.

• Spesifik girdi-çıktı ilişkileri için yürürlükteki standartların gerçekleşen performansa göre incelenmesi ve gözden geçirilmesi.

• Önceki çalışmalardaki sonuçların karşılaştırılması.

4.4. VZA'nın Güçlü Ve Zayıf Yönleri

VZA, doğru şekilde kullanıldığı zaman çok etkin bir araçtır. VZA 'yı güçlü yapan bazı özellikler şöyle özetlenebilir [75]:

• Verimlilik analizi, istatistiksel sınır tahminleme yöntemlerinin ortaya çıkardığı ortalama fonksiyonun yerine en iyi gözlemlerce oluşturulan sınır

fonksiyonuna göre yapıldığı için belirlenen hedefler en iyi performans göstermiş birimler örnek alınarak yapılmaktadır. Bu da VZA ile yapılan verimlilik analizinin anlamını ve geçerliliğini güçlendirmektedir [37].

• VZA, çok girdi ve çok çıktıyı işleyecek yetenektedir.

• VZA, doğrusal form dışında girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz.

• VZA ile etkinlikleri hesaplanan karar birimleri göreli olarak tam etkinliğe sahip olanlarla kıyaslanır.

• Girdiler ve çıktılar çok farklı birimlere sahip olabilirler. Bu durumda onları aynı biçimde ölçebilmek için çeşitli varsayımlar kullanmaya dönüşümler yapmaya gerek yoktur.

• VZA çalışmasında gereksinim duyulan veriler ve analiz sonuçlarını içerecek detaylı bir veri tabanı yaratılabilir. Böylelikle konu ile ilgili belgeleme güçlenir. VZA ’yı avantajlı kılan bazı özellikler aynı zamanda VZA ’nın zayıflıklarının da kaynağıdır.

Söz konusu zayıflıklar şöyle özetlenebilir:

• İlgili girdi ve çıktıların üretim sürecini doğru olarak yansıtabilmesi yöntemin sağlıklı sonuçlar vermesi açısından hayatsal öneme sahiptir. Kritik bir girdi ya da çıktı inceleme dışı bırakıldığında yöntemin verdiği sonuçlar yanıltıcı ve yanlı olabilir [37].

• VZA, ekstrem nokta tekniği olarak değerlendirildiği için, ölçüm hatasına karşı çok duyarlıdır.

• VZA, karar birimlerinin performansını ölçmek açısından yeterlidir fakat bu değerlendirmenin mutlak etkinlik bazındaki yorumu ile ilgili ipucu vermez.

• Başvuru grubuna dahil olan karar verme birimlerinin diğerlerine göre üstünlüğünün göreceli olması bu birimlerinin kendi başlarında değerlendirildiğinde de gerçekten verimli olup olmadıkları hakkında bir yorum yapılabilmesini güçleştirmektedir. Bu sebeple VZA verimlilik sonuçları görecelilik çerçevesinde değerlendirilmelidir [37].

• VZA, parametrik olmayan bir teknik olduğu için, sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zordur.

• VZA, statik bir analiz şeklindedir, bir tek dönemdeki karar birimi verileri arasında bir kesit analizi yapar.

• Her karar birimi için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözümü gerektiğinden büyük boyutlu problemlerin VZA ile çözümü hesaplama açısından zaman alıcı olabilir.

4.5. VZA Yazılımları

VZA' de kullanılan yazılımları genel olarak ikiye ayırabiliriz. Paket Programlar ve Doğrusal Programlama (LP) programları [75]. Bunlar:

Paket Programlar : DEAP, Frontier Analyst, IDEAS, PASS, Warwick Windows, DEA, Pioneer, SAS/DEA, LP Programları : GAMS:General Algebraic Modelling System, LINDO. Microsoft Excel (solver tool).

4.6. Doğrusal Veri Zarflama Analizi Programı: Primal Formülasyon

Etkinlik değerlerinin hesaplanmasında Bölüm 4.2.'de gösterilen Eş.4.1 ve Eş.4.2'deki gibi kesirli formülasyon kullanılmamaktadır. Çünkü bu formülasyonun doğrusal olma ve konveks olma gerekliliklerini karşılamayan yönleri bulunmaktadır. Charnes ve Cooper bu kesirli formülasyonu olağan doğrusal bir programa dönüştürebilmek için bir transformasyondan faydalanmayı denemişlerdir [51,52].

Buna göre. Eş.4.1'deki kesirli program doğrusal programlama metodlarının uygulanabilmesi için dönüştürülür: Amaç fonksiyonundaki kesiri maksimize etmek için pay ve paydanın bireysel değerleri değil pay ve paydanın birbirlerine göre değerleri önemlidir. Aynı etkiyi yakalamak paydanın bir sabite eşitlenerek yalnızca payın maksimize edilmesiyle mümkündür. "p" karar birimi için doğrusal program kesirli fonksiyondaki amaç fonksiyonun paydasını "1"e eşitlemek suretiyle elde edilir:

$$\text{MAX } u_i, v_k \quad \sum_{i=1}^{t} u_i y_{ip}$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{i=1}^{t} u_i y_{ic} \leq \sum_{k=1}^{m} v_k x_{kc}$$

$$c=1,\ldots,N$$

$$\sum_{k=1}^{m} v_k x_{kp} = 1$$

u_i. v_k >0 tüm i ve k'lar için.

Modeldeki u_i. v_k değerleri girdi ve çıktılar üzerindeki ağırlıklardır ve problemin değişkenlerini oluştururlar. Yukarıdaki model doğrusaldır ve girdilerin ağırlıklı toplamını "1" ile kısıtlayıp. u_i ve v_k için uygun değerler seçerek. "p" karar biriminin ağırlıklı çıktı toplamını maksimize eder. Kesirli fonksiyonda bulunan "1"den küçüktür kısıtları birincil doğrusal programda da mevcuttur. Böylece verimlilik değeri "1"i aşamaz.

Benzer bir doğrusal program. "p" karar birimi için ağırlıklı girdiler minimize edilerek ve ağırlıklı çıktılar "1"e eşitlenerek elde edilir:

$$\text{MIN } v_k, u_i \quad \sum_{k=1}^{m} v_k x_{kp}$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{k=1}^{m} v_k x_{kc} \geq \sum_{i=1}^{t} u_i y_{ic}$$

$$c=1,\ldots,N$$

$$\sum_{i=1}^{t} u_i y_{ic} = 1, \quad u_i, v_k > 0, \quad \text{tüm i ve k'lar için}$$

ui.vk >0, tüm i ve k'lar için

Görüldüğü üzere primal formülasyondaki girdi ve çıktı ağırlıkları (u_i ve v_k) pozitiflik kısıtına sahipken olağan doğrusal programlarda yalnızca negatif olmama kısıtları vardır. VZA'deki bu katı pozitif olma kısıtı, Charnes, Cooper

ve Rhodes [1] tarafından modele konulmuştur [53]. Böylece girdi ve çıktı ağırlıklarını aşağıdaki şekilde kısıtlamışlardır:

$$v_k > \varepsilon \text{ , } k = 1,\ldots, m$$
$$u_i > \varepsilon \text{ , } i = 1,\ldots, t$$

Burada "ε" ihmal edilebilir denli küçük bir değer veya non-Archimedean sabiti olarak anılan ve genellikle 10-5 veya 10-6 düzeyinde kullanılan bir değerdir. Lewin ve Morey [54], ağırlıklar üzerindeki pozitiflik kısıtını "alt sınır kısıtları" olarak adlandırmaktadırlar.

4.7. Doğrusal Veri Zarflama Analizi Programı: Dual Formülasyon

Herhangi bir doğrusal program için aynı verileri kullanan ortak bir doğrusal program formüle etmek mümkündür. Orijinal, yani primal [birincil] program ya da dual [ikincil] programın çözümü modellenen problem hakkında aynı bilgiyi verir. VZA doğrusal programı da buna bir istisna oluşturmaz. Eş.4.4 ve Eş.4.6'daki formülasyonlar doğrusal programlardır. Etkinlik değerinin hesaplanmasında, VZA, bu doğrusal programların dualini kullanır. Eş.4.4'deki denklemin duali, gerçek etkinlik sınırın parçalı doğrusal bir yaklaşımı, m tane girdinin miktarlarını, t tane çıktının miktar seviyesini karşılamak için minimize ederek kurar. Yani:

$$\text{Min } \lambda_c \qquad h_p - \varepsilon\left(\sum_{k=1}^{m} s_k + \sum_{i=1}^{t} s_i\right)$$

aşağıdaki kısıtlar altında:

$$x_{kp}h_p - s_k = \sum_{c=1}^{N} x_{kc}\lambda_c \qquad k=1,\ldots,m$$

$$y_{ip}s_i = \sum_{c=1}^{N} y_{ic}\lambda_c \qquad i=1,\ldots,t$$

$$\lambda_c \geq 0 \qquad c=1,\ldots,N \text{ (birimlerdeki ağırlıklar)}$$

$$s_k \geq 0 \qquad k=1,\ldots,m \text{ (girdi aylak değişkenleri)}$$

$$s_i \geq 0 \qquad i=1,\ldots,t \text{ (çıktı aylak değişkenleri)}$$

Modeldeki h_p isaretçe kısıtsız olup, ε ihmal edilebilir büyüklükte bir sabittir. Bu sayı. Charnes ve Cooper'in [55] primal denklemde kullandıkları sabitin benzeridir.

Dual program, primal program kadar sade ve düzenli görünmese de yorumu oldukça basittir: "p" karar verme birimi ancak ve ancak verimlilik oranı hp*"1"e ve tüm aylak değişkenler sıfıra eşit ise göreli olarak verimli demektir.

$$h_p^* = 1 \text{ ve } S_k^* = S_i^* = 0$$

tüm k ve i'ler için.

Yukarıdaki yıldız işareti, değişkenlerin dual program içindeki optimal değerlerini göstermektedir. Eş.4.11'deki etkinlik koşulları gerçekleştiğinde, söz konusu KVB'nin etkinlik sınırı üzerinde yer alması gereklidir. Bu durumdaki KVB'leri etkin olmayan birimlere göre. "baskın" veya "en iyi gözlem"in bir tanımı olarak düşünülmelidir. Görüldüğü üzere dual program girdi veya çıktı üzerindeki ağırlıklar yerine KVB'leri üzerindeki ağırlıkları (λ_c) hesaplamaktadır. Ayrıca dual programdaki ağırlıklar sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olmalıdır. Hesaplamada, dual program primale göre daha kolay işlenir

özelliktedir. Birincil programda kısıtlar tüm "N" KVB'leri üzerinde odaklanmıştır. Bunun aksine dual programda kısıtlar girdi, çıktı ve KVB'lerindeki toplamlar üzerindedir. Girdi ve çıktı sayıları hiçbir zaman KVB sayısını aşmaz. Simplex metodun hesaplama verimliliği kısıt kümesi büyüdükçe düşmektedir. Dual program, girdi ve çıktılar üzerindeki (m+t) kısıt sayısı ile. "N" tane KVB üzerindeki N tane kısıt taşıyan programa, hesaplamada kolaylık açısından tercih edilmektedir.

Es. 3.6'daki denklemin çıktı maksimizasyon duali ise;

$$\text{Max } \lambda_c \qquad f_p + \varepsilon\left(\sum_{k=1}^{m} s_k + \sum_{i=1}^{t} s_i\right)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$f_p y_{ip} + s_i = \sum_{c=1}^{N} \lambda_c y_{ic} \qquad i=1,\ldots,t$$

$$x_{kp} - s_k = \sum_{c=1}^{N} \lambda_c x_{kc} \qquad k=1,\ldots,m \qquad \text{ve,}$$

$\lambda_c \geq 0$, c=1,…,N (birim ağırlıkları)

$s_k \geq 0$, k=1,…,m (girdi aylak değişkenleri)

$s_i \geq 0$, i=1,…,t (çıktı aylak değişkenleri)

biçimindedir.

Burada da fp işaretçe kısıtsızdır ve "p" karar biriminin çıktı etkinliği, veri bir girdi kümesi için hesaplanmaktadır. Görüldüğü üzere dönüşüm sonucu elde edilen doğrusal formülasyon "çıktı maksimizasyonu" veya "girdi minimizasyonu" için kullanılabilmektedir. Bunlardan ilki bir karar birimi için

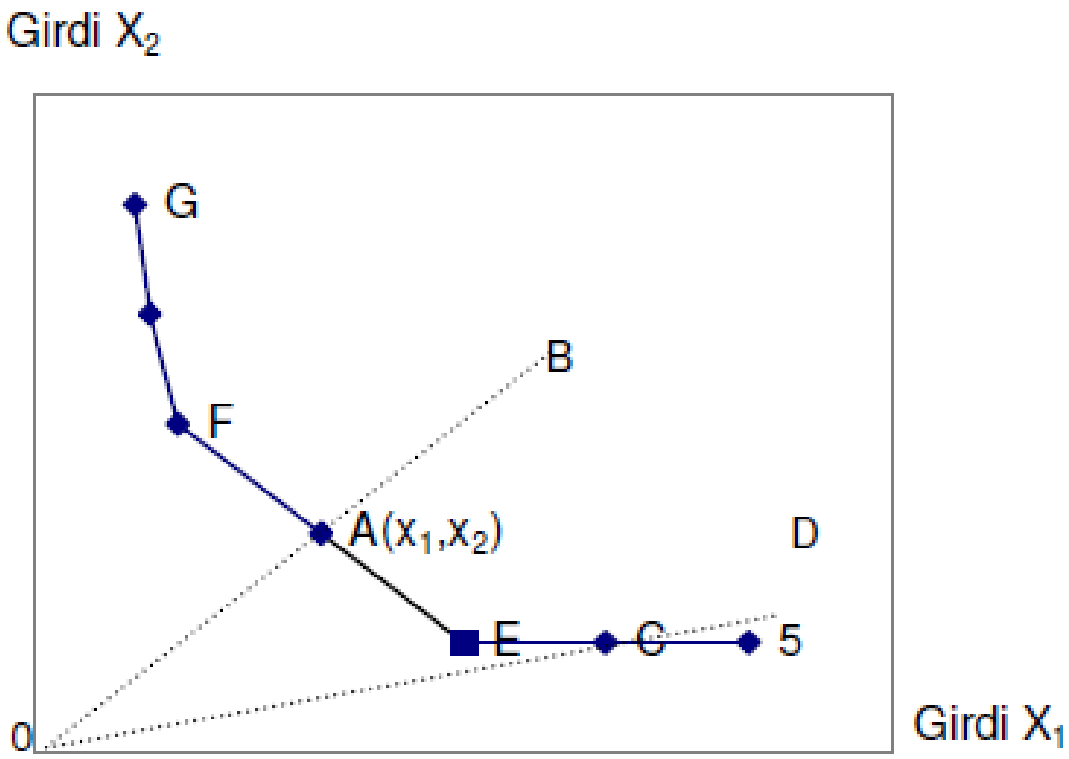
çıktı verimliliğini ikincisi ise girdi verimliliğini hesaplar. Tüm doğrusal programlarda olduğu gibi her iki formülün de primal ve dual olmak üzere iki bileşeni bulunur.

4.8. Veri Zarflama Analizinde Toplam Etkinlik

4.8.1.Teknik etkinlik

Örneklememizin altında yatan üretim teknolojisi, bir dizi kesişen doğrusal parçadan kuruludur. Bu parçalardan her biri dual programın optimal çözümündeki kısıtlardan birini simgelemektedir. Doğrusal parçalar bir araya geldiklerinde kapalı konveks bir üretim kümesi oluştururlar.

Bir karar birimi, eğer bir başka karar birimi veya karar birimlerinin doğrusal bileşimi eşit miktarda çıktıyı en az bir girdiyi daha az kullanarak üretmiyor ise teknik verimliliğe sahiptir. Bu tanım, Eş.4.11’deki etkinlik koşullarıyla denklik göstermektedir. Tekrarlamak gerekirse. "p" karar birimi verimlilik oranı "1"e ve tüm aylak değişkenleri "0"a eşitse verimlidir.



Şekil 4.4. Etkinlik sınırı (girdi minimizasyonu)

Şekil 4.4, tek bir çıktı üretirken iki girdi kullanan (x1 ve x2) 5 KVB'ne (B. D. E. F.G) dayanan varsayımsal bir etkinlik sınırını göstermektedir. G. F ve E sınır üzerinde yer almaktadır ve "en iyi gözlem" kümesini oluşturmaktadırlar. Bu da başka herhangi bir KVB veya KVB'lerinin doğrusal bileşimi aynı seviyede çıktıyı girdilerden birini veya ikisini de daha az kullanarak üretmiyor demektir. Bahsedilen bu karar birimlerinin (G, F, E) etkinlik oranları "1"e eşittir ve dualin çözümünde tüm aylak değişkenleri sıfırdır. B ve D karar birimleri sınır performansla göreli olarak etkin değildir. Çünkü aynı düzeydeki çıktıyı girdilerden en az birini daha az kullanarak üretebilen bir KVB veya bir KVB'leri bileşimi bulmak mümkündür. Örneğin B karar birimi için etkinlik oranı 1'den küçüktür. Bu oran merkeze olan uzaklık esas alınarak OA/OB biçiminde ifade edilmektedir. Oranın 1'den küçük olması E ve F karar birimlerinin doğrusal kombinasyonunun en az B karar biriminin ürettiği kadar

çıktıyı. x1 ve x2'yi daha az kullanarak üretebildiklerini gösterir. Etkinlik oranı. B karar birimi için sınır üzerinde bir hedef tespit etmek için kullanılabilir. Bu hedef B karar biriminin fiili performansını en iyi gözlemi oluşturan karar birimlerinin gerisinde kalmayacak şekilde iyileştirmesini sağlayacaktır ((OA/OB)-OB=OA). Kavramsal olarak. OB vektöründe tanımlanan girdi tüketimi, yukarıda verilen etkinlik göstergeleri yardımıyla OA hedef vektörüne uydurulabilir. Hedefin belirttiği. B karar birimindeki girdi tüketiminin, aynı çıktı seviyesi korunmak suretiyle Şekil 4.4'deki x_1 ve x_2'ye çekilebileceğidir. Literatürde [56-58] bu gibi hedeflere ulaşmada benzer grupların performanslarının incelenmesinin faydalı olacağı vurgulanmaktadır. Şekil 4.4'deki örnekte B karar biriminin referans grubunu E ve F karar birimleri oluşturmaktadır. Bu birimler en az B kadar çıktıyı daha az girdi tüketerek üretebildiklerine göre etkin olmayan karar biriminin (burada B karar birimi) performansını iyileştirmede örnek alabileceği düşünülür. Referans grubundaki karar birimleri dual programın optimal çözümünde ağırlıkları sıfırdan büyük olan birimlerdir. B karar birimi için çözüm:

$$h_B^* = OA/AB < 1$$

Kısıtlar,

Girdi 1 için; $x_{1B}h_B^* - 0 = x_{1E}.\lambda_E^* + x_{1F}.\lambda_F^*$

Girdi 2 için; $x_{2B}h_B^* - 0 = x_{2E}.\lambda_E^* + x_{2F}.\lambda_F^*$

Çıktı için; $y_{1B} + 0 = y_{1E}\lambda_E^* + y_{1F}\lambda_F^*$

şeklindedir. Bu KVB için hedef performans $x_{1B}h_B^*$ (i=1.2) ve E ve F KVB'lerindeki performansın doğrusal bir kombinasyonudur. λ_E^* . $\lambda_F^*>0$ (E ve F KVB'ler üzerindeki ağırlıklar) iken diğer KVB'leri üzerindeki ağırlıklar sıfırdır.

Görüldüğü üzere dual programda girdi ve çıktılar üzerinde kısıtlar mevcuttur. Girdi kısıtları girdilerde etkinlik oranı (hp^*) tarafından verilen radyal (veya eşit orantılı) bir büzülme ve sıfırdan büyük girdi aylak değişkenleri tarafından verilen ek azalmaları tanımlarlar. Girdi minimizasyonu dual programında. çıktı üzerindeki kısıtlar eşit-orantılı bir çıktı düzenlemesi gerektirmezler ve ancak optimal çıktı aylak değişkenleri. si*. (i = 1……. t) sıfırdan farklı ise önem arz ederler. B karar birimi için tüm girdi ve çıktı aylak değişkenleri sıfıra eşittir. Ancak D karar birimi girdi x1 için sıfırdan büyük bir aylak değişkene sahiptir. D için etkinlik oranı OC/OD olup her iki girdi için de eşit-orantılı bir azalma gerektirmektedir. Ancak C noktasına aktığımızda E karar biriminin aynı miktar çıktıyı daha az x1 ve aynı miktarda x2 ile ürettiğini görürüz. Dolayısıyla D karar birimi x1 tüketimini C noktasından E noktasına olan yatay uzaklık miktarı kadar azaltmadığı takdirde tam (göreceli olarak) etkin olamayacaktır. C ve E karar birimleri arasındaki bu uzaklık (x1 kullanımındaki miktar farkı). D karar birimi için dual programda sıfırdan farklı bir s1* aylak değişkeni ile ifade edilmektedir :

$h_D^*=OC/OD$

Kısıtlar,

Girdi 1 için; $x_{1D}.h_D^*-s_1^* = x_{1E}.\lambda_E^*$

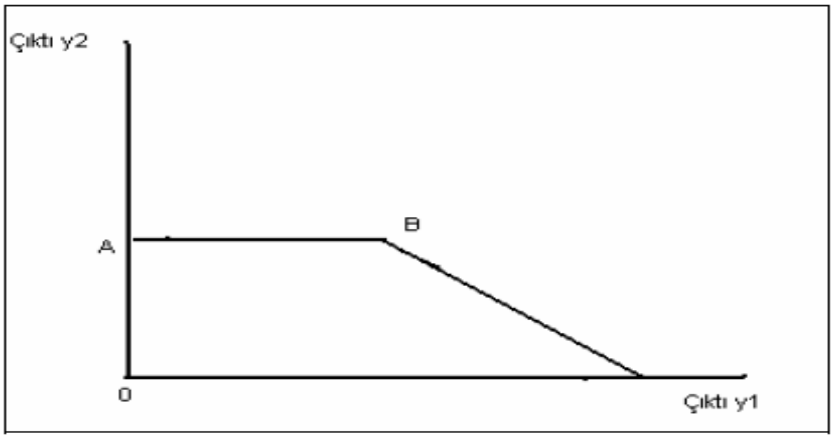
Girdi 2 için; $x_{2D}.h_D^*-0 = x_{2E}.\lambda_E^*$

Çıktı için; $y_{1B}+0 = y_{1E}\lambda_E^* + y_{1F}\lambda_F^*$

D karar birimi için hedef. h_D^* ile verilen. her iki girdide de radyal bir büzülme (contraction) ayrıca s1* aylak değişkeni ile verilen. x1 girdisinde ek bir azaltma ile tanımlanmaktadır. Gerekli büzülme ve ek azaltma ile D karar birimi hedef performansa ulaşabilir. Referans grubunda yalnızca E karar birimi vardır. Çünkü hedef performansı bu "en iyi gözlem" karar biriminde

gözlemlenen performans ile tam olarak çakışmaktadır ($\lambda_E^* = 1$ ve $\lambda_C^* = 0$. $c \neq E$).

Şekil 4.5'de bir çıktı yüzeyi görülmektedir. Burada parçalı bir doğrusallık vardır ve her bir parça dual programdaki bir çıktı kısıtının varlığını gösterir. Dual programda A karar birimi için çözüm yukarıda anlatıldığı gibidir. Ancak burada çıktılar üzerinde iki kısıt bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Etkinlik sınırı (çıktı maksimizasyonu)

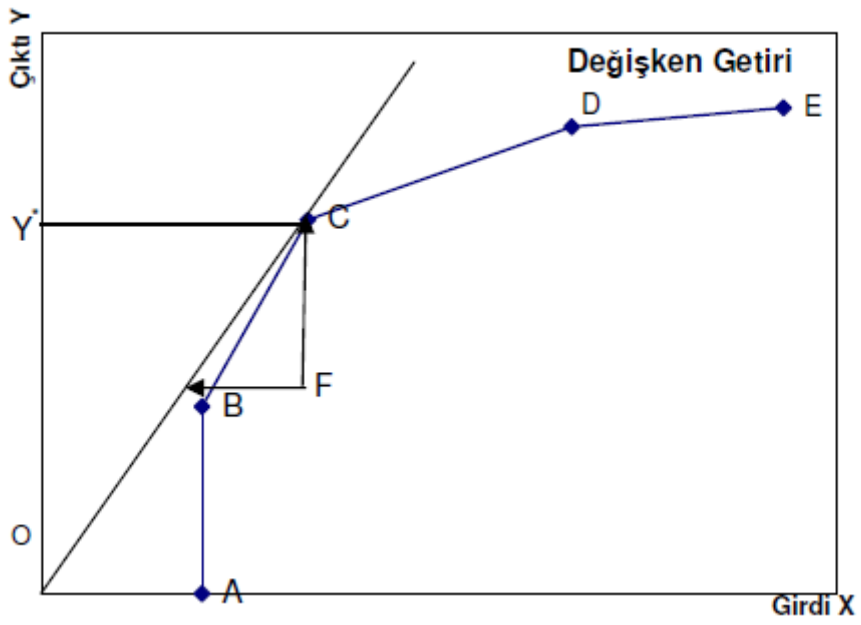
Çıktı 1: $y_{1A} + s_1^* = y_{1B} . \lambda_B^*$

Çıktı 2: $y_{2A} + 0 = y_{2B} . \lambda_B^*$

y_2 üzerindeki aylak değişken sıfırdır, yani $s_2^* = 0$'dır. Ancak y_1 üzerindeki aylak değişken pozitiftir ($s1^*>0$). Şekil 4.2'de A karar verme birimi, B karar verme birimi kadar y_2 üretebilirken. B'den daha az y_1 üretebilmektedir. y_1 üzerindeki aylak değişken, A karar verme birimi, B karar verme birimi tarafından belirlenen standarda ulaşabilmek için y_1 çıktısını ne kadar arttırması gerektiğini göstermektedir. Bu miktar AB yatay uzaklığına eşittir: $AB = s_1^*$.

4.8.2. Ölçek etkinliği

Parametresiz yaklaşımın ilk uygulamaları ölçeğe göre sabit getirili üretim varsayımından yola çıkan doğrusal programlamalar olmuştur. Ancak, birçok ekonomist bu varsayımları fazla kısıtlayıcı bulduklarından. VZA yerine alternatif istatistiksel yöntemler kullanmayı tercih etmişlerdir. Ancak, Banker ve Thrall'ın [56]; Fare, Grosskopf ve Lovell'in [57]; Banker [58]; Banker. Charnes ve Cooper'ın [52] ve Banker, Charnes, Cooper ve Schinnar'ın [59] tarihli çalışmaları bu doğrusal programlama yaklaşımını daha geniş referans teknolojilerini kapsayacak şekilde geliştirerek daha geniş uygulama alanı kazandırmışlardır. VZA ölçek etkinliği konusunda da bilgi üretebilen bir tekniktir. Eğer ağırlıklar toplamı 1'e eşit olacak şekilde kısıtlanırsa ($\lambda_c^*=1$) etkinlik sınırı ölçeğe göre azalan artan ve sabit getirileri içerecek şekilde bir değişken getirili özelliğe sahip olabilmektedir. Buna göre bir karar biriminin teknik etkinliğini koruması şartı ile ölçeğindeki artış toplam etkinliğini artırıyorsa bu karar birimi için ölçeğe göre artan getiri toplam etkinliğini azaltıyorsa ölçeğe göre azalan getiri vardır (variable return to scale-VRS). Diğer yandan bir karar biriminin teknik etkinliğini koruması şartıyla ölçeğindeki artış ya da azalış toplam etkinliğini değiştirmiyorsa bu karar birimi için ölçeğe göre sabit getiri (constant return to scale-CRS) vardır denir. Şekil 4.5'de artan ve azalan ölçeğe göre getiri mümkün olduğundan etkinlik sınırı üzerinde ölçek etkinliğine sahip olmayan karar birimleri de bulunabilmektedir. Örneğin B karar birimi (ölçeğe göre artan getirili). D karar birimi ve E karar birimi (ölçeğe göre azalan getirili) ölçek etkinliğine sahip olmasalar dahi verili ölçeğe göre teknik verimliliğe sahiptirler. Sonuç olarak elde edilen etkinlik sınırı parçalı doğrusal bir niteliğe sahip olan ABCDE sınırıdır.



Şekil 4.6. Ölçeğe göre değişen getiri

Her bir parçada ölçeğe göre değişmekte ve her bir parça dual programın bir kısıtının çözümüne denk düşmektedir. Ölçek etkinliğine sahip karar birimine (C) göre daha düşük girdi-çıktı kombinasyonu seviyelerinde, yani BC doğru parçası boyunca, ölçeğe göre artan getiri vardır; daha yüksek çıktı-girdi kombinasyonlarında ise ölçeğe göre azalan getiri görülmektedir. Ölçek etkinliğine sahip olan karar birimi C ise hem değişken getirili hem de sabit getirili etkinlik sınırları üzerinde bulunmakta ve gerçekte bunların kesiminde yer almaktadır.

Şekil 4.6'deki gözlem kümesinden hareketle ölçeğe göre sabit getiri varsayımı yapılırsa 0 ile C noktasından geçen doğru parçası teknik etkinlik sınırını oluşturacaktır. Buna göre, ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında etkin görünen ve etkinlik sınırında bulunan B ve D noktaları ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında etkin olmayan görünmektedir.

Ölçek etkinliği CRS etkinlik skoru ile VRS etkinlik skoru arasındaki aralığın ölçümünü yapmaktadır. Herhangi bir KVB için ölçek etkinliği VRS

varsayımlarına göre elde edilen etkinlik skorunun CRS etkinlik skoruna bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Ölçek etkinlik skorunun 1'den küçük olması ölçek etkinsizliğine 1'e eşit olması aynı zamanda CRS etkinlik skoru ile VRS etkinlik skorunun 1'e eşit olması durumunda karar biriminin ölçek etkin olduğunu gösterir. Böylece yukarıdaki şekilde bulunan karar birimlerinden B ve D teknik olarak etkin ancak ölçek açısından etkin değildir. Burada yalnızca C karar birimi ölçek etkinliğe sahiptir [60]. Doğrusal programlama modelinde karar birimleri üzerindeki ağırlıkları 1'e eşitleyen kısıt etkinlik sınırının "en iyi gözlem"in çoklu doğrusal kombinasyonlarından oluşmasına ve göreli etkinliğin daha az katı bir şekilde tanımlanmasına olanak tanır. Çünkü bu kez ölçeğe göre artan ve azalan durumlar da modelin içinde yani etkinlik sınırında yer alır. Genel olarak ölçeğe göre sabit getiri durumunda etkinlik karşılaştırması ortaya performansın daha düşük olduğu bir resim çıkarır. Çünkü bir karar biriminin "1" etkinlik değerine ulaşabilmesi için hem teknik etkinliğe hem de ölçek etkinliğine sahip olması gerekmektedir. Ölçeğe göre değişen getiri durumunda ise ölçek etkinliği olmayan bir birim eğer teknik etkinliğe sahipse "en iyi gözlem" olarak sınır üzerinde yer alabilir [61]. Dolayısıyla aynı karar birimi için teknik etkinlik ölçüsünün ölçeğe göre sabit getiri durumunda ölçeğe göre değişen getiri durumuna kıyasla daha düşük olduğu söylenebilir.

4.9. Window (Pencere) Analizi

VZA'daki birçok gelişme VZA'nın analitik etkinliğini arttırmaktadır. VZA'ya "pencere analizi" kavramı girilerek, VZA'nın her bir KVB'nin performansını her aşamada (zaman içinde) izlemesi mümkün hale getirilmektedir. Pencere analizi, bir çeşit hareketli ortalama yaklaşımını yansıtmak için her bir analiz için değişen, zamana bağlı KVB içeren analiz serisinden meydana gelmektedir. Performansın zaman içinde izlenmesi, KVB'lerin farklı zaman dilimlerinde değerlendirilmeleri ile yapılmaktadır [62].

Örneğin ilk analiz, birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü üç aylık işlemlere ilişkin verilerden meydana gelebilir. Üçüncü analiz ise, bir yıldan üçüncü ve dördüncü üç aylık verileri ve bir sonraki yıl için birinci üç aylık veriyi içerebilir. Böylece her bir analiz, ayrı etkinlik dereceleriyle sonuçlanan, yeni ve farklı bir KVB setine sahip olmaktadır. Üç aylık verilerin bu tarzda kullanılması sadece KVB'lerin sayısını artırmakla kalmaz, aynı zamanda, KVB'lerinin kümesi değiştikçe, her bir KVB için etkinlik derecelerinin güvenirliliğinin çalışılması için bir pencere yaratır. Eğilimler ve zamana bağımlı davranışların diğer tipleri için yapılacak çalışmalarda kullanılacak başka bilgilere de ulaşılabilir [63].

Ancak pencere analizi her bir zaman dilimi için tanımlanan bir KVB'nin analizde kullanılmasını gerektirdiğinden hesaplamaların sayısı oldukça artırmaktadır. Thanassoulis ve Dyson (1992) [64], alternatif girdi-çıktı hedef seviyelerinin tahmininde kullanılmak ve göreceli olarak etkin olmayan organizasyonel birimlerin etkin hale getirilmesine yardımcı olmak üzere çeşitli VZA temelli modeller geliştirmişlerdir [62].

5. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ETKİNLİK ANALİZİ

5.1. Materyal

Bu bölümde ilk olarak literatürde üretim teknolojilerinde kullanılan bir yöntem olarak VZA, hidroelektrik santrallerin göreceli performanslarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Türkiye'de verilerine tam olarak ulaşılabilen hidroelektrik santrallerin %56,3 değerine karşılık gelen 10 adet hidroelektrik santralin dikkate alınarak net üretim ve birim üretim başına maliyet etkinlikleri yapılmıştır. VZA Modellerinden CCR (CRS) ve BCC (VRS) modelleri uygulanmak suretiyle bir kesit analizi yapılarak ve etkinlik skor değerleri sıralanmıştır. Hidroelektrik santrallerin etkinliğini belirlemede farklı girdi ve çıktı değişkenleri dikkate alınan 2 farklı etkinlik modeli kurulmuştur. Bu modeller Çizelge 5.1'de belirtilen girdi ve çıktı değerlerine göre modellenmiştir.

Buradaki amaç;

Model 1: Net üretimi çıktı düşünen ve temel üretim değişkenlerini girdi alan etkinliğin belirlenmesi

Model 2: Birim üretim başına maliyeti çıktı düşünen ve temel üretim ve maliyet değişkenlerini girdi alan etkinliğin belirlenmesi

Bu çalışmada Model 1 için yani net üretim etkinliği için çıktı yönlü VZA ile, Model 2 ise yani birim enerji üretim maliyeti ise girdi yönlü VZA ile analiz edilmiştir.

Çizelge 5.1. Analizde kullanılan girdi-çıktı değişkenler

Variables	MODEL 1 (Input/Output)	MODEL 2 (Input/Output)
Kapasite Kullanım faktörü (%) (CUF)	I (Kontrol edilemeyen)	
Kurulu güç (IC) (MW)	I	
Baraj rezervuarında toplanan su (m^3)	I (Kontrol edilemeyen)	I (Kontrol edilemeyen)
Net üretim (kWh)	O	
Enerji maliyeti (TL/GWh)		O
Brüt üretim (kWh)		I
İşletme maliyeti (TL)		I

Dolayısıyla;

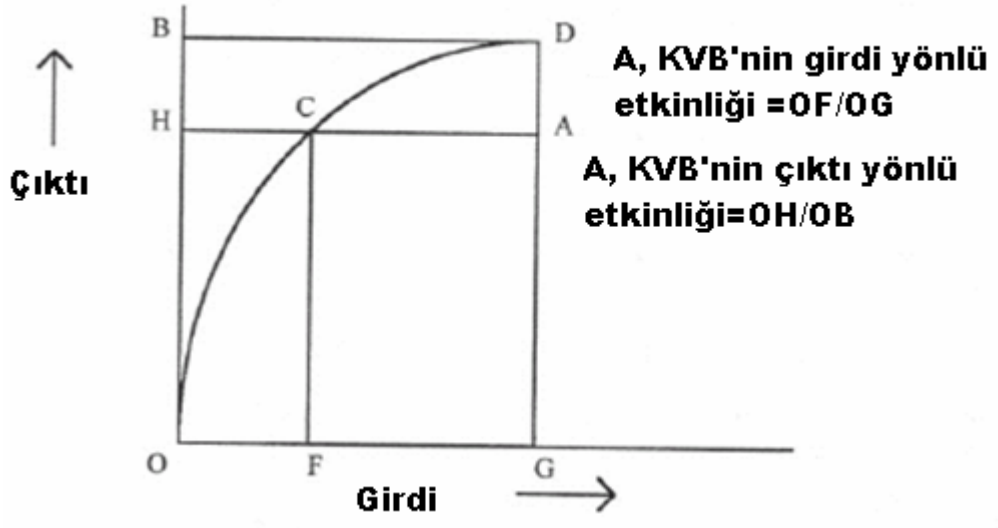
Girdiye yönelik verimlilik; sabit bir çıktı düzeyi verilmişken. %100 verimli olmayan karar birimlerinin (santrallerin) girdilerini (kaynaklarını) ne oranda daha az kullandıkları takdirde %100 verimli olacaklarının ölçüsüdür.

Çıktıya yönelik verimlilik; sabit bir girdi düzeyi verilmişken %100 verimli olmayan karar birimlerinin %100 verimli olabilmeleri için ne kadar oranda daha fazla çıktı üretmeleri gerektiğinin ölçüsüdür.

Girdiye yönelik yaklaşımda, eğer bir karar birimine ait herhangi bir girdi miktarının azaltılması o karar birimine ait başka bir girdi miktarı artırılmadan ve/veya çıktılardan birinin miktarı azaltılmadan mümkün olamıyor ise bu karar birimi *pareto-verimli* sayılır.

Çıktıya yönelik yaklaşımda, eğer bir karar birimine ait herhangi bir çıktı miktarının artırılması o karar birimine ait başka bir çıktı miktarı azaltılmadan ve/veya girdilerden birinin miktarı artırılmadan mümkün olamıyor ise bu karar birimi *pareto-verimli* sayılır.

Girdi ve çıktıya yönelik hesaplanan verimlilik değerlerinin şekil üzerinde gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Girdiye ve çıktıya göre verimlilik

Burada kullanılan girdiye yönelik verimlilik hesabında ise hem CRS (Ölçeğe göre sabit getiri) modeli hem de VRS (ölçeğe göre azalan/artan getiri) modeli kullanılmıştır. Bu modellere göre ise;

Ölçeğe göre *Sabit* Getiri (CRS)

- Burada, girdi vektöründeki herhangi bir *radyal* artış çıktı vektöründe aynı oranda bir radyal artışa neden olmaktadır.
- *Radyal artış*: bütün girdi bileşenlerinin aynı oranda artışı demektir.

Ölçeğe göre *Değişen/Azalan/Artan* Getiri (VRS, DRS, IRS)

Ölçeğe Göre Değişen Getiri

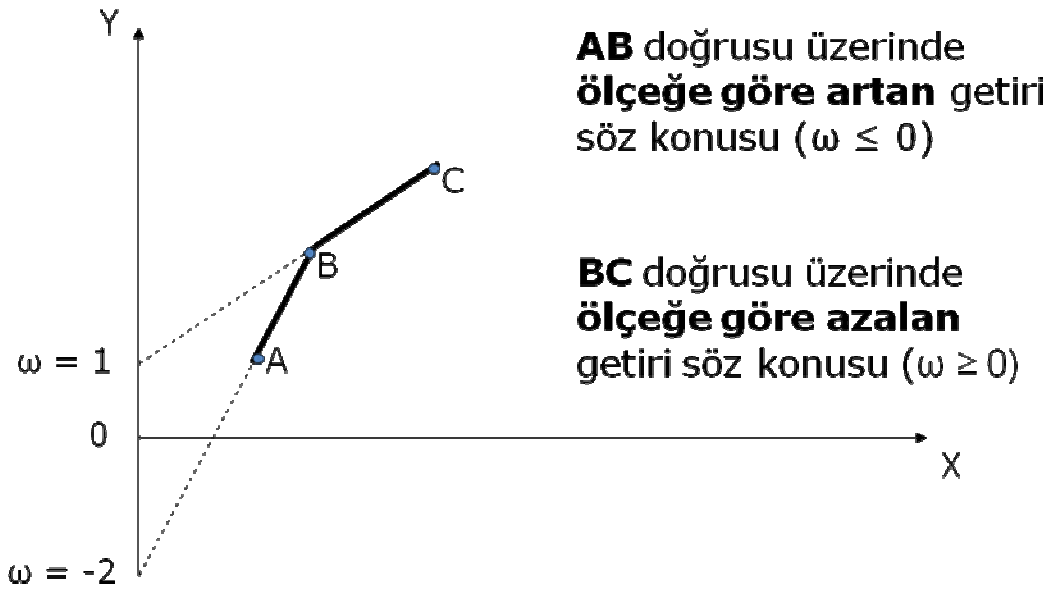
- Ölçeğe göre hem artan hem azalan hem de sabit getiri olabileceği anlamına gelir.

Ölçeğe Göre Azalan Getiri

- Girdi vektöründeki herhangi bir *radyal* artış çıktı vektöründe *daha küçük* oranda bir radyal artışa neden olmaktadır.

Ölçeğe Göre Artan Getiri

Girdi vektöründeki herhangi bir *radyal* artış çıktı vektöründe *daha büyük* oranda bir radyal artışa neden olmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Ölçeğe göre değişken model

Ölçek etkinliği CRS etkinlik skoru ile VRS etkinlik skoru arasındaki aralığın ölçümünü yapmaktadır. Herhangi bir KVB için ölçek etkinliği VRS varsayımlarına göre elde edilen etkinlik skorunun CRS etkinlik skoruna bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Ölçek etkinlik skorunun 1'den küçük olması ölçek etkinsizliğine 1'e eşit olması aynı zamanda CRS etkinlik skoru ile VRS etkinlik skorunun 1'e eşit olması durumunda karar biriminin ölçek etkin

olduğunu gösterir. Böylece yukarıdaki şekilde bulunan karar birimlerinden B ve D teknik olarak etkin ancak ölçek açısından etkin değildir. Burada yalnızca C karar birimi ölçek etkinliğe sahiptir [65]. Doğrusal programlama modelinde karar birimleri üzerindeki ağırlıkları 1'e eşitleyen kısıt etkinlik sınırının "en iyi gözlem"in çoklu doğrusal kombinasyonlarından oluşmasına ve göreli etkinliğin daha az katı bir şekilde tanımlanmasına olanak tanır. Çünkü bu kez ölçeğe göre artan ve azalan durumlar da modelin içinde yani etkinlik sınırında yer alır. Genel olarak ölçeğe göre sabit getiri durumunda etkinlik karşılaştırması ortaya performansın daha düşük olduğu bir resim çıkarır. Çünkü bir karar biriminin "1" etkinlik değerine ulaşabilmesi için hem teknik etkinliğe hem de ölçek etkinliğine sahip olması gerekmektedir. Ölçeğe göre değişen getiri durumunda ise ölçek etkinliği olmayan bir birim eğer teknik etkinliğe sahipse "en iyi gözlem" olarak sınır üzerinde yer alabilir [66]. Dolayısıyla aynı karar birimi için teknik etkinlik ölçüsünün ölçeğe göre sabit getiri durumunda ölçeğe göre değişen getiri durumuna kıyasla daha düşük olduğu söylenebilir.

Kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerin kısa tanımları aşağıdaki gibidir:

Kapasite kullanım faktörü (%): Hidroelektrik santralin çalışma süresi boyunca üretiminin krulu gücünde üretebileceği maksimum üretime oranıdır.

Kurulu güç (MW): Hidroelektrik santralin maksimum üretim kapasitesidir.Maksimum kapasitede işletim esnasında bütün türbünlerin üretebileceği maksimum kapasitedir.

Baraj gölünde toplanan su (m^3): Elektrik üretimi için baraj gölünde (rezervuar) biriken su miktarı

Net Üretim (GWh): Brüt üretimden kendi kullandığı enerji miktarının çıkarılmasıyla elde edilen net üretimdir.

Brüt üretim (GWh): Yıl boyunca türbinlerden çekilen güç.

İşletme maliyeti (TL): Bakım onarım, tamir, işçilik, personel giderleri vb. (Yatırım maliyeti hariç) olmak üzere yıl boyunca gerçekleşen harcamalar.

Enerji Maliyeti/Gerçekleşen üretim (Y): Birim üretim başına enerji maliyeti

Seçilen Değişkenler arasında baraj gölünde toplanan su miktarı 106'ya bölünerek normalize edilmiştir. Bazı değişkenler (Çizelge 5.1) control edilemeyen değişken olarak dikkate alınmıştır.

5.2. Net Üretim Etkinliği (Model 1) Analiz Sonuçları:

Net üretim etkinliği çıktı yönlü olarak verimliliği ölçer yani sabit bir girdi düzeyi verilmişken %100 verimli olmayan karar birimlerinin %100 verimli olabilmeleri için ne kadar oranda daha fazla çıktı üretmeleri gerektiğinin ölçüsüdür. Dolayısıyla KVB'nin çıktı (net üretiminin) miktarının artırılması o karar birimine ait girdi değişkenlerini sabit tutularak maksimum çıktı (üretim) hedefini ölçer. Ayrıca her model için hem CRS hem de VRS etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Yani CRS modelinde girdi miktarının birim oranda arttırılmasını çıktıyı aynı oranda etkileyip etkilemediği tespit edilir. VRS modelinde ise girdi ve çıktı değişkenleri değişen olarak dikkate alınır.

Net üretimin çıktı olarak düşünüldüğü ve hidroelektrik santrallerin temel üretim değişkenlerini girdi olarak ele alan Model 1 analiz sonuçlarına göre santrallerin hem CRS hem de VRS etkinlikleri sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4'de verilmiştir.

Model 1 için çıktı yönlü VZA analizi yapılarak mevcut girdileri ile maksimum üretimin yapılmasını sağlayan KVB belirlendi. Çıktı yönlü model ile bulunan

etkinlik skoru 1 veya 100% ise ve bu birimin girdilerinde ya da çıktılarında karma etkinsizlik yoksa bu santal etkindir denir. Etkinlik skoru 100'den fazla olan santraller etkin değildir. Etkin olmayan bir santralin etkinlik skorunun bir anlamıda şudur: Bu birim çıktılarını etkinlik skoru kadar arttırır ise etkin konuma yükselebilir. Bu yüzden çıktı yönlü etkinsizlik skoruna genişleme katsayısı da denir. Örneğin üretim etkinliği modeli, CRS analiz sonuçlarına göre 2009 yılında Gezende santrali etkin değildir. Ve etkinlik skoru 107.64%'dir. Bu birimin etkin konuma yükselebilmesi için çıktısını %7.64 arttırmalıdır. Model 1 CRS analiz sonuçlarına göre Atatürk, Karakaya ve Keban hidroelektrik santralleri seçilen yıllar için etkin çıkmışlardır. VRS analiz sonuçlarına göre ise hesaplanan etkinlik skorları kadar çıktılarını sabit tutacak oranda girdilerindeki azlıkları arttırmalı fazlalıkları ise azaltmaları gerekmektedir. CRS analiz sonuçlarına göre, Türkiye'nin 2007'de az yağış almasından dolayı baraj gölünde biriken su miktarının azlığı sebebiyle Borçka, Gökçekaya, Çatalan, Sarıyar ve Gezende hidrolik santralleri, etkinliklerini etkilemiştir.

VRS etkinlik analiz sonuçlarına göre ise, Atatürk, Karakaya, Keban, Gökçekaya, Gezende ve Çatalan hidroelektrik santralleri seçilen her üç yıl için de etkin çıkmışlardır.

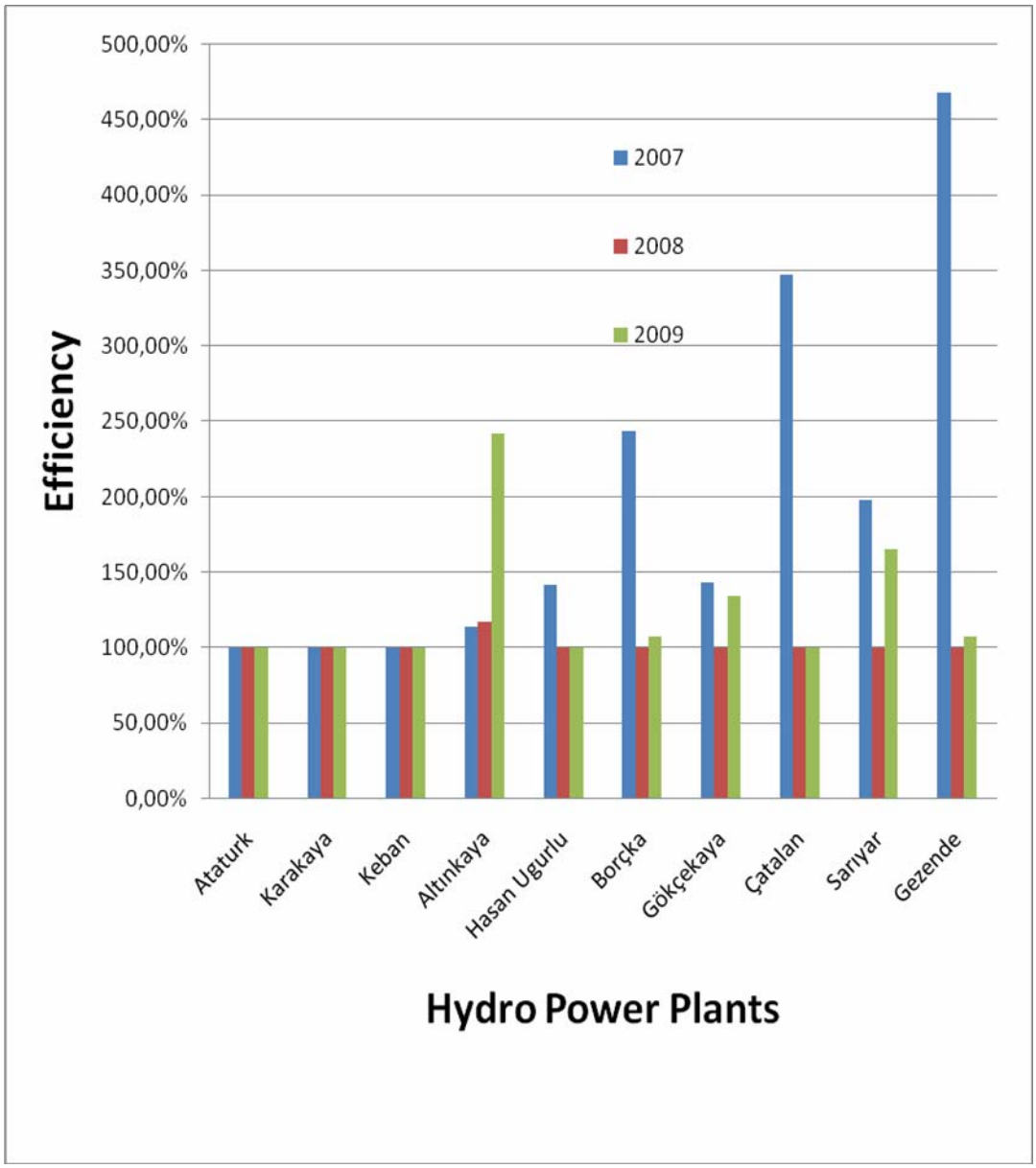
Model 1'in CRS analiz sonuçlarına göre, 2009 yılında Keban hidroelektrik santrali 4 hidrolektrik santrale referans olmuştur. Hasan Uğurlu üç hidroelektrik santrale ve Çatalan ise bir hidroelektrik santrale referans olmuştur (Çizelge 5.2).

Benzer şekilde, Model 1'in VRS analiz sonuçlarına göre ise 2009 yılı için Keban ve Gezende hidroelektrik santralleri Sarıyar hidroelektrik santraline referans olmuştur (Çizelge 5.3). Diğer bir deyişle etkin olmayan hidroelektrik santraller Keban ve Gezende hidroelektrik santrallerinin girdilerini çıktıya dönüştürme başarısını referans almalıdırlar. Her iki Çizelgede verilen

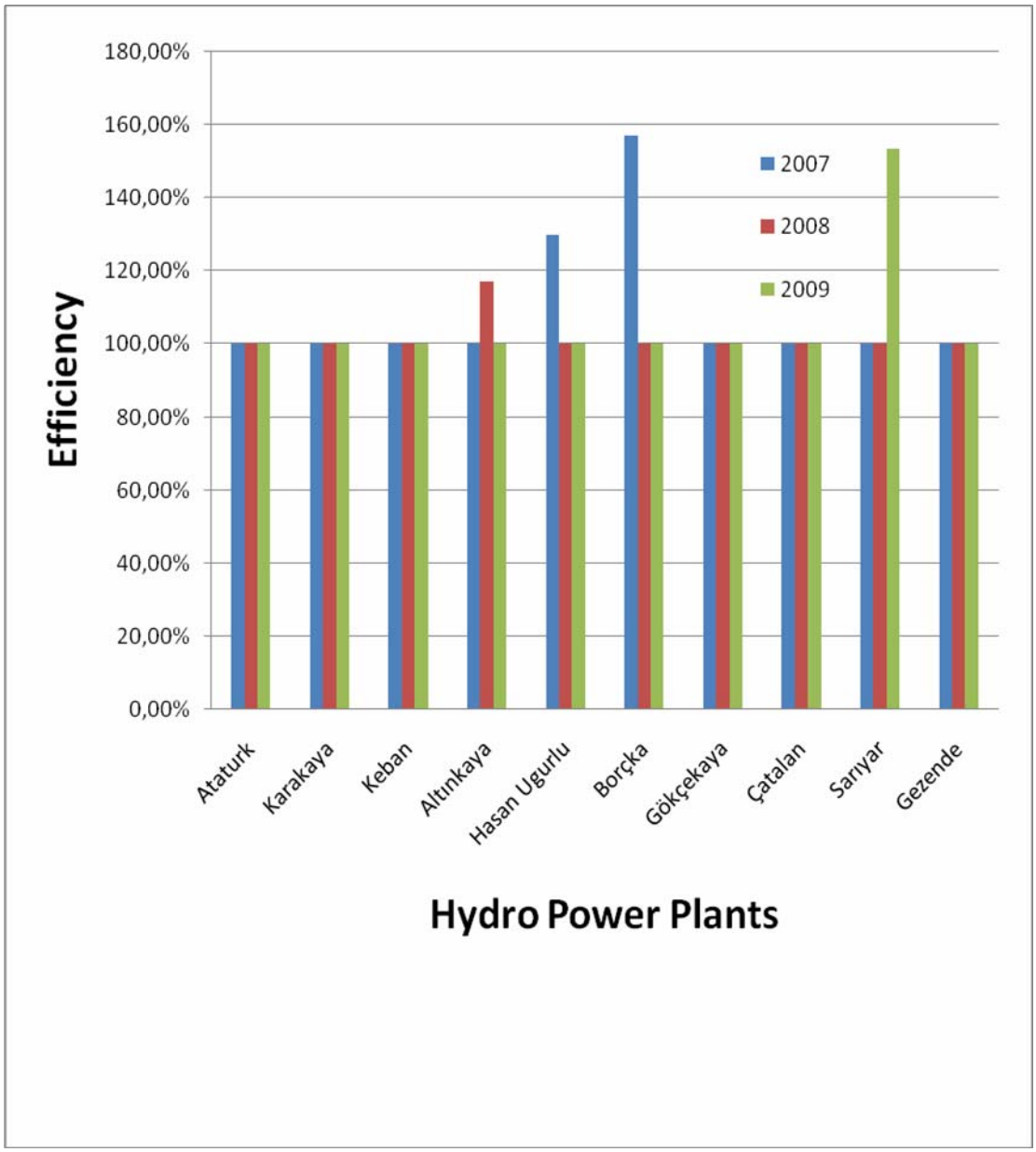
referansların yanında parantez içerisinde verilen değerler kadar girdilerini azaltmalı veya çıktılarını artırmalıdırlar.

Model 1'in CRS analiz sonuçlarına göre, 2009 yılında Keban hidroelektrik santrali 4 hidrolektrik santrale referans olmuştur. Hasan Uğurlu üç hidroelektrik santrale ve Çatalan ise bir hidroelektrik santrale referans olmuştur (Çizelge 5.2).

Benzer şekilde, Model 1'in VRS analiz sonuçlarına göre ise 2009 yılı için Keban ve Gezende hidroelektrik santralleri Sarıyar hidroelektrik santraline referans olmuştur (Çizelge 5.3). Diğer bir deyişle etkin olmayan hidroelektrik santraller Keban ve Gezende hidroelektrik santrallerinin girdilerini çıktıya dönüştürme başarısını referans almalıdırlar. Her iki Çizelgede verilen referansların yanında parantez içerisinde verilen değerler kadar girdilerini azaltmalı veya çıktılarını artırmalıdırlar.



Şekil 5.3. Model 1 için CRS etkinlik skorları



Şekil 5.4. Model 1 için VRS etkinlik skorları

Çizelge 5.2. Model 1 CRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar

Hidroelektrik Santraller	Etkin olan santraller için referans olma sayısı (koyu) Etkin olmayan santraller için referans olan hidroelektrik santral ismi ve ağırlığı (renksiz)
ATATÜRK	0
KEBAN	4
KARAKAYA	0
ALTINKAYA	KEBAN (0,2289)
HASAN UĞURLU	3
BORÇKA	HASAN UĞURLU (0,5541) ÇATALAN(0,1394)
GÖKÇEKAYA	KEBAN (0,1227)
ÇATALAN	1
SARIYAR	KEBAN (0,0133) HASAN UĞURLU (0,2722)
GEZENDE	KEBAN (0,0127) HASAN UĞURLU (0,2732)

Çizelge 5.3. Model 1 VRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar

Hidroelektrik Santraller	Etkin olan santraller için referans olma sayısı (koyu) Etkin olmayan santraller için referans olan hidroelektrik santral ismi ve ağırlığı (renksiz)
ATATÜRK	0
KEBAN	1
KARAKAYA	0
ALTINKAYA	0
HASAN UĞURLU	0
BORÇKA	0
GÖKÇEKAYA	0
ÇATALAN	0
SARIYAR	KEBAN (0,0002) GEZENDE (0,9998)
GEZENDE	1

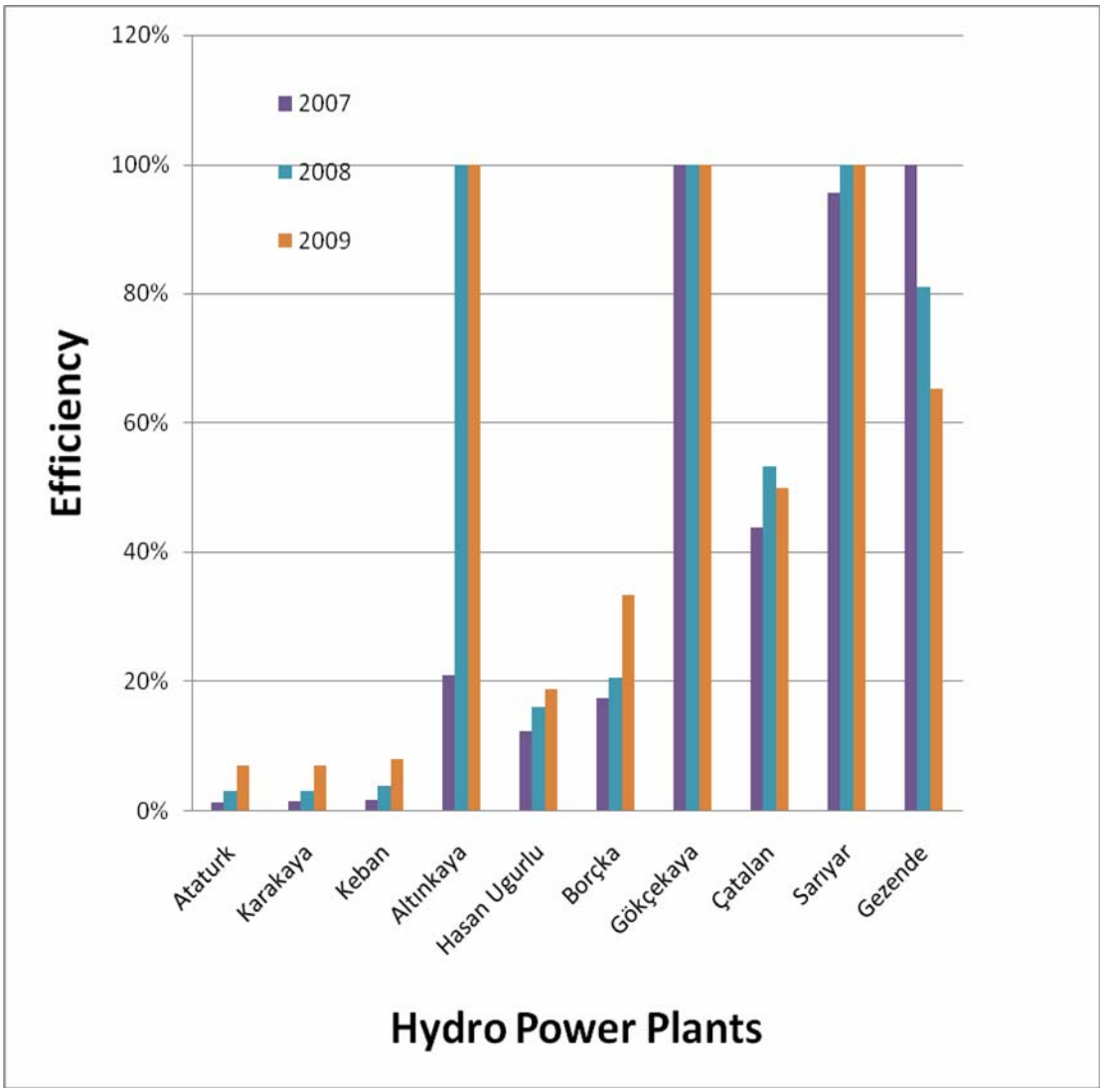
5.3. Enerji Maliyeti Etkinliği (Model 2) Analiz Sonuçları:

Model 2 ile girdi yönlü CRS ve VRS analizleri yapılarak enerji maliyetinin minimum yapılması amaçlanmıştır. Girdi yönlü model ile bulunan etkinlik skoru 1 veya 100% ise ve bu birimin girdilerinde ya da çıktılarında karma etkinsizlik yoksa bu santal etkindir denir. Etkinlik skoru 100'den az santraller etkin değildir. Etkin olmayan bir santralin etkinlik skorunun bir anlamıda şudur: Bu birim girdilerini etkinlik skoru kadar daraltır ise etkin konuma yükselebilir. Bu yüzden girdi yönlü etkinsizlik skoruna daralma katsayısı da denir. Örneğin 2009 yılında Gezende santrali etkin değildir ve etkinlik skoru 65,21%'dir. Bu birimin etkin konuma yükselebilmesi için girdilerini; 34,79% azaltmalıdır. Model 2'de girdilerden Baraj gölüne gelen su kontrol edilemeyen değişken olduğundan bu girdide azaltma sözkonusu değildir.

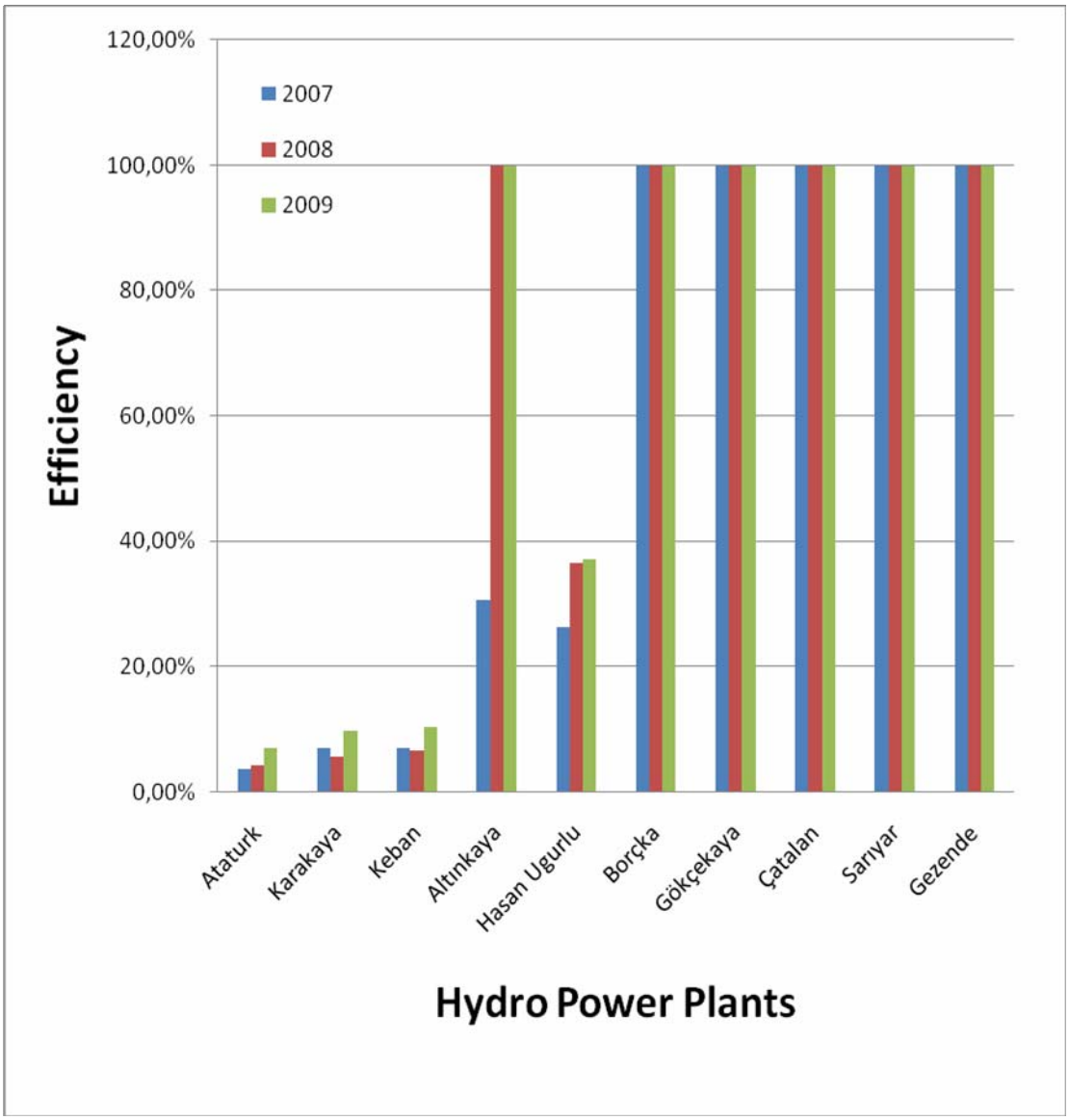
CRS analizine göre seçilen yılların hepsinde, girdileri ile en az enerji maliyetini sağlayan ve etkin olan tek santral Gökçekaya santralidir. Sarıyar ve Altınkaya hidrolik santralleri 2007 hariç diğer 2008 ve 2009 için etkindirler (Şekil 5.5).

VRS analiz sonuçlarına göre ise Nroçka, Gökçekaya, Çatalan, Sarıyar ve Gezende hidrolik santralleri seçilen yıllar için etkindirler (Şekil 5.6).

Kurulu güç açısından diğerlerine göre oldukça yüksek kapasiteye sahip Atatürk, Keban ve Karakaya hidroelektrik santralleri üretim etkinliği bakımından etkin olmalarına rağmen enerji maliyeti açısından etkinlik skorları oldukça düşük çıkmıştır. Bu santraller için analiz sonuçlarının bu konuda (hidro elektrik santraller) yetkili kişiler tarafından irdelenmesi ve gerekli tedbirlerin alınarak etkinlik sınırına getirilebilmeleri ülkenin temel enerji girdisinin verimli bir şekilde kullanımına imkan verecektir.



Şekil 5.5. Model 2 için CRS etkinlik skorları



Şekil 5.6.Model 2 için VRS etkinlik skorları

Model 2'in CRS analiz sonuçlarına göre, 2009 yılında Sarıyar hidroelektrik santrali 7 hidrolektrik santrale referans olmuştur (Çizelge 5.4).

Benzer şekilde, Model 2'in VRS analiz sonuçlarına göre ise 2009 yılı için Gezende hidroelektrik santrali 4, Sarıyar 3 ve Çatalan 1 hidroelektrik santrale referans olmuştur (Çizelge 5.5). Diğer bir deyişle etkin olmayan hidroelektrik santraller Gezende, Sarıyar ve Çatalan hidroelektrik santrallerinin girdilerini

çıktıya dönüştürme başarısını referans almalıdırlar. Her iki Çizelgede verilen referansların yanında parantez içerisinde verilen değerler kadar girdilerini azaltmalı veya çıktılarını artırmalıdırlar. Örneğin Atatürk hidroelektrik santrali Sarıyar ve Gezende hidroelektrik santrallerinin girdilerini 0,9622 ve 0,0378 oranları kadar çarpımlarının her iki santralin toplamı kadarlık bir değeri hedef almalıdır.

Çizelge 5.4. Model 2 CRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar

Hidroelektrik Santraller	Etkin olan santraller için referans olma sayısı (koyu) Etkin olmayan santraller için referans olan hidroelektrik santral ismi ve ağırlığı (renksiz)
ATATÜRK	SARIYAR (0,9623)
KEBAN	SARIYAR (0,5249)
KARAKAYA	SARIYAR (0,6279)
ALTINKAYA	0
HASAN UĞURLU	SARIYAR (0,3156)
BORÇKA	SARIYAR (0,1728)
GÖKÇEKAYA	0
ÇATALAN	SARIYAR (0,3090)
SARIYAR	7
GEZENDE	SARIYAR (0,4585)

Çizelge 5.5. Model 2 VRS etkinlik analizinin 2009 yılı için girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki azlıklar

Hidroelektrik Santraller	Etkin olan santraller için referans olma sayısı (koyu) Etkin olmayan santraller için referans olan hidroelektrik santral ismi ve ağırlığı (renksiz)
ATATÜRK	SARIYAR (0,9622) GEZENDE (0,0378)
KEBAN	SARIYAR (0,1768) GEZENDE (0,8232)
KARAKAYA	SARIYAR (0,4081) GEZENDE (0,5919)
ALTINKAYA	0
HASAN UĞURLU	ÇATALAN (0,9313) GEZENDE (0,0687)
BORÇKA	0
GÖKÇEKAYA	0
ÇATALAN	1
SARIYAR	3
GEZENDE	4

5.4. Window Analiz Sonuçları

5.4.1. Model 1 analiz sonuçları

Etkinliğin yıllar içerisindeki değişiminin belirlenerek, HES'lerin etkinliklerinin olumlu veya olumsuz yönde etkilenmesinin sebeblerinin tartışılması gerekir. HES'lerin 2007'den 2008'e geçiş ve 2008'den 2009'a geçişte etkinlik değişimleri Window analizi ile belirlenmiştir.

Çizelge 5.6'da CRS yaklaşımı ile çıktı yönlü üretim etkinliğinin yıllara göre değişimi verilmektedir. Window analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde elde edilen çizelgeler satırlar ve sütunlar olmak üzere iki farklı yolla irdelenir.

Çizelge 5.6'nın satırlar bazında değerlendirilmesine gore:

Atatürk, Karakaya ve Keban 2007'de etkin iken yıllar içerisinde az da olsa performans düşmesi gözlenmiştir (2009 için 100,05, 104,62, 114,34).

Altınkaya, Gökçekaya santralleri performansı kötüleşme eğilimindedir. Altınkaya için yıllar içerisinde etkinlik skorları 119,32, 162,51,162,51, 274,06 olmuştur.

Çatalan, Sarıyar, Gezende santrallerinde giderek artan performans gelişmesi gözlenmektedir. Örneğin Gezende'nin yıllar içerisinde etkinlik değeri etkinlik sınırı olan %100' yaklaşma eğilimine girmiştir. Skorlar: 489,14, 167,80,167,80, 125,46

Satır bazında en iyi performans ortalaması 100,51 ile Atatürk, en kötü performans ortalaması 237,55 ile Gezende santraline aittir. Buna göre Atatürk santrali çıktısını/larını %5,1 arttırırsa etkin olacaktır. Gezende santrali ise çıktılarını %137,55 oranında arttırmalıdır.

Sütun bazında Çizelge 5.6 değerlendirilirse:

Santrallerin ortalamaya göre performanslarında en düşük standart sapma Atatürk Santraline ait ve 0,99 birimdir. En yüksek standart sapma ise 168,916 ile Gezende santraline aittir. Ortalama sapma ise 75,98 birimdir. Performans değerleri arasında en küçük Range 2 birim ile Atatürk Snatraline, en büyük açıklık 363,68 birimdir. Hesaplanan tüm performans değerleri dikkate alındığında range 389,14 birimdir.

Santrallerin ortalama performans skoru yıllara göre yüzde (200,39, 143,69, 139.68) ve genel ortalama 156,87. Genel olarak santraller çıktılarını %56,87 oranında arttırılırsa tümüyle etkin olacaktır.

Çizelge 5.6. HES'lerin CRS'ye göre çıktı yönlü Window analizi ve özet istatistikleri

	DMU	2007	2008	2009	Mean	Standart Deviation	Range
1	Ataturk	100,00	102,00				
			100,00	100,05	100,51	0,99	2,00
2	Karakaya	100,00	100,00				
			100,00	104,62	101,16	2,31	4,62
3	Keban	100,00	100,11				
			100,00	114,34	103,61	7,15	14,34
4	Altınkaya	119,32	162,51				
			162,51	274,06	179,60	66,18	154,74
5	Hugurlu	148,00	138,03				
			138,03	112,62	134,17	15,12	35,38
6	Borçka	243,36	120,57				
			148,44	119,61	157,99	58,46	123,75
7	Gökçekaya	150,36	152,99				
			152,99	152,48	152,21	1,25	2,63
8	Çatalan	346,80	177,29				
			218,27	100,48	210,71	103,03	246,32
9	Sarıyar	206,93	182,26				
			182,26	193,12	191,14	11,70	24,67
10	Gezende	489,14	167,80				
			167,80	125,46	237,55	168,91	363,68
	Mean	200,39	143,69	139,68	156,87	General std. Dev. 75,98	General Range 389,14

Çizelge 5.7'de VRS yaklaşımı ile çıktı yönlü üretim etkinliğinin yıllara göre değişimi verilmektedir.

Satır bazında değerlendirmede:

Atatürk, Karakaya, Keban, Altınkaya, Gezende tüm periyotlarda BCC etkinidirler. Hasan Uğurlu, Borçka santralleri ilk periyotta etkin değilken performans skorlarını arttırarak son periyotta etkin konuma yükselmişlerdir. Gökçekaya, Çatalan'da varyasyon görünmekle birlikte, son periyotta etkin konuma yükselmişlerdir.

Sarıyar santralide dalgalı bir seyir izleyerek performansını etkin konuma çıkarmış ve son bölümde yine performansını düşürmüştür.

Sütun değerlendirmesinde ise ilk periyotta daha düşük performans gösteren santraller son iki periyotta performanslarını yükseltmişlerdir. Ortalama 113,00, 104,04, 105,36 'dır.

Genel ortalama ise 106,61 dir. En kötü ortalama performansı 122,32 ile Borçka santraline aittir.

Ortalamaya göre değişim (Sp) ve açıklık Atatürk, Karakaya, KEban, Altınkaya ve Gezende 0'dır. En büyük sapma 25,28 ile Sarıyar santraline aittir.

En büyük range ise 69,56 ile Borçka santraline aittir.

Genel sapma 15,34 ve genel range 69,56 dir.

Çizelge 5.7. HES'lerin VRS'ye göre çıktı yönlü Window analizi ve özet istatistikleri

	KVB	2007	2008	2009	Mean	Standart Deviation	Range
1	Ataturk	100,00	100,00				
			100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
2	Karakaya	100,00	100,00				
			100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
3	Keban	100,00	100,00				
			100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
4	Altınkaya	100,00	100,00				
			100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
5	Hugurlu	132,27	127,33				
			127,33	100,00	121,73	14,67	32,27
6	Borçka	169,56	108,38				
			111,32	100,00	122,32	31,86	69,56
7	Gökçekaya	100,00	104,83				
			100,00	100,00	101,21	2,42	4,83
8	Çatalan	108,92	100,00				
			101,63	100,00	102,64	4,26	8,92
9	Sarıyar	119,26	100,00				
			100,00	153,61	118,22	25,28	53,74
10	Gezende	100,00	100,00				
			100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	Mean	113,00	104,04	105,36	106,61	General std. Dev. 15,34	General Range 69,56

5.4.2. Model 2 analiz sonuçları

Çizelge 5.8 girdi yönlü CRS etkinlik analizinin window çıktılarını özetlemektedir.

Satır bazında değerlendirmede:

Atatürk, Karakaya, Keban ve Altınkaya'da giderek artan performans değişimi gözlenmektedir.

Altınkaya ve Sarıyar santralleri son iki yıl değerlendirmelerine göre etkindir. (2008, 2009 için etkinlik değerleri %100)

Hasan Uğurlu, Borçka, Gökçekaya, Çatalan ve Sarıyar santrallerinde 2008 yılında performans düşüklüğü görülmekle birlikte sonraki periyotlarda tekrar performans yükselmesi gerçekleştirmiştir.

Gezende santrali ilk periyotta etkin iken (2007de etkinlik skoru %100) sonraki periyotlarda etkinliği azalarak kaybolmuştur.

Sütun değelendirmesine göre:

Santrallerin ortalama performansları giderek artmakta ise de yetersizdir. Genel performans ortalaması 42,69% dir.

Endüşük ortalama perfomansa Atatürk Santrali sahiptir (3,11%). En yüksek performans ortalamsına ise 95,86% ile Gökçekaya sahiptir.

Ortalamaya göre değişim sp 2,60 ile en küçük homojen ve karakaya en büyük değişimi ise 47,78 birim ile Altınkaya santrali sahiptir.

Genel standart deviation ise 39,64 br.

Performans skorları arası en küçük açıklığa Karakaya santrali sahiptir (5,39 br). En büyük açıklık 79,12 değeriyle Altınkaya barajına aittir. Tüm performans skorları dikkate alındığında genel range değeri 98,77 dir.

Çizelge 5.8. Model 2'ye göre HES'lerin CRS girdi yönlü Window analizi ve özet istatistikleri

	KVB	2007	2008	2009	Mean	Standart Deviation	Range
1	Ataturk	1,23	1,48				
			2,86	6,85	3,11	2,64	5,62
2	Karakaya	1,42	1,55				
			3,00	6,81	3,20	2,60	5,39
3	Keban	1,60	1,98				
			3,82	7,87	3,82	3,01	6,27
4	Altınkaya	20,88	88,61				
			100,00	100,00	77,37	47,78	79,12
5	Hugurlu	12,16	8,28				
			15,99	18,80	13,81	7,34	10,52
6	Borçka	17,25	10,58				
			20,43	33,27	20,38	12,29	22,69
7	Gökçekaya	100,00	83,44				
			100,00	100,00	95,86	43,46	16,56
8	Çatalan	43,79	27,53				
			53,16	49,95	43,61	21,86	25,63
9	Sarıyar	95,64	78,97				
			100,00	100,00	93,65	42,77	21,03
10	Gezen	100,00	41,97				
			81,03	65,21	72,05	38,62	58,03
	Mean	39,40	41,23	48,88	42,69	General std. Dev. 39,64	General Range 98,77

Çizelge 5.9 girdi yönlü VRS etkinlik analizinin window çıktılarını özetlemektedir.

Satır değerlendirmesine göre Atatürk, Karakaya ve Keban giderek artan performans değişimi gözlenmektedir. Altınkaya ise 2008'de etkinliğe ulaşırken 2009 da tekrar etkinliğini bozmuştur. Çatalan ve Gezende'nin etkinlik skorunda dalgalanma en azdır.

Sütun değerlendirmesine göre:

Santrallerin ortalama performansları giderek artmakta ise de yetersizdir. Genel performans ortalaması 58,46% dir.

Endüşük ortalama perfomansa Atatürk Santrali sahiptir (0,76%). En yüksek performans ortalamsına ise 35,90% ile Altınkaya sahiptir.

Genel standart deviation ise 41,83 br. Tüm performans skorları dikkate alındığında genel range değeri 96,62 dir.

Şekil 5.7‘de Model 1 CRS ve VRS çıktı yönlü performans skorlarına ilişkin kutu grafikleri (BOX PLOTS) yer almaktadır.

Şekil 5.7’den görüldüğü gibi Model 1 CRS performans skorları VRS performans skorlarına göre daha değişkendir. CRS skorlarını global maximuma VRS skorları ise yerel yerel maximum karşılık gelir. Bu yüzden CRS skorlarını daha önemli görmek uygundur. Model 1 performans değişimleri bakımından değerlendirildiğinde büyüklük sırasıyla Gezen, Çatalan, Altınkaya ve Borçka santralleri dikkat çekmektedir. Performans değişimin heterojen olması, değişim aralığının geniş olması bir HES için olumlu durum değildir. İlgili santral için stabil bir üretim yapısına sahip olmadığı anlamına gelir.

İki modelde de performansın 100% olması o santralin Most Productive Scale Size sahip olduğunu gösterir; girdilerini çıktılara dönüştürmekte en iyi kombinasyona sahip olduğu anlamına gelir. Model 1 için bu noktaya Ataturk ve Karakaya santralleri yakındır. Ayrıca grafikten performans çarpıklığına ilişkin sonuçlarda çıkarılabilir. Buna göre Gezen, Çatalan, Altınkaya ve Borçka santrallerinde sağa çarpıklık (skewness) vardır. Bu, performans

üzerinden konuşulduğunda, o santrallerin ortalama performanslarına göre daha kötü (çıktı yönlü olduğunda) performans skorlarına sahipler demektir.

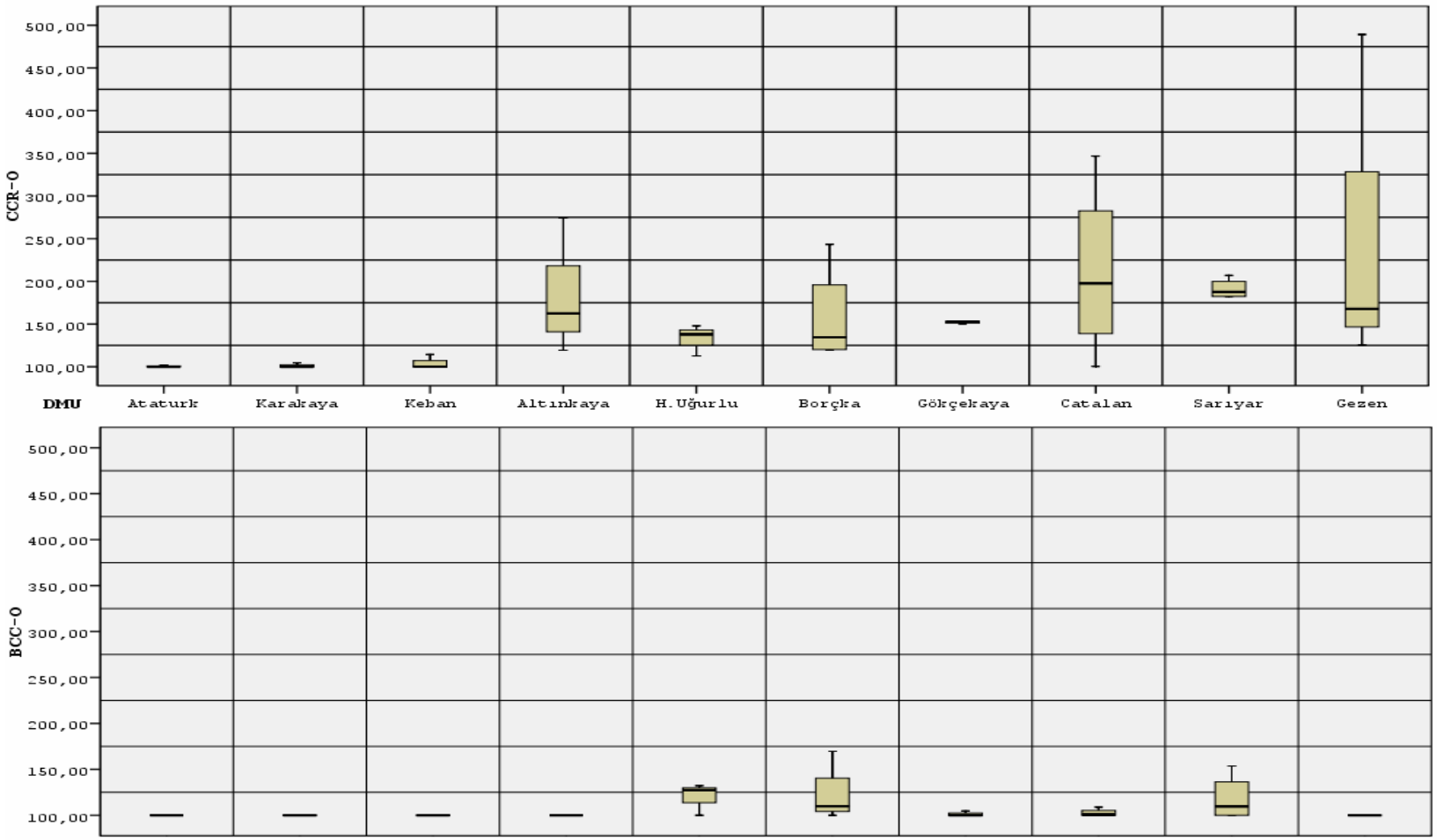
Model 1 VRS sonuçlarına göre daha durağan bir trend gözlenmektedir. Performans skorlarının değişim aralığı aralığı dardır. Bu durum olumlu ve önemlidir.

Şekil 5.8'de Model 2 CRS ve VRS girdi yönlü performans skorlarına ilişkin kutu grafikleri yer almaktadır. Her iki CRS ve VRS modellerine göre Ataturk, Karakaya ve Keban santrallerinin performansları çok düşüktür. Altınkaya performansı en değişken olan santraldir. Ortalaması en yüksek ve performans değişim aralığına göre en iyi olan (CRS'ye göre) santral Gökçekaya'dır. VRS çözümlerine göre Çatalan ve Gezen santrallerinin performans değişimi aralığı diğerlerine göre dar ve yüksektir. Bu santraller Model 2 VRS bakış açısından en iyi konumdadırlar.

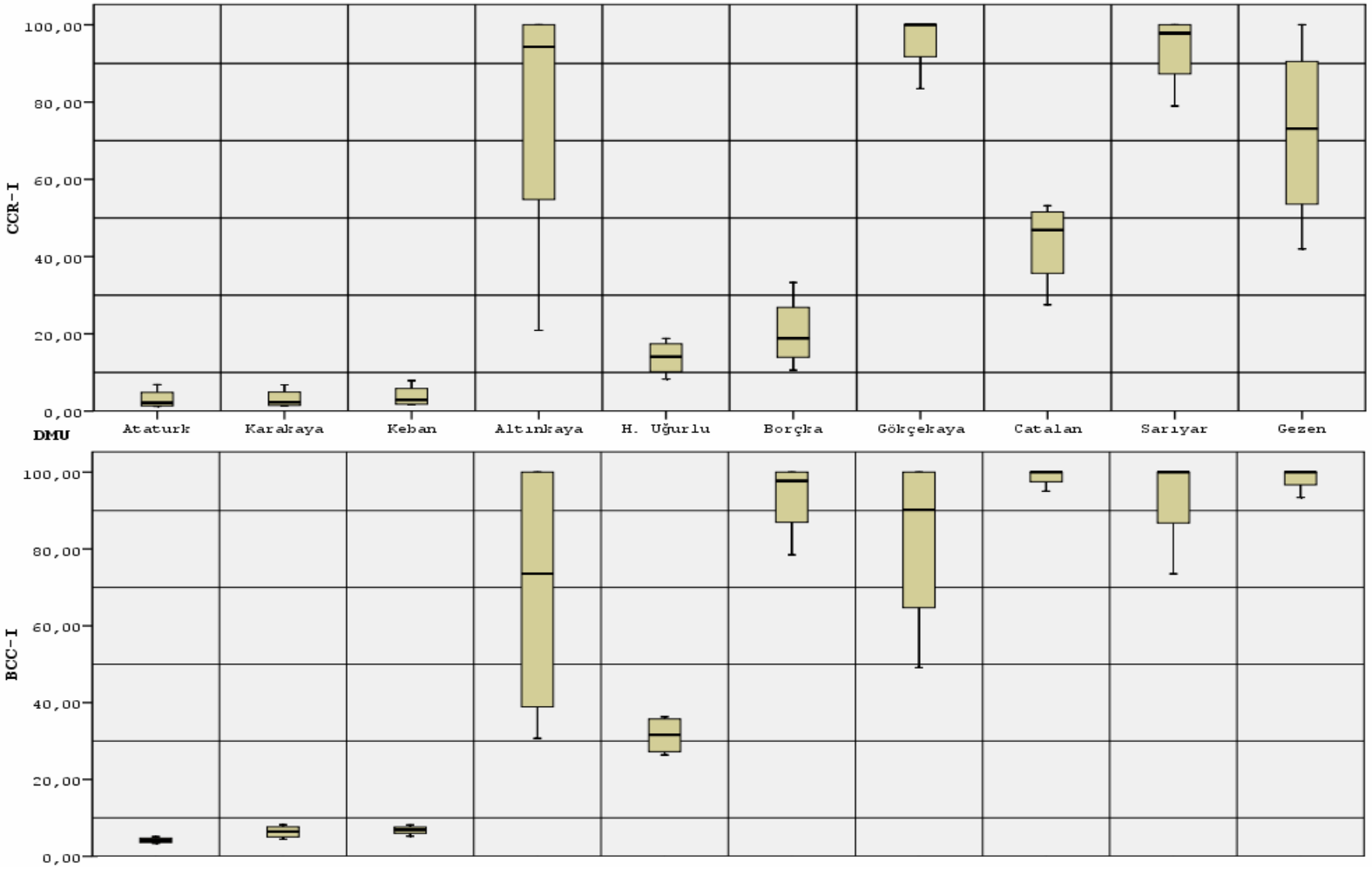
İncelenen santraller Model 1' göre model 2'de düşük performansa sahipler. Buna karşılık performans değişim aralığı daha geniştir. Değişim aralığının dar olması performans skorunun üretim yönünden daha arzu edilen bir durumdur.

Çizelge 5.9. Model 2'ye göre HES'lerin VRS girdi yönlü Window analizi ve özet istatistikleri

	KVB	2007	2008	2009	Mean	Standart Deviation	Range
1	Ataturk	3,76	3,38				
			4,36	5,12	4,16	0,76	1,74
2	Karakaya	7,14	4,44				
			5,68	8,21	6,37	1,65	3,77
3	Keban	7,09	5,22				
			6,70	8,16	6,79	1,22	2,94
4	Altınkaya	30,69	100,00				
			100,00	47,12	69,45	35,90	69,31
5	Hugurlu	26,39	28,08				
			36,31	35,16	31,49	4,98	9,92
6	Borçka	100,00	78,46				
			95,42	100,00	93,47	10,24	21,54
7	Gökçekaya	100,00	80,34				
			100,00	49,12	82,37	24,02	50,88
8	Çatalan	100,00	100,00				
			100,00	95,03	98,76	2,48	4,97
9	Sarıyar	100,00	100,00				
			100,00	73,53	93,38	13,23	26,47
10	Gezen	100,00	100,00				
			100,00	93,40	98,35	3,30	6,60
	Mean	57,51	62,42	51,49	58,46	General std. Dev.	General Range
						41,83	96,62



Şekil 5.7. Etkinlik skorları (Model 1 CRS ve VRS)



Şekil 5.8 Etkinlik skorları (Model 2 CRS ve VRS)

6. SONUÇLAR

Çok değişkenli girdi ve çıktıya sahip karar birimlerinin göreli performanslarının ölçülmesi için Veri Zarflama Analizi (VZA) bu çalışmada ülkemizdeki HES'lere uygulanmıştır. Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerden verilerine tam olarak ulaşılabilen 10 tanesinin etkinlik analizi VZA tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. Analizde, Charnes vd. [1] tarafından geliştirilen klasik VZA modeli (CCR modeli) ile BCC (VRS) modelleri kullanılarak ölçek etkinliği değerleri bulunmuştur. Santrallerin etkinlikleri girdi ve çıktı değişkenleri değiştirilerek iki farklı Model geliştirilmiştir. Dolayısıyla santrallerin ürettikleri elektrik üretimi (Model 1), birim üretim başına maliyet performansı (Model 2) göreli olarak analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre Gökçekaya hidroelektrik santrali diğer santraller içerisinde seçilen her iki modele göre en iyi performansı göstermektedir. Bu çalışma ile ülkemizdeki hidroelektrik santrallerinüretim ve maliyet etkilerini görmek ve performansı kötü olan santrallerin rehabilitasyonu için tedbirler alınmasının gerekli olduğu, seçilen girdi değişkenlerindeki azlıkların ve fazlalıkların ortaya konulması gerektiği vurgulanmıştır.

Ayrıca santrallerin üretim başına düşen maliyet analizi ile de enerji verimliliği yönünden değerlendirmeler yapılmıştır. Performansı kötü olan santrallerin seçilen girdi değişkenlerindeki gibi fazlalıklarını azaltması azlıklarını arttırması gerekmektedir. Böylece üretim maliyetlerini azaltabileceklerdir.

Bu çalışma ile bu konu üzerinde çalışan ve politika üreten kişilere somut değerlerle açıklayıcı temel bilgi kazandırılmış ve hızla gelişen 21.yy'da temel ihtiyaçlarımızın karşılanması ve refah seviyemizin artması için gerek ve şart olan elektrik üretim sistemlerimizin durumu ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

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

2. İnternet: Uluslar arası Enerji Ajansı, "IEA Key World Energy Statistics", http://www.iea.com (2008).

3. Özyiğit, T., Seraslan, M., Karsak, E., "Türkiye'de elektrik üretimi için enerji kaynaklarının etkinliğinin değerlendirilmesi", ***İTÜ dergisi***, 7 (5): 55-66 (2008).

4. Briec, W., Peypoch, N., Ratsimbanierana, H., "Productivity growth and biased technological change in hydroelectric dams", ***Energy Economics***, 33(5): 853-858 (2011).

5. Cristobal, J.R., A "Multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies", ***Renewable Energy***, 36 (10): 2742-2746

6. Vaninsky, A., "Efficiency of electric power generation in the United States: Analysis and forecast based on data envelopment analysis", ***Energy Economics***, 28 : 326–338 (2006).

7. Jamasb, T., Pollitt, M., Triebs, T., " Productivity and efficiency of US gas transmission companies: A European regulatory perspective", ***Energy Policy,*** 36 :3398– 3412 (2008).

8. Ramos-Real, F.J., Tovar, B., Lootty, M., Almeida, E.F., Pinto, H.Q., "The evolution and main determinants of productivity in Brazilian electricity distribution 1998–2005: An empirical analysis", ***Energy Economics***, 31:298–305 (2009).

9. Wanga, J. H., Ngana, H. W., Engriwana, W., "Performance based regulation of the electricity supply industry in Hong Kong: An empirical efficiency analysis approach", ***Energy Policy***, 35 :609–615 (2007).

10. Kulshreshtha, M., Parikh, J.K., "Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis" ***Energy Economics***, 24: 439-453 (2002).

11. Hawdon, D., "Efficiency, performance and regulation of the international gas industry—a bootstrap DEA approach", ***Energy Policy***, 31:1167–1178 (2003).

12. Perez, R., " Explaining the inefficiency of electrical distribution compa nies: Peruvian firmsRaúl Pérez-Reyes a", ***Beatriz Tovar Energy Economics*** (2010).

13. Wolf, C., "Does ownershipmatter? The performance an defficiency of State Oilvs. Private Oil (1987–2006)" , ***Energy Policy*** , 37:2642–2652 (2009).

14. Abbott, M., "The productivity and efficiency of the Australian electricity supply industry", ***Energy Economics***, 28 : 444–454 (2006).

15. Barros, C. P., "Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: A case study for Portugal", ***Energy Economics***, 30: 59–75(2008).

16. Estache, A., Rossib, M., " Do regulation and ownership drive the efficiency of electricity distribution? Evidence from Latin America", ***Economics Letters*** , 86 : 253–257 (2005).

17. Wang, N.S., Yi, R.H., Wang, W.,"Evaluating the performances of decision-making units based on interval efficiencies", ***Journal of Computational and Applied Mathematics,*** 216: 328 – 343 (2008).

18. Zhang, W., Huang, G.H., Lin, Q., Yu, H.,"Petroleum-contaminated groundwater remediation systems design: A data envelopment analysis based approach", ***Expert Systems with Applications*** , 36:5666–5672 (2009).

19. Fang, H., Wu, J., Zeng, C., "Comparative study on efficiency performance of listed coal mining companies inChina and the US", ***Energy Policy***, 37:5140–5148 (2009).

20. Weia, Y.M., Liaoa, H., Fana, Y., "Liao An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector", ***Energy*** , 32: 2262–2270 (2007).

21. Mukherjee, K., "Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector: An interstate analysis", ***Energy Policy***, 36:662–672 (2008).

22. Düzakın, E., Düzakın, H., "Measuring the performance of manufacturing firms with super slacks based model of data envelopment analysis: An application of 500 major industrial enterprises in Turkey", ***European Journal of Operational Research***, 182 : 1412–1432 (2007).

23. Mukherjee, K., "Energy use efficiency in U.S. manufacturing: A nonparametric analysis", ***Energy Economics***, 30 :76–96 (2008).

24. Malighetti, P. Martini, G.,Paleari, S.,Redondi, R., Efficiency in Italiaan Airports Management

25. Lei, T., Ri-jia, D., "Efficiency assessment of coal mine safety input by data envelopment analysis", ***J China Univ Mining & Technol***, 18:88–92 (2008).

26. Sözen, A,. Alp, İ,. (2009) Comparison of Turkey's Performance of Greenhouse Gas Emissions and Local/Regional Pollutants with EU Countries. ***Energy Policy.*** 37(12). 5007-5018.

27.Sarıca, K., Or, İ., (2007) Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis, ***Energy,*** *32 (8): 1484-1499*

28. İnternet: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı," TPAO, BOTAŞ, TKİ,TTK" http://www.enerji.gov.tr

29. İnternet: Elektrik Üretim A.Ş., "2008 Yıllık Faaliyet Raporu" http://www.euas.gov.tr (2010)

30. İTÜ Önerileri, ***İTÜ Enerji Enstitüsü,*** 23-79 (2005)

31. Yüksel, İ., 2008, Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future, Renewable and Sustainable Energy Review, 12 :1622–1640

32. MENR, Ministry of Energy and Natural Resources. Energy report of Turkey in 2004, Ankara, Turkey, 2005: /http://www.enerji.gov.trS (accessed date 10 September 2009).

33.Yüksek, O., Kömürcü, M.I., Yüksel, İ., Kaygusuz, K.,2006. The role of hydropower meeting the electric energy demand in Turkey, Energy Policy, 34:3093–3103.

34.Johnes, J."Data Envelopment Analysis And Its Application to The Measurement Of Efficiency in Higher Education", ***Economics of Education Review***, in Press (2005).

35.Chen, Y., Liang, L., Yang, F., Zhu, J.,"Evaluation Of Information Technology Investment: A Data Envelopment Analysis Approach",***Computers & Operations Research***, 33 :1368–1379 (2006).

36. Banker. R.D.. Charnes A.. Cooper. W. W.. "Some models for estimating technical and scale inefficiences in data envelopment analysis. ***Management Science***. 30(9): 1078-1092 (1984).

37.Ruggiero, J.," Measurement Error, Education Production And Data Envelopment Analysis", ***Economics of Education Review,*** in Press (2005) .

38.Tarım, A., “Veri Zarflama Analizi:Matematiksel Programlama Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı”, ***Sayıstay Yayınları***, Ankara, 15: 5-40 (2001).

39.Yun, Y.B., Nakayama H., Tanino T., “A Generalized Model For Data Envelopment Analysis”, ***European Journal of Operational Research***, 157: 87–105 (2004).

40.Shim, W.. “Assessing technical efficiency of research libraries”, ***Advances in Library Administration and Organisation,*** 17: 243-339 (2000).

41.Ulucan, A., “Şirket Performanslarının Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Genel ve Sektörel Bazda Değerlendirmeler, ***Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergis***i, Ankara, 18: 405-418 (2000).

42.Yolalan, R., “İşletmeler arası Göreli Etkinlik Ölçümü”, ***Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları***: 483, Ankara, 3-19 (1993).

43. Ahn. T.S. “Efficiency Related Issues in Hiher Education: A Data Envelopment Analysis Approach” Ph.D. Thesis. ***The University Of Texas at Austin.*** Texas. 14-47 (1987).

44.Roll, Y., Golany, B., Seroussy, D., “Measuring The Efficiency Of Maintenance Units in The Israeli Air Force”, ***European Journal of Operational Research***, 43(2):136-42 (1989).

45.Gattoufi, S., Oral, M., Reisman, A., “Data Envelopment Analysis Literature: A Bibliography Update (1951-2001) ”, ***Socio-Economic Planning Sciences***, 40: 230-245, (2003).

46. Bowlin WF. “An Analysis of the Financial Performance of Defense Business Segments Using Data Envelopment Analysis”. ***Journal of Accounting and Public Policy.*** 18(4/5): 287-310 (1999).

47.Chen, T., “A measurement of the resource utilization efficiency of university libraries”, ***International Journal of Production Economics***, 53: 71-80 (1997).

48. Norman, M., Stoker, B. “Data Envelopment Analysis : The Assesment of Performance”. ***Waley,*** New York, (7):29-35 (1991).

49. Boussofiane A, Dyson RG, Thanassoulis E. “Applied Data Envelopment Analysis”. ***European Journal of Operational Research***, 52: 1-15 (1991).

50.Retzlaff RDL. “A Data Envelopment Analysis approach to Discriminant Analysis”. ***Annals of Operations Research,*** 73: 299-321 (1997).

51.Vitaliano, D.F., “Assessing Public Library Efficiency Using Data Envelopment Analysis”, ***Annals of Public and Cooperative Economics***, 69 (1): 107-122 (1998).

52.Sharma, K. R., Leung, P. S. and Zane, L. “Performance Measurement Of Hawaii State Public Libraries: An Application Of Data Envelopment Analysis”, ***Agricultural and Resource Economics Review,*** 28: 190-198 (1999).

53.Zimmermann. H.J.. (1976). Description and optimization of fuzzy systems. *International Journal of General Systems*. **2**. 209-215.

54. Lewin. A.Y.. Morey R.C.. “Measuring the Relative Efficiency and Output Potential of Public Sector Organizations: An Application of Data Development Analysis”. ***International Journal of Policy Analysis and Information Systems.*** 5(4): 267-285 (1981).

55.Chen, C.B., Klein, C.M., “A simple approach to ranking a group of aggregated fuzzy utilities”, ***IEEE Trans. Systems Man Cybernet Part B. Cybernet***, 27: 26-35 (1997).

56.Banker. R.. Thrall. R.. “Estimation of returns to scale using Data Envelopment Analysis”. ***European Journal Of Operational Research.*** 62(1): 74-84 (1992).

57. Fare. R.. Grosskopf. S. Lovell C. “The Structure of Technical Efficiency”. ***Scandinavian Journal Of Economics.*** 85(2):181-90 (1983).

58.Banker, R.D., Conrad, R.F.,Strauss, R.P., “A comparative application of data envelopment analysis and translog methods: An illustrative study of hospital production”, ***Management Science***, 32: 30-44 (1986).

59.Shim, W., “Assessing technical efficiency of research libraries”, ***Advances in Library Administration and Organisation,*** 17: 243-339 (2000).

60.Thanassoulis, E., “Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis. A foundation text with integrated software”. ***Kluwer Academic Publishers****,* Dordrecht, 12-35 (2001).

61. Boussofiane, A., Dyson, RG., Thanassoulis, E., “Applied Data Envelopment Analysis”. ***European Journal of Operational Research***, 52: 1-15 (1991).

62.Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., “Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEASolver Software”, ***Kluwer Academic Publishers***, Boston, 3-50 (2000).

63.Boussofıane, A., Dyson, R., Rhodes, E., “Applied Data Envolopment Analysis”, ***European Journal of Operational Research***, 2(6): 1-15(1991).

64.Thanassoulis, E., “Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis. A foundation text with integrated software”. ***Kluwer Academic Publishers****,* Dordrecht, 12-35 (2001).

65. Retzlaff RDL. “A Data Envelopment Analysis approach to Discriminant Analysis”. ***Annals of Operations Research.*** 73: 299-321 (1997).

66.Vassiloglou M. Giokas D. “A Study of the Relative Efficiency of Bank Branches: an Application of Data Envelopment Analysis”. ***Journal of the Operational Research Society***. 41(7): 591-7 (1990).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KILINÇ, Cuma
Uyruğu : T.C.275415592184
Doğum tarihi ve yeri : 27.09.1971
Medeni hali : Evli
Telefon : 05322577868
Faks :
e-mail : denizyildizlari_2005@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans		
Lisans		
Lise		

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler