

ENERJİ VE ÇEVRE KONULARINDA PARAMETRİK OLMAYAN ETKİNLİK ANALİZİ VE TÜRKİYE ELEKTRİK SANAYİİ UYGULAMASI

Aydın ULUCAN *
Kazım Barış ATICI **

Öz

Enerji ve Çevre modellemesinde kullanılan teknikler arasında, parametrik olmayan bir etkinlik ölçme yaklaşımı olan Veri Zarflama Analizi performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılan tekniklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji ve çevre alanında Veri Zarflama Analizi ve türevi yöntemler kullanılarak yapılan çalışmaları uygulama alanlarına göre elektrik sanayii uygulamaları, çevresel performans ölçümü, enerji etkinliği ölçümü, enerji alt sektörlerinde performans ölçümü olmak üzere dört ana grupta toplamak mümkündür (Zhou vd., 2007). Bu alanlardan elektrik sanayii uygulamaları literatürde çok çeşitli alanlarda makro ve mikro düzeyde karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle enerji ve çevre konusunda Veri Zarflama Analizi uygulamaları ile ilgili literatür geniş bir biçimde sunulmakta, ardından da Türkiye elektrik sanayiinde yer alan yirmi adet dağıtım şirketi Veri Zarflama Analizi kullanılarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Enerji ve çevre, performans değerlendirmesi, veri zarflama analizi.

Abstract

Non-Parametric Efficiency Analysis in Energy and Environment Issues and A Turkey Application on Energy Efficiency

Among various techniques used in Energy and Environment modeling, Data Envelopment Analysis (DEA), a non-parametric efficiency evaluation model, is one of the commonly used techniques in performance evaluation. Studies conducted using Data Envelopmet Analysis and its types in Energy and

* Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, İşletme Bölümü, Beytepe, ANKARA, aulucan@hacettepe.edu.tr

** Arş.Gör., Hacettepe Üniversitesi, İşletme Bölümü, Beytepe, ANKARA, kba@hacettepe.edu.tr

Environment issues can be grouped into four main areas (Zhou et al., 2007); Electricity industry studies, environmental performance studies, energy efficiency studies and performance evaluation in specific energy sectors. Among these areas, energy efficiency measurement is a widely applied approach in many areas both in micro and macro scales. In this study, firstly, a wide literature about Data Envelopment Analysis applications in Energy and Environmental issues is provided and then twenty distribution company within the electricity industry of Turkey are evaluated by using Data Envelopment Analysis approaches.

Keywords: Energy and environment, performance evaluation, data envelopment analysis.

GİRİŞ

Türkiye'nin enerji tüketimi geçtiğimiz 20 yıl içerisinde sanayileşme ve şehirleşmenin etkisiyle önemli oranda artmıştır. Türkiye'nin 1980 yılında 32 mtoe olan enerji tüketiminin 2010 yılında 171 mtoe olacağı öngörülmektedir. Bu görünüme başka bir açıdan bakıldığında, Türkiye kendi kaynaklarıyla 1999 yılında enerji tüketiminin %36'sını karşılarken bu oranın 2010 yılında %28'e gerileyeceği beklenmektedir (World Energy Council-Turkish National Committee, 2000; Mendilcioğlu, 2000).

1973-1974 petrol krizi geleneksel enerji kaynaklarının tükenbilir ve kullanımlarının ekonomik, teknik ve politik birçok faktörle sınırlı olduğu gerçeğini açıkça ortaya çıkarmıştır. Kriz sonrası dönemde, krizin ortaya çıkardığı gerçeklerden hareketle sanayileşmiş ülkelerdeki enerji planlayıcıları yükselen enerji fiyatlarının kendi ekonomilerine getireceği istenmeyen etkileri yok etmek amacıyla politikalar üretmeye yönelmişlerdir. Bu dönemdeki temel amaç, yabancı kaynaklardan sağlanan enerjiye olan bağımlılığını azaltmak ve yerel enerji kaynaklarına doğru yönelirken enerjinin korunmasına yönelik teknolojileri geliştirerek uygulamak olmuştur (Diakoulaki vd., 1999). Enerji araştırmacılarının, enerji çalışmalarında analitik modelleme teknikleri geliştirmeye ve uygulamaya yönelik ilgilerinin artması da bu döneme rastlamaktadır (Loken, 2007). 1980'lere gelindiğinde enerji kullanımının artışı, enerji araştırmalarına olan ilginin yanısıra çevre konularında da gelişen bir bilincin oluşmasını beraberinde getirmiştir (Zhou vd., 2007). Artan enerji üretiminin ve kullanımının doğal çevreye, dolayısıyla insan sağlığı ve ekolojik dengeye negatif etkilerinin olduğu gerçeği ile yüzyüze gelinmiştir (Diakoulaki vd., 1999). Enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı ve artan enerji kullanımının çevreye gittikçe daha fazla zarar verdiğinin anlaşılması ile birlikte enerjiyi etkin bir şekilde üretmek, üretilen enerjiyi verimli kullanmak, enerji kullanımının çevreye verdiği zararları yönetebilmek ve enerji ile çevre konularında ileriye

dönük rasyonel politikalar üretebilmek gibi konular hem makro hem de mikro düzeyde çok daha fazla önem kazanmıştır. Enerji ve çevre konularına yönelik olarak 1970 ve 1980'lerde ortaya çıkan ve gittikçe artan bu bilinç, bu alanlarda birçok tekniğin geliştirilmesinin ve uygulanmasının yolunu açmıştır. Ekonometrik teknikler, öngörü teknikleri, optimizasyon teknikleri ve karar analizi teknikleri gibi birçok matematiksel teknik, enerji ve çevre konularında uygulama alanı bulmuştur. Bu teknikler, enerji ve çevre politikalarını hem makro, hem de mikro düzeylerde daha etkin bir şekilde yönetebilmek amacı ile enerji ve çevre konularına uygun hale getirilerek yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

Performans değerlendirmesi ile ilgili planlama teknikleri enerji ve çevre çalışmalarında kendine geniş bir şekilde yer bulmuştur. Enerjinin daha etkin bir şekilde üretilmesi ve kullanılmasının yollarının araştırılmasında, çevre politikalarının yönetilmesinde ve ileriye yönelik politikalar üretilmesinde mevcut performansın ölçümü ve değerlendirilmesi kuşkusuz yol gösterici bir niteliktedir. Bu açıdan, enerji ve çevre çalışmalarının bir bölümü, mikro veya makro düzeyde performans ölçülmesine yarayan tekniklerin kullanıldığı çalışmalardır.

Enerji ve çevre modellemesinde kullanılan teknikler arasında, parametrik olmayan bir etkinlik ölçme yaklaşımı olan Veri Zarflama Analizi performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılan tekniklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Farrell (1957) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan temellerini alan ve Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortaya atılan Veri Zarflama Analizi ortaya çıkışından beri yönetim bilimi, ekonomi ve yöneylem araştırması gibi birçok alanın uzmanları tarafından artan bir şekilde uygulanan bir teknik haline gelmiştir. Özellikle 1980'lerin sonlarından itibaren ortaya çıkan enerji sektöründeki özelleştirme dalgasından itibaren birçok ülkedeki enerji sektöründe (özellikle elektrik sektörü) Veri Zarflama Analizi önemli bir görelî performans ölçme ve kıyaslama tekniği olarak kabul görmektedir (Jamansb and Pollitt, 2001).

Bu çalışmada, öncelikle enerji ve çevre konusunda Veri Zarflama Analizi kullanılarak yapılan uygulamalar örnekleri ile detaylı bir biçimde ele alınmakta; daha sonra Türkiye elektrik sanayiinde yer alan 20 adet dağıtım şirketinin Veri Zarflama Analizi ile değerlendirildiği bir uygulama yapılmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde enerji ve çevre konusunda Veri Zarflama Analizi uygulamaları ile ilgili literatür sunulmaktadır. İkinci bölüm Veri Zarflama Analizi tekniklerinin sunulmasına ayrılmıştır. Üçüncü bölümde ise elektrik sanayii uygulaması gerçekleştirilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

1. ENERJİ VE ÇEVRE KONUSUNDA VERİ ZARFLAMA ANALİZİ UYGULAMALARI

Literatürde enerji ve çevre alanında Veri Zarflama Analizi ve türevi yöntemler kullanılarak yapılan çalışmaları uygulama alanlarına göre dört ana grupta toplamak mümkündür (Zhou vd., 2007):

- 1) Elektrik Sanayi
- 2) Çevresel Performans Ölçümü
- 3) Enerji Etkinliği Ölçümü
- 4) Enerji Alt Sektörlerinde Performans Ölçümü (petrol, doğalgaz, kömür vb.)

1.1. Elektrik Sanayii Uygulamaları

Veri Zarflama Analizi ile yapılan enerji ve çevre çalışmalarında en büyük kısmı elektrik sanayiinde yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. 1990 öncesinde elektrik sanayiinde yapılan Veri Zarflama Analizi çalışmaları genellikle elektrik üretim tesisleri üzerinde durmaktadır. 1990'ların başından itibaren Veri Zarflama Analizi elektrik dağıtım sektörü için de popüler bir kıyaslama tekniği olarak ön plana çıkmaktadır (Zhou vd., 2007). Bu açıdan bakıldığında, elektrik sanayiinde yapılan Veri Zarflama Analizi uygulamalarını elektrik üretiminde yapılan uygulamalar ve elektrik dağıtımında yapılan uygulamalar olmak üzere iki ayrı kategoride düşünebiliriz.

1.1.1. Elektrik Üretim Birimlerinin Performansı

1980'lerin başından itibaren araştırmacılar, Veri Zarflama Analizi'ni elektrik üretim birimlerinin etkinlik ölçümlerinde sıklıkla kullanmışlardır (Lam ve Shiu, 2001). Bu alanda yapılan ilk çalışma, Fare vd. (1985) tarafından kamu ve özel sektör elektrik üretim birimlerinin etkinliğini kıyaslamak üzere yapılmıştır. Daha sonra elektrik üretimi alanında uygulanmış çalışmalara Golany, Roll ve Rybak (1994), Goto ve Tsutsui (1998), Lam ve Shiu (2001), Cook ve Green (2005) ve Pombo ve Taborda (2006) örnek olarak verilebilir. Bu konuda yapılan çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, İsrail, Japonya, Çin, Hindistan, Kore gibi dünyanın birçok ülkesinde gerçekleştirilmiştir.

Dünyada elektrik üretimi, fosil yakıt enerjisi (kömür, petrol, doğalgaz), nükleer enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve su gibi çok çeşitli kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Buna bağlı olarak, elektrik

üretim birimleri kavramı bu kaynakların herhangi birini kullanarak elektrik üretimi gerçekleştiren her türlü işletmeyi ya da işletme birimini içine alan bir kavram olarak düşünülmelidir. Yapılan çalışmalar genellikle fosil yakıtlar kullanılarak termik olarak elektrik enerjisi üreten tesisler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Elektrik üretimi sektöründe Veri Zarflama Analizi ile performans değerlendirmesi yapan uygulamalarda sıklıkla kullanılan değişkenler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Elektrik Üretim Birimlerinin Analizinde Yaygın Kullanılan Değişkenler

| Girdiler | Çıktılar |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">▪ Kurulu güç (Kapasite)▪ Yakıt Tüketimi▪ Sermaye▪ İşgücü▪ Sistem Kayıpları▪ Maliyetler | <ul style="list-style-type: none">▪ Üretilen Güç▪ Gaz Salımı |

Yapılan çalışmalar genellikle fosil yakıt kullanarak elektrik enerjisi üreten birimlere yoğunlaştığı için yakıt tüketimi ve gaz salımı değişkenleri analizlerde sıklıkla yer almaktadır. Gaz salımı değişkeni genellikle karbondioksit (CO₂) ve kükürtdioksit (SO₂) gazlarının salımını ifade etmektedir. Kurulu güç, sermaye, işgücü, sistem kayıpları, maliyetler ve üretilen güç gibi değişkenler farklı tipteki elektrik üretim tesislerinin göreceli etkinlik ölçümlerinde kullanılacak ortak değişkenlerdir.

1.1.2. Elektrik Dağıtım Birimlerinin Performansı

Elektrik dağıtım birimlerinin etkinliği konusunda Veri Zarflama Analizi ile yapılan ilk çalışma Weyman-Jones (1991) tarafından gerçekleştirilen ve İngiltere’deki elektrik dağıtım sektörünün etkinliğini ölçen çalışmadır. Bu çalışmadan sonra, literatürde bu konuda yapılan uygulamaların sayısı gittikçe artmış ve ölçekleri tek ülkeden uluslararası düzeye genişlemiştir. Yapılan çalışmalara örnek olarak; Hjalmarsson ve Veiderpass (1992), Forsund ve Kittelsen (1998), Lo, Chien ve Lin (2003), Jamasb ve Pollitt (2003) ve Edvardsen ve Forsund (2003) verilebilir.

Elektrik dağıtım birimlerinin etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile değerlendirildiği çalışmaların Japonya, Çin, Filipinler gibi Asya ülkeleri, İngiltere, Norveç, İsveç, Finlandiya, Yunanistan ve Türkiye gibi Avrupa

ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya ve Şili gibi Amerika kıtası ülkeleri gibi dünyanın birçok ülkesinde yapıldığı görülmektedir.

Yapılan çalışmalara bakıldığında analizlerde ele alınan girdi ve çıktıların birçoğunun ortak olduğu göze çarpmaktadır. Elektrik dağıtım birimlerinin etkinliklerinin kıyaslandığı 20 çalışmada kullanılan girdi ve çıktılar Jamasb ve Pollitt tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada sıralanmıştır. Tablo 2’de bu girdi ve çıktıların en yaygın olarak kullanılanları gösterilmektedir.

Tablo 2. Elektrik Dağıtım Birimlerinin Analizinde Yaygın Kullanılan Değişkenler

| Girdiler | Çıktılar |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Personel Sayısı ▪ Hat Uzunluğu ▪ Trafo Kapasitesi ▪ İşletme Giderleri ▪ Sermaye ▪ Enerji Kayıpları ▪ Satın alınan güç ▪ Hizmet Alanı ▪ Maksimum Talep | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Satılan Elektrik ▪ Müşteri Sayısı ▪ Hizmet Alanı ▪ Maksimum Talep ▪ Hat Uzunluğu ▪ Trafo Sayısı |

Kaynak: Jamasb and Pollitt (2001)

Tablo 2 incelendiğinde hizmet alanı, hat uzunluğu ve maksimum talep gibi değişkenlerin bazı çalışmalarda girdi, bazılarında ise çıktı olarak alındığı görülmektedir. Bu değişkenlerden hizmet alanı ve maksimum talep daha çok çıktı olarak kullanılırken, hat uzunluğu çoğunlukla girdi olarak analizlerde yer almıştır. Listelenen değişkenler arasında, en çok kullanılan girdi olarak personel sayısı, hat uzunluğu, trafo kapasitesi, işletme giderleri ve sermaye ön plana çıkmaktadır. Analizlerde en sık kullanılan çıktılar ise satılan enerji miktarı, müşteri sayısı ve hizmet alanıdır (Jamasb and Pollitt, 2001).

1.2. Çevresel Performans Ölçümü Uygulamaları

Çevresel performansın ölçümü enerji ve çevre konularında Veri Zarflama Analizi’nin uygulandığı bir başka popüler alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların sayısı 1999-2006 döneminde dikkat çekici biçimde artmıştır. Çevre konularına ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik olarak dünya çapında artan ilgi yapılan çalışmaların sayısındaki artışın en büyük nedenidir.

Tyceta (1997, 1998), Boyd ve McClelland (1999), Hernandez-Sancho vd. (2000) ve Boyd vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Veri Zarflama Analizi çevresel performansı firma düzeyinde (mikro düzeyde) değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Son dönemlerde, makro düzeyde çevresel performans modellenmesinde de Veri Zarflama Analizi uygulamalarına yönelik eğilim artış göstermektedir. Bölgesel veya ulusal seviyede karbondioksit salımı konusunda Veri Zarflama Analizi uygulamaları yaygınlıkla görülmeye başlamıştır. Zaim ve Taskin (2000), Ramanathan (2002), Fare vd. (2004) Veri Zarflama Analizi ile çevresel performans değerlendirmesinde makro düzeyde yapılan çalışmalara örnek olarak verilebilir (Zhou vd., 2007).

Çevresel performansın değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan Veri Zarflama Analizi çalışmaları modelleme açısından standart yöntemlerden farklılık göstermektedir. Veri Zarflama Analizi yaklaşımı genel olarak etkin sınır belirlendikten sonra karar birimlerini girdilerini azaltmaya ya da çıktıları arttırmaya yönlendirerek etkin sınıra yaklaştırmaya çalışan bir yapıya sahiptir. Ancak, bazı durumlarda üretim sürecinde istenmeyen çıktı ya da girdiler yer almaktadır. Örneğin; fosil yakıtlarla elektrik üretim süreci karbondioksit ve kükürtdioksit salımıyla sonuçlanan bir süreçtir. Veri Zarflama Analizi'nin çıktıları arttırarak etkin sınıra yaklaşma bakış açısı istenmeyen çıktılar durumunda farklı bir şekilde ele alınmalıdır (Seiford ve Zhu, 2002). Bu noktadan hareketle, istenmeyen çıktıların varlığı durumunda uygulanabilecek Veri Zarflama Analizi modelleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak Seiford ve Zhu (2002) veya Fare vd. (1989) en yaygın bilinen örnekler olarak verilebilir. Seiford ve Zhu'nun modeli veri ve standart Veri Zarflama Analizi modellerinin dönüşümüne odaklanırken, Fare vd. (1989) tarafından geliştirilen model doğrusal olmayan programlama tabanlı bir Veri Zarflama Analizi yaklaşımıdır (Zhou vd., 2007).

Çevresel performansın ölçümünde Veri Zarflama Analizi'nin kullanıldığı bazı çalışmalar ve bu çalışmalarda dikkate alınan girdi, çıktı ve istenmeyen çıktılar Tablo 3'te gösterilmiştir. Fosil atıkla çalışan elektrik üretim birimlerinde ve atık yönetiminde yapılan çalışmalar firma düzeyinde yapılan çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Makro düzeyde yapılan çevresel performans değerlendirmesine örnek olarak ülkeler düzeyinde enerji tüketimi ve karbondioksit salımı analizi yapan Ramanathan (2005) ve Zhou (2006) örnek olarak verilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere makro analizlerde gayri safi milli hasıla, enerji arzı, nüfus, enerji tüketimi ve karbondiyoksit salımı gibi makro değişkenler dikkate alınırken, mikro düzeyde yapılan analizler işletme bazında değişkenleri kullanmaktadır. Ayrıca analizlerde girdi ve çıktı faktörlerinin yanında istenmeyen çıktı değişkeni de analize dahil edilen bir boyut olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 3. Çevresel Performansı Ölçmeye Yönelik VZA Uygulamalarına Örnekler

| Alan | Değişkenler | Ölçek | Çalışma |
|---|--|-------|--------------------------------------|
| Fosil Atıkla Çalışan Elektrik Birimleri | Çıktı: Elektrik Üretimi Girdiler: Çalışan Sayısı, Fosil Yakıtlar, Sermaye İstenmeyen çıktılar: SO ₂ , NO _x , CO ₂ | Mikro | Fare vd. (1996), Tyteca (1997, 1998) |
| Atık Yönetimi | Çıktı: Atık Sapma Oranı Girdi: Geri Dönüşüm Maliyeti İstenmeyen Çıktı: Çöküntü Atık Oranı | Mikro | Courcelle vd. (1998) |
| CO ₂ Salımı (30 OECD ülkesi) | Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla Girdiler: Enerji Arzı, Nüfus İstenmeyen Çıktı: Karbondioksit (CO ₂) | Makro | Zhou vd. (2006) |
| Enerji tüketimi ve CO ₂ Salımı (17 ülke) | Çıktılar: Fosil Olmayan Yakıt Enerji Tüketimi, Gayri Safi Milli Hasıla Girdiler: Fosil Yakıt Enerji Tüketimi, Karbondioksit Salımı | Makro | Ramanathan (2005) |

1.3. Enerji Etkinliği Ölçümü Uygulamaları

Enerji etkinliğinin ölçülmesi ve gözlenmesi konusu enerji ve çevre çalışmalarında gittikçe gelişen bir konu olarak yerini almaktadır. Enerji etkinliğinin ölçülmesinin önemi ve Veri Zarflama Analizi'nin birçok faktörü bir araya getirebilme yeteneği düşünüldüğünde enerji etkinliğini ölçmeye yönelik çalışmalarda bu tekniğin kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Nitekim, bu konuda yapılmış mikro ve makro düzeyde çalışmalar olduğu gibi, yakın gelecekte enerji etkinliğini ölçmek amacıyla Veri Zarflama Analizi ve türevi tekniklerin kullanımının artacağı öngörülmektedir (Zhou vd., 2007).

Yapılan makro düzeydeki çalışmalar genellikle bölgesel ya da uluslararası ölçekte enerji kullanım performansını ölçmeye yönelik olarak yapılmışlardır. Bu tip çalışmalarda sermaye birikimi, işgücü ve enerji tüketimi gibi makro değişkenler girdi olarak; gayri safi milli hasıla da çıktı olarak alınmıştır. Bu makro değişkenler ışığında çeşitli bölgelerin ya da ülkelerin görece enerji etkinlikleri hesaplanmaktadır. Bu tip çalışmalara örnek olarak Hu ve Wang (2006) ve Hu ve Kao (2007) verilebilir.

Tablo 4. Enerji Etkinliği Ölçmeye Yönelik VZA Uygulaması Örnekleri

| Çalışma | Uygulama Alanı | Değişkenler |
|----------------------|--|---|
| Hu and Wang (2006) | Çin - 29 Eyalet | Girdiler: İşgücü, Sermaye Birikimi, Enerji Tüketimi, Ekili alan toplamı Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla |
| Hu and Kao (2007) | 17 APEC (Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği) Ülkesi | Girdiler: Sermaye Birikimi, İşgücü, Enerji Tüketimi Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla |
| Chauan vd. (2006) | Hindistan - 97 tarım çiftliği | Girdi: Enerji Kullanımı Çıktı: Ürün (Tarım) |
| Onut ve Soner (2006) | Türkiye – Antalya – 32 otel | Girdiler: Personel Sayısı, Yıllık Elektrik Tüketimi, Su Tüketimi, Lpg Tüketimi Çıktılar: Doluluk oranı, Yıllık Toplam Gelir, Toplam Konuk Sayısı |

Veri Zarflama Analizi ile enerji etkinliği ölçme konusunda mikro düzeyde yapılan çalışmalara bakıldığında ise sektörel ya da firma ölçeğinde çalışan sayısı ve yıllık enerji tüketimi gibi faktörler girdi olarak; yıllık gelir ve hizmet sektörü firmaları için müşteri sayısı, üretim sektörü firmaları için üretim miktarı gibi faktörler çıktı olarak alınarak, Veri Zarflama Analizi ile enerji etkinliği ölçümü yapıldığı görülmektedir. Bu tip bir çalışmaya örnek olarak Onut ve Soner (2006) tarafından Antalya'daki 32 beş yıldızlı otel üzerinde yapılan çalışma verilebilir. Bu çalışmada çalışan sayısı, yıllık elektrik, su ve lpg tüketimi girdi olarak; doluluk oranı, yıllık gelirler ve toplam müşteri sayısı da çıktı olarak alınarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi ile otellerin görece enerji etkinlikleri hesaplanmıştır. Chauan vd. (2006) tarafından Hindistan'da gerçekleştirilen çalışmada da benzer bir şekilde kullanılan enerji girdi, elde edilen ürün çıktı olarak alınarak 97 çiftlik için enerji etkinliği ölçümü yapılmıştır.

Enerji etkinliği ölçümü ile Veri Zarflama Analizi'nin bir araya geldiği 4 çalışma, çalışmaların uygulama alanları ve bu çalışmalarda kullanılan değişkenler Tablo 4'te özetlenmiştir. Yapılan çalışmaların temel mantığı, kullanılan enerjinin girdi, üretilen ürünün (ya da elde edilen gelirin) çıktı olarak alınmasıdır. Makro düzeyde yapılan çalışmalarda makro göstergeler değişken olarak alınırken (örn. Gayri Safi Milli Hasıla), işletme düzeyinde mikro göstergeler değişken olarak alınmaktadır (örn. Yıllık Gelir).

1.4. Enerji Alt Sektörlerinde Performans Ölçümü Uygulamaları

Veri Zarflama Analizi, bahsedilen uygulama alanları (Elektrik sanayii, çevre performans ölçümü ve enerji etkinliği ölçümü) dışında, enerjinin farklı

birçok sektöründe de performans ölçüm aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Örnekler arasında gaz sektörü, petrol endüstrisi, kömür madenleri, ve merkezi ısıtma sistemleri sayılabilir. Tablo 5 farklı sektörlerde Veri Zarflama Analizi ile performans ölçüm uygulamalarına ilişkin örnekler içermektedir.

Tablo 5. Enerji Alt sektörlerinde Performans Ölçümünde VZA Uygulaması Örnekleri

| Çalışma | Uygulama Alanı | Değişkenler |
|-------------------------------|--|---|
| Hawdon (2003) | Uluslararası Doğalgaz sektörü (33 Ülke) | Girdiler: Gaz Tüketimi, Müşteri Sayısı Çıktılar: İşgücü, Boru Hattı Uzunluğu |
| Sueyoshi (2000) | Petrol Sektörü (Japon Petrol Şirketi – 60 İstasyon) | Girdiler: Çalışan sayısı, İstasyon Büyüklüğü, İşletme Giderleri Çıktılar: Benzin Miktarı, Petrol Miktarı |
| Raczka (2001) | Merkezi Isıtma Sistemleri (Polonya – 41 tesis) | Girdiler: İşgücü, Yakıt, Kirlilik Çıktı: Isı Üretimi |
| Kulshreshtha ve Parikh (2002) | Kömür Madenleri (Hindistan – 30 bölge) | Girdiler: İşgücü, Madencilik Ekipmanları Çıktılar: Çıkarılan Kömür |

Özet olarak, Veri Zarflama Analizi, Enerji ve Çevre alanında yapılan çalışmalarda bir performans değerlendirme aracı olarak geniş yer bulmuştur. Uygulama alanına ve karar birimlerinin yapısına göre çok çeşitli girdi ve çıktılar dikkate alınarak Veri Zarflama Analizi ve ondan türeyen modeller enerji ve çevre konusunun birçok alanına uygulanmıştır. Başlıca uygulama alanları; elektrik sektörü, çevresel performansın ölçülmesi, enerji etkinliğinin değerlendirilmesi ve enerjinin alt sektörlerinde performansın değerlendirilmesi olarak sıralanmaktadır.

Sadece enerji ve çevre alanında değil, birçok sektörde geleceğin planlanmasında mevcut performansın değerlendirilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, enerji ve çevre alanı için de performans ölçümü, enerjinin daha etkin kullanılabilmesi, sektörün çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi yönünde yapılacak planlama çalışmaları için önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Birimlerin birbirlerine göre performanslarının ölçülmesine olanak sağlayan ve performans ölçümüne parametrik olmayan bir bakış açısı getiren bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi'nin de bu noktada uygulama alanı bulması normaldir.

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Farrell (1957) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan temellerini alan Veri Zarflama Analizi, ilk kez Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortaya atılmıştır. Veri Zarflama Analizi, benzer görevleri yerine getiren örgütler ya da örgüt birimleri arasında, göreceli etkinliğin objektif bir değerlendirilmesini sağlayan doğrusal programlama temelli bir tekniktir. Bu değerlendirme yapılırken birimlerin kullandığı girdi ve ürettiği çıktı miktarları ele alınır. Veri Zarflama Analizinde, girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel ilişkilere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özelliği ile, parametrik olmayan bir etkinlik ölçüm tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Veri Zarflama Analizi'nde amaç, ele alınan girdi ve çıktılar ışığında etkin olan veya etkin olmayan karar birimlerini göreceli olarak belirlemek ve etkin olmayan karar birimlerinin etkinsizlik durumlarının kaynağını analiz etmektir. Bu teknikte, ele alınan girdi ve çıktı değerlerine göre karar birimlerinin etkinlik sınırı belirlenir. Diğer karar birimlerinin etkinlik skorları da bu etkinlik sınırına göre göreceli olarak hesaplanır.

Veri Zarflama Analizi'nde model oluşturulurken, girdi odaklı veya çıktı odaklı olmak üzere iki adet yaklaşım söz konusudur. Girdi odaklı yaklaşım, karar birimlerinin girdi değerleri dikkate alınarak modellenir, etkin sınır buna göre belirlenir ve etkin olmayan birimler için girdileri değiştirmeye yönelik hedefler belirlenir. Çıktı odaklı yaklaşımda ise belirlenen etkin sınıra yaklaşmak için konulan hedefler çıktıların artırılmasına yönelik olarak belirlenir. Banker ve Morey (1986) tarafından yapılan çalışma ile bu iki yaklaşıma, Ölçüt Odaklı (Measure Specific) Veri Zarflama Analizi yaklaşımı da eklenmiştir. Bu yaklaşımda, bütün girdilere veya bütün çıktılara odaklanmak yerine, belirlenen girdi ve çıktılar veya her bir çıktı ayrı ayrı ele alınabilmektedir. Bu yaklaşım, birimlerin yalnızca belli ölçütlerine (girdi veya çıktı) müdahale edilebildiği durumlara yöneliktir. Etkin sınıra yaklaşmak için belirlenen hedefler, sadece ele alınan girdi veya çıktılara yöneliktir.

Veri Zarflama Analizi'nin yukarıda bahsedilen analiz ve ölçek tipleri bir araya getirilerek çeşitli modelleme türleri geliştirilmiştir. Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (Constant Returns to Scale - CRS), Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (Constant Returns to Scale - CRS), Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (Variable Returns to Scale - VRS), Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (Variable Returns to Scale - VRS), Ölçüt Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (Constant Returns to Scale - CRS) ve Ölçüt Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (Variable Returns to Scale - VRS) olmak üzere çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlar aralarında çeşitli yaklaşım farkları bulunan ancak temel olarak benzer mantık üzerinde işleyen doğrusal

programlama modellerine sahiptir. Karar birimlerinin ve kriterlerin, başka bir deyişle verinin yapısına bakılarak değişik tiplerde Veri Zarflama Analizi yaklaşımları kullanılabilir. Genellikle birden fazla türdeki model uygulanarak sonuçların tutarlılığı karşılaştırılır.

2.1. Ölçeğe Göre Sabit Getirili Modeller

Veri Zarflama Analizinde modelleme süreci Karar Birimlerinin (DMU – Decision Making Unit) ve bu karar birimleri ile ilişkili girdi ve çıktıların belirlenmesi ile başlar. n adet karar birimi için, m adet girdi s adet çıktı olduğu varsayımı altında herbir karar birimine DMU_j ($j = 1, \dots, n$) ait girdiler x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) ile çıktılar ise y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$) ile ifade edilmektedir. j indisi karar birimlerini, i ve r indisleri ise girdiler ve çıktıları temsil etmektedir.

Her bir karar biriminin etkinliği, o karar birimine yönelik oluşturulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi ile elde edilir. Etkinliği hesaplanmak istenen, başka bir deyişle değerlendirme altındaki, karar birimi DMU_o ile ifade edilir. DMU_o 'ya ait girdi ve çıktılar ise x_{io} ve y_{ro} ile gösterilir. Buna göre, herhangi bir karar birimi DMU_o 'nun etkinliğini Girdi Odaklı olarak ve Ölçeğe Göre Sabit Getiri (Constant Returns to Scale - CRS) ile ölçen temel Veri Zarflama Analizi modeli Model 1'deki gibi oluşmaktadır.

Minimize θ

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

Model 1'deki θ değeri, değerlendirilen karar birimi DMU_o 'nun etkinlik skorunu ifade etmektedir. λ_j değişkenleri ise, modelin diğer karar değişkenlerini oluşturmakta ve değerlendirilen karar biriminin etkin sınırla olan ilişkisini göstermektedir. Modelin çözülmesi sonucu elde edilen optimal θ^*

değeri 1'e eşit ise değerlendirilen karar birimi etkin sınır üzerindedir. 1'den küçük θ^* değeri karar biriminin etkin olmadığını göstergesidir. Elde edilen λ_j değerleri ile, x_{ij} ve y_{rj} değerleri ile çarpılıp toplanarak, etkin olmayan bir karar birimi için her girdi (i) ve her çıktı (r) açısından etkin sınıra ulaşma hedefleri hesaplanır. Model 1'deki model her bir karar birimi için oluşturulup çözülerek etkin sınırdaki ve olmayan karar birimleri ile etkin sınıra ulaşma hedefleri belirlenir.

Bir karar birimi, etkin sınırdaki olmasına rağmen, girdilerini belli bir miktar azaltarak veya çıktıları belli bir miktar arttırarak etkin sınırdaki başka bir karar birimine yaklaşabilir. Bu durumda, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri içinde de bir sınıflama ortaya çıkmaktadır. Etkin sınırdaki yer alan bazı karar birimleri tam etkinken, bazı karar birimlerinin etkinliği zayıftır; yani bu karar birimleri için daha da etkin olmak için hala yapılabilecek birşeyler vardır. Etkin sınırdaki yer alan bazı karar birimleri için bahsedilen bu fazlalık girdi veya eksik çıktı değerleri gevşeklik değerleri olarak adlandırılır ve girdiler için s_i^- , çıktılar için ise s_r^+ olarak ifade edilirler. Bu gevşeklik değerleri, Model 1'de yer alan standart girdi odaklı ve ölçüğe göre sabit getirili modele değişken olarak eklenerek kısıtlardaki eşitsizlikler eşitlik haline çevrilebilir. Model tam etkinlik ve zayıf etkinlik durumlarını da dikkate alan ve gevşeklik değişkenlerini de kullanan bir yapıya Model 2'deki gibi getirilebilir.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ & \text{Kısıtlar:} \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

Model 2'de Veri Zarflama Analizi'nin, Girdi Odaklı – Ölçüğe Göre Sabit Getirili ve gevşeklik değerlerini de dikkate alan türdeki doğrusal programlama modeli görülmektedir. Model 1'deki modelin kısıtlarına ve hedef fonksiyonuna gevşeklik değişkenleri eklenmiş ve eşitsizlikler eşitliğe çevrilmiştir. Modelin hedef fonksiyonunda yer alan ε değeri Arşimedgil olmayan (non-Archimedean) katsayı olarak bilinen 10^{-6} civarında küçük bir sayıdır ve

modelin, minimizasyonu gevşeklik değerlerini ihmal ederek sadece θ değeri üzerinden yapmasını sağlar.

Bu modele göre; bir karar biriminin tam olarak etkin olabilmesi için modelin çözülmesi ile elde edilen θ^* etkinlik skoru 1'e, s_i^{-*} ve s_r^{+*} değerleri ise 0'a eşit olmalıdır. Etkinlik skoru 1; ancak gevşeklik değerleri 0'dan farklı bir karar biriminin etkinliği zayıf etkinlik olarak adlandırılır. Ölçeğe göre sabit getirili Veri Zarflama Analizi modeli çıktı odaklı olarak da oluşturulabilir.

2.2. Ölçeğe Göre Değişken Getirili Modeller

Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından yapılan çalışma ile Model 2'de görülen ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) yaklaşımına, üretim imkanları kümesinin karar birimlerinin konveks bir kombinasyonu olmasını sağlayan konveksite kısıtı eklenerek BCC (Banker, Charnes ve Cooper) olarak bilinen Veri Zarflama Analizi yaklaşımı ortaya atılmıştır. BCC yaklaşımı ölçeğe göre değişken getiri (Variable Returns to Scale - VRS) varsayımına dayanır. Etkin sınır ölçeğe göre sabit getiri varsayımında olduğunun aksine bir eğri şeklinde oluşur. BCC modeli standart CCR modeline λ_j değişkenlerinin toplamını 1'e eşitleyen bir konveksite kısıtını eklenmesi ile oluşturulur. Ölçeğe göre değişken getiri varsayımının yapıldığı bu modeller de girdi odaklı ve çıktı odaklı olmak üzere iki tipte kurulabilir.

Model 3'te Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi modeli gösterilmektedir. Bu model Model 2'deki girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele yukarıda bahsedilen konveksite kısıtının eklenmesi ile oluşmuştur.

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

Kısıtlar:

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

2.3. Ölçüt Odaklı Modeller

1986 yılında, Banker ve Morey tarafından yapılan çalışma ile Veri Zarflama Analizi'ne yeni bir boyut kazandırılmıştır. Bu yeni yaklaşıma göre, sadece belli çıktı ve girdiler odak noktası olarak alınarak Veri Zarflama Analizi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yaklaşım, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi yaklaşımı olarak isimlendirilmektedir. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ölçeğe göre sabit getiri veya ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında modellenebilmektedir.

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi modelinde $I \subseteq \{1,2,\dots,m\}$ olmak üzere bir girdi kümesi ve $O \subseteq \{1,2,\dots,s\}$ olmak üzere bir çıktı kümesi tanımlanır. Modelleme sürecinde, sadece I kümesinde veya O kümesinde yer alan girdi ve çıktılara odaklanılarak model kurulabilir. Her iki kümede de tek bir girdi veya tek bir çıktı yer alabileceği gibi, birden fazla girdi veya çıktı da yer alabilir. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi karar birimlerinin sadece belirli girdi veya çıktılarına müdahale edilebilen durumlar için uygun bir Veri Zarflama Analizi modelidir.

Model 4'de Belirli Girdilere odaklanan Ölçüt Odaklı ve Ölçeğe Göre Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi modeli gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ & \text{Kısıtlar:} \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io} \quad i \in I \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i \notin I \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1,2,\dots,s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1,2,\dots,n \end{aligned} \tag{4}$$

Model 4'de odaklanılan girdiler, yani I kümesinin elemanı olan girdiler için etkinlik skoru θ 'nın çarpan olduğu bir kısıt yazılırken I kümesinin dışında kalan girdiler için çıktılar için yazılan kısıta benzer şekilde bir kısıt

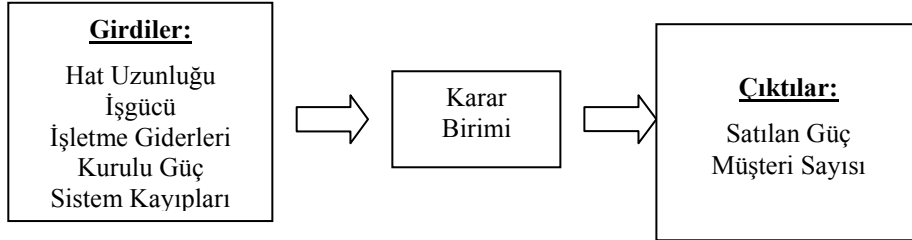
yazılmaktadır. Modeli ölçeye göre değişken getirili bir model haline getirmek için Model 4'teki modele $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ kısıtının eklenmesi yeterlidir.

Özet olarak, Veri Zarflama Analizi, analiz tipi ve odak noktasına göre değişik tiplerde uygulanabilmektedir. Girdilere veya çıktılara odaklanılabileceği gibi, tek tek girdilere veya belirli girdi gruplarına ya da tek tek çıktılara veya belirli çıktı gruplarına odaklanılabilir. Analiz, ölçeye göre sabit getiri ve ölçeye göre değişken getiri olmak üzere iki ayrı varsayım altında gerçekleştirilebilmektedir.

3. ELEKTRİK SANAYİ UYGULAMASI

Bu uygulamada, Türkiye'de yer alan elektrik dağıtım şirketlerinin çeşitli girdi ve çıktılar açısından görece etkinlik ölçümü Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi teknikleri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Model 20 adet karar biriminden (dağıtım şirketinden) oluşmaktadır. Analizde yer alan girdi ve çıktılar Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Elektrik Sanayii Uygulaması Girdi ve Çıktıları



Şekil 1'de görüldüğü üzere, analizde 5 adet girdi (hat uzunluğu, işgücü, işletme giderleri, kurulu güç ve sistem kayıpları) ve 2 adet çıktı (satılan güç ve müşteri sayısı) kullanılmaktadır. Bu girdi ve çıktılar, literatür araştırmasında incelenen çalışmalar ışığında belirlenmiştir. Dağıtım şirketlerinin, analizde yer alan girdi ve çıktılara ait bilgiler, Türkiye'de, üretilen elektriğin dağıtılmasından sorumlu kurum olan Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ)'nden 2006 yılına ait olarak elde edilmiştir.

Analizde yer alan girdilerden biri olan hat uzunluğu, her bir dağıtım şirketinin ünitelerinden çıkan elektrik dağıtım hatlarının kilometre olarak ölçüsünü ifade etmektedir. İşgücü değişkeni olarak, şirketlerde çalışan işçi ve sayılarının toplamı alınmıştır. İşletme giderleri, kurumdan elde edilen bilgiler

içerisinde yer alan 2006 yılına ait harcama kalemi olarak alınmıştır ve birimi Yeni Türk Lirasıdır. Kurulu güçler, mva (milyon voltamper) cinsindedir. Sistem kayıpları, kurumdan elde edilen kayıp-kaçak oranı kaleminden alınmıştır. Müşteri sayısı, her bir dağıtım şirketinin abone sayısını ifade etmektedir. Satılan güç değişkeni ise, dağıtım şirketlerinin 2006 yılında gerçekleştirdikleri elektrik dağıtımının mwh (megawatt-saat) cinsinden değeridir.

Uygulamada Veri Zarflama Analizi, girdi odaklı olarak iki farklı ölçekte (sabit getirili ve değişken getirili) gerçekleştirilmiştir. Veri Zarflama Analizi'nin sadece girdi odaklı olarak gerçekleştirilmesi, modelde yer alan çıktılarının (satılan güç ve müşteri sayısı) talebe bağlı değişkenler olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle, şirketlerin çıktıları kontrol gücü sınırlıdır. Burada, Zhou (2007)'de üzerinde durulan, elektrik üretim veya dağıtım birimlerinin performans ölçümünde çıktıların talebe bağlı olmasından dolayı, girdi odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanmasının daha doğru olacağı yaklaşımından hareket edilmektedir. Veri Zarflama Analizi uygulamasında olduğu gibi, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi de hem ölçüğe göre sabit getirili, hem de ölçüğe göre değişken getirili olarak uygulanmaktadır.

3.1. Veri Zarflama Analizi Uygulaması

20 adet karar birimi ile yukarıda sıralanan 5 girdi ve 2 çıktı kullanılarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'nde elde edilen sonuç raporları, Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmektedir. Tablo 6, sabit ölçekli olarak gerçekleştirilen analizin sonuçlarını özetlerken; Tablo 7'de değişken ölçekte gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'nin sonuçları özetlenmektedir.

Tablo 6'ya bakıldığında, 9 adet karar biriminin etkinlik skorlarının 1'e eşit olduğu başka bir deyişle, 9 adet karar biriminin etkin sınırdaki yer aldığı görülmektedir. Analiz, ölçüğe göre değişken getirili olarak gerçekleştirildiğinde ise etkin sınırdaki yer alan karar birimi sayısının 16'ya yükseldiği gözlemlenmektedir. Bu durum, ölçüğe göre değişken getirili modelde yer alan etkinlik sınırının parçalı bir yapıya sahip olmasının doğal bir sonucudur. Etkinlik sınırı parçalı bir yapıda olduğundan, daha fazla sayıda karar birimini içerisine almaktadır.

Sonuç tablolarında, etkinlik skorlarının yanısıra etkin olmayan birimlerin etkin sınıra yaklaşmaları için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerler yer almaktadır. Bu hedef değerler, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için orijinal değerlere eşittir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için her bir girdi ve çıktı açısından erişmeleri gereken değerler belirtilmektedir. Model girdi odaklı olarak oluşturulduğundan, karar birimlerinin girdi hedefleri dikkate alınmalıdır. Örneğin, ölçüğe göre sabit getirili modelde, etkin sınırdaki yer almayan Diele

EDAŞ dağıtım şirketinin etkin sınıra gelebilmesi için hat uzunluğunu 10.368,11 km'ye, personel sayısını 822 kişiye, işletme giderlerini 20.086.148 YTL'ye, kurulu gücünü 3.177,68 mva'ya ve kayıp kaçak oranını da 9,36'ya düşürmesi gerekmektedir.

Tablo 6. Girdi Odaklı Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuçları

| SONUÇ RAPORU | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| Teknik | Veri Zarflama Analizi | | | | | |
| Karar Birimi Sayısı | 20 | | | | | |
| Girdi Sayısı | 5 | | | | | |
| Çıktı Sayısı | 2 | | | | | |
| Analiz Tipi | Girdi-Odaklı | | | | | |
| Ölçeğe Göre Getiri | Sabit (CRS) | | | | | |
| Problem Tipi | Elektrik Sanayii Uygulaması | | | | | |
| <u>Etkinlik</u> | | | | | | |
| <u>Skorları&Hedefler</u> | | | | | | |
| | Etkinlik | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları |
| DİCLE EDAŞ | 0,674 | 10.368,11 | 822 | 20.086.148,03 | 3.177,68 | 9,36 |
| VANGÖLÜ EDAŞ | 0,709 | 8.119,16 | 421 | 9.588.163,35 | 796,63 | 3,72 |
| ARAS EDAŞ | 0,871 | 17.359,18 | 781 | 20.058.525,63 | 1.377,40 | 7,56 |
| ÇORUH EDAŞ | 1 | 30.243,57 | 1.089 | 33.945.947,00 | 1.661,32 | 12,27 |
| FIRAT EDAŞ | 0,881 | 10.292,82 | 701 | 12.913.409,57 | 1.470,55 | 5,38 |
| ÇAMLIBEL EDAŞ | 0,934 | 15.439,65 | 791 | 18.198.864,29 | 1.489,59 | 7,05 |
| TOROSLAR EDAŞ | 1 | 24.011,72 | 2.092 | 40.840.882,24 | 8.327,42 | 10,83 |
| MERAM EDAŞ | 0,719 | 14.647,47 | 945 | 24.698.553,15 | 4.086,74 | 5,63 |
| BAŞKENT EDAŞ | 1 | 54.544,56 | 3.004 | 80.222.672,00 | 8.162,79 | 9,56 |
| AKDENİZ EDAŞ | 0,817 | 16.713,45 | 930 | 27.505.993,34 | 3.472,28 | 5,41 |
| GEDİZ EDAŞ | 1 | 25.620,66 | 1.425 | 43.595.629,00 | 8.343,61 | 6,48 |
| ULUDAĞ EDAŞ | 1 | 27.945,90 | 1.526 | 45.798.298,00 | 5.489,85 | 8,81 |
| TRAKYA EDAŞ | 0,837 | 6.084,75 | 477 | 11.293.385,71 | 2.572,11 | 3,82 |
| AYEDAŞ | 1 | 11.678,90 | 2.068 | 19.191.407,00 | 5.131,08 | 10,24 |
| SAKARYA EDAŞ | 0,874 | 7.768,00 | 896 | 13.968.735,43 | 4.097,34 | 5,22 |
| OSMANGAZİ EDAŞ | 0,829 | 13.812,17 | 851 | 22.885.929,38 | 3.235,38 | 4,92 |
| BOĞAZİÇİ EDAŞ | 1 | 20.931,45 | 1.864 | 39.024.509,00 | 11.827,87 | 12,25 |
| MENDERES EDAŞ | 0,855 | 11.446,43 | 807 | 19.954.706,78 | 4.203,18 | 5,04 |
| GÖKSU EDAŞ | 1 | 8.816,94 | 654 | 17.402.663,00 | 1.591,00 | 9,33 |
| YEŞİLIRMAK EDAŞ | 1 | 48.602,52 | 1.458 | 42.311.528,00 | 2.854,48 | 9,47 |

Karar birimleri için, yukarıda bahsedilen etkin sınıra gelme hedefleri model girdi odaklı olduğundan, bütün girdileri kapsamaktadır. Etkin sınırda yer almayan bir karar birimi ancak bütün girdiler hedef değerlere getirildiğinde, etkin sınıra gelebilmektedir. İşletmeler açısından, bütün girdi değerlerine müdahale edebilmek her zaman mümkün olmayan bir durum olabilmektedir. Bu noktada, Veri Zarflama Analizi'nin her bir girdi ve çıktıyı odak noktası olarak gerçekleştirilen bir türü olan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi'nin gerçekleştirilmesi ve hedeflerin sadece bir girdiye veya çıktıya yönelik olarak belirlenmesi daha ulaşılabilir bir bakış açısı sunabilir. Uygulamanın ikinci kısmında aynı veriye Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanarak sonuçları tartışılmaktadır.

Tablo 7. Girdi Odaklı Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuçları

| SONUÇ RAPORU | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|---------------|---------------------|
| Teknik | Veri Zarflama Analizi | | | | | |
| Karar Birimi Sayısı | 20 | | | | | |
| Girdi Sayısı | 5 | | | | | |
| Çıktı Sayısı | 2 | | | | | |
| Analiz Tipi | Girdi-Odaklı | | | | | |
| Ölçeğe Göre Getiri | Değişken (VRS) | | | | | |
| Problem Tipi | Elektrik Sanayii Uygulaması | | | | | |
| <u>Etkinlik Skorları&Hedefler</u> | | | | | | |
| | Etkinlik | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları |
| DİCLE EDAŞ | 0,679 | 10.450,28 | 1.050,15 | 19.632.252,79 | 3.202,86 | 9,77 |
| VANGÖLÜ EDAŞ | 1 | 11.450,90 | 931,00 | 18.421.373,00 | 1.123,53 | 63,83 |
| ARAS EDAŞ | 0,948 | 18.904,36 | 970,78 | 23.424.136,12 | 1.500,01 | 22,66 |
| ÇORUH EDAŞ | 1 | 30.243,57 | 1.089,00 | 33.945.947,00 | 1.661,32 | 12,27 |
| FIRAT EDAŞ | 1 | 19.934,51 | 1.189,00 | 14.658.612,00 | 1.669,29 | 11,68 |
| ÇAMLIBEL EDAŞ | 1 | 16.526,40 | 928,00 | 20.310.202,00 | 1.594,44 | 8,55 |
| TOROSLAR EDAŞ | 1 | 51.037,00 | 2.412,00 | 49.077.685,00 | 8.341,59 | 10,85 |
| MERAM EDAŞ | 0,901 | 29.913,86 | 1.059,33 | 30.950.327,32 | 5.121,19 | 7,05 |
| BAŞKENT EDAŞ | 1 | 54.544,56 | 3.004,00 | 80.222.672,00 | 8.162,79 | 9,56 |
| AKDENİZ EDAŞ | 0,930 | 27.430,99 | 1.058,56 | 29.223.001,60 | 3.950,98 | 8,25 |
| GEDİZ EDAŞ | 1 | 25.620,66 | 1.425,00 | 43.595.629,00 | 8.343,61 | 6,48 |
| ULUDAĞ EDAŞ | 1 | 27.945,90 | 1.526,00 | 45.798.298,00 | 5.489,85 | 8,81 |
| TRAKYA EDAŞ | 1 | 7.267,58 | 570,00 | 19.466.837,00 | 3.072,11 | 9,34 |
| AYEDAŞ | 1 | 11.678,90 | 2.068,00 | 19.191.407,00 | 5.131,08 | 10,24 |
| SAKARYA EDAŞ | 1 | 26.901,30 | 1.026,00 | 15.990.052,00 | 6.138,09 | 10,12 |
| OSMANGAZİ EDAŞ | 1 | 16.655,12 | 1.026,00 | 31.067.096,00 | 3.901,32 | 7,24 |
| BOĞAZİÇİ EDAŞ | 1 | 20.931,45 | 1.864,00 | 39.024.509,00 | 11.827,87 | 12,25 |
| MENDERES EDAŞ | 1 | 43.106,82 | 945,00 | 25.894.718,00 | 4.917,76 | 7,11 |
| GÖKSU EDAŞ | 1 | 8.816,94 | 654,00 | 17.402.663,00 | 1.591,00 | 9,33 |
| YEŞİLIRMAK EDAŞ | 1 | 48.602,52 | 1.458,00 | 42.311.528,00 | 2.854,48 | 9,47 |

3.2. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Uygulaması

Elektrik Sanayii Uygulamasının ikinci aşaması olarak, 20 adet karar birimine yukarıda listelenen 5 adet girdi ve 2 adet çıktı kullanılarak, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanmıştır. Bu analizde, her bir girdi ve çıktı, birer birer odak noktası olarak alınarak 5 girdi, 2 çıktı için 7 adet analiz gerçekleştirilmektedir.

Her bir girdi ve çıktının odak alındığı analizlerde elde edilen etkinlik skorları ölçeğe göre sabit getirili model için Tablo 8’de, ölçeğe göre değişken getirili model için Tablo 9’da sonuç raporları şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 8’e bakıldığında, girdi odaklı ve sabit getirili olarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi’ne göre etkin sınırdaki yer alan 8 adet şirketin (Çoruh, Başkent, Gediz, Uludağ, Ayedaş, Boğaziçi, Göksu ve Yeşilirmak) ölçüt odaklı olarak yapılan analizlerde de her bir girdi veya çıktı açısından etkin sınırdaki oldukları görülmektedir. Girdi odaklı ve ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkin sınırdaki yer alan Toroslar dağıtım şirketinin ölçüt odaklı modele göre etkin sınırdaki yer almadığı gözlemlenmektedir. Tablo 8 incelendiğinde Toroslar EDAŞ’ın hat uzunluğu haricindeki girdi ve çıktılarının odak alındığı modellerde yüksek etkinlik skorları göstermesine rağmen, hat uzunluğu odaklı modelde etkinlik skorunun 0,455 ile diğerlerine göre düşük bir değer aldığı görülmektedir. Bu noktadan hareketle, Toroslar EDAŞ için etkinliğin en büyük kaynağının benzer miktarda çıktıyı, yüksek miktarda hat uzunluğu ile üretmesi olduğu söylenebilir.

Uygulamanın ilk kısmında gerçekleştirilen girdi odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen etkinlik skorları ile Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen etkinlik skorları kıyaslanarak, etkin sınırdaki olmayan bir karar biriminin etkinliğin en büyük rol oynayan değişkeni belirlenebilmektedir. Örneğin, girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modelde etkinlik skoru 0,674 olan Dicle dağıtım şirketinin (bkz. Tablo 6), ölçüt odaklı ölçeğe göre sabit getirili ve odak noktası sistem kayıpları alınarak gerçekleştirilen analizde etkinlik skoru 0,047 olarak (bkz. Tablo 8) elde edilmiştir. Benzer şekilde, girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkinlik skoru 0,709 olan Vangölü EDAŞ için (bkz. Tablo 6), ölçüt odaklı ölçeğe göre sabit getirili modelde sistem kayıpları odak alındığında elde edilen etkinlik skoru 0,019 olarak (bkz. Tablo 8) elde edilmektedir. Veriye bakıldığında, Dicle ve Vangölü dağıtım şirketleri için sistem kaybı değerlerinin diğer karar birimlerine göre çok yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, iki ayrı modeldeki etkinlik skorları arasındaki büyük farklara bakarak, bu iki karar birimi için etkinliğin en büyük kaynağının yüksek sistem kayıpları olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Tablo 8. Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Sonuçları

| SONUÇ RAPORU | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| Teknik Karar Birimi Sayısı | Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi | | | | | | |
| Girdi Sayısı | 20 | | | | | | |
| Çıktı Sayısı | 5 | | | | | | |
| Ölçeğe Göre Getiri | 2 | | | | | | |
| Problem Tipi | Sabit (CRS) | | | | | | |
| | Elektrik Sanayii Uygulaması | | | | | | |
| Etkinlik Skorları | | | | | | | |
| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
| DİCLE EDAŞ VANGÖLÜ EDAŞ | 0,409 | 0,313 | 0,386 | 0,626 | 0,047 | 1,484 | 1,903 |
| ARAS EDAŞ | 0,195 | 0,239 | 0,205 | 0,601 | 0,019 | 2,429 | 1,410 |
| ÇORUH EDAŞ | 0,589 | 0,395 | 0,444 | 0,811 | 0,125 | 1,591 | 1,149 |
| FIRAT EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ÇAMLIBEL EDAŞ | 0,225 | 0,361 | 0,474 | 0,872 | 0,208 | 1,258 | 1,146 |
| TOROGLAR EDAŞ | 0,760 | 0,658 | 0,755 | 0,909 | 0,483 | 1,210 | 1,070 |
| MERAM EDAŞ | 0,455 | 0,720 | 0,813 | 0,998 | 0,959 | 1,003 | 1,011 |
| BAŞKENT EDAŞ | 0,243 | 0,379 | 0,424 | 0,640 | 0,536 | 1,686 | 1,391 |
| AKDENİZ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GEDİZ EDAŞ | 0,235 | 0,640 | 0,244 | 0,788 | 0,488 | 1,354 | 1,223 |
| ULUDAĞ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TRAKYA EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AYEDAŞ SAKARYA EDAŞ | 0,649 | 0,737 | 0,452 | 0,798 | 0,238 | 1,194 | 1,348 |
| OSMANGAZİ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BOĞAZİÇİ EDAŞ | 0,284 | 0,664 | 0,862 | 0,627 | 0,432 | 1,301 | 1,145 |
| MENDERES EDAŞ | 0,424 | 0,629 | 0,404 | 0,779 | 0,540 | 1,383 | 1,206 |
| GÖKSU EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| YEŞİLIRMAK EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tablo 9. Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Sonuçları

| SONUÇ RAPORU | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| Teknik | Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi | | | | | | |
| Karar Birimi Sayısı | 20 | | | | | | |
| Girdi Sayısı | 5 | | | | | | |
| Çıktı Sayısı | 2 | | | | | | |
| Ölçeğe Göre Getiri | Değişken (VRS) | | | | | | |
| Problem Tipi | Elektrik Sanayii Uygulaması | | | | | | |
| <u>Etkinlik Skorları</u> | | | | | | | |
| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
| DİCLE EDAŞ | 0,558 | 0,389 | 0,567 | 0,666 | 0,133 | 1,434 | 1,889 |
| VANGÖLÜ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ARAS EDAŞ | 0,812 | 0,601 | 0,614 | 0,930 | 0,340 | 1,519 | 1,086 |
| ÇORUH EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| FIRAT EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ÇAMLİBEL EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TOROSLAR EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MERAM EDAŞ | 0,472 | 0,484 | 0,709 | 0,738 | 0,887 | 1,683 | 1,253 |
| BAŞKENT EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AKDENİZ EDAŞ | 0,403 | 0,843 | 0,402 | 0,820 | 0,826 | 1,353 | 1,130 |
| GEDİZ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ULUDAĞ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TRAKYA EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AYEDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SAKARYA EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| OSMANGAZİ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BOĞAZİÇİ EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MENDERES EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GÖKSU EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| YEŞİLIRMAK EDAŞ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Bu sonuçlar arasında, odak noktası alınan girdi veya çıktı için oluşan hedef değeri dikkate alınmalıdır. 5 girdi ve 2 adet çıktı için elde edilen 7 sonuç sonuç sayfasından her bir kriter için hedef değerleri alınmış ve bu değerlerin orijinal değerlerden yüzde değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen hedef değerleri, ölçüğe göre sabit getirili model için Tablo 10'da, ölçüğe göre değişken getirili model için Tablo 11'de özetlenmektedir.

Tablo 10. Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Hedef Yüzdeleri

| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
|------------|--------------|----------|-------------------|------------|------------------|-------------|----------------|
| DİCLE | -59,15% | -219,31% | -61,40% | -37,40% | -95,27% | 48,39% | 90,31% |
| VANGÖLÜ | -80,47% | -318,46% | -79,52% | -39,90% | -98,06% | 142,94% | 41,04% |
| ARAS | -41,08% | -153,42% | -55,64% | -18,87% | -87,47% | 59,06% | 14,85% |
| ÇORUH | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| FIRAT | -77,55% | -177,00% | -52,57% | -12,78% | -79,16% | 25,83% | 14,63% |
| ÇAMLIBEL | -23,98% | -51,91% | -24,54% | -9,06% | -51,70% | 21,02% | 7,04% |
| TOROSLAR | -54,45% | -38,80% | -18,67% | -0,18% | -4,06% | 0,27% | 1,10% |
| MERAM | -75,68% | -163,74% | -57,62% | -36,01% | -46,43% | 68,58% | 39,09% |
| BAŞKENT | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| AKDENİZ | -76,50% | -56,29% | -75,57% | -21,18% | -51,23% | 35,36% | 22,33% |
| GEDİZ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| ULUDAĞ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| TRAKYA | -35,09% | -35,69% | -54,82% | -20,19% | -76,19% | 19,44% | 34,82% |
| AYEDAŞ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| SAKARYA | -71,56% | -50,59% | -13,75% | -37,25% | -56,76% | 30,13% | 14,47% |
| OSMANGAZİ | -57,56% | -59,08% | -59,57% | -22,13% | -46,01% | 38,34% | 20,58% |
| BOĞAZIÇI | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| MENDERES | -81,32% | -31,78% | -43,23% | -23,67% | -40,63% | 47,93% | 17,00% |
| GÖKSU | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| YEŞİLIRMAK | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Tablo 10 ve Tablo 11'e bakıldığında etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için hedef yüzdelerinin 0 olduğu görülmektedir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için ise etkin sınıra gelebilmeleri için girdi veya çıktılarda gerçekleştirmeleri gereken yüzde değişimler gösterilmektedir. Örneğin, ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkin sınırdaki yer almayan Menderes dağıtım şirketinin, bu modele göre etkin sınıra gelebilmesi için şu hedeflerden herhangi birisini gerçekleştirmesi yeterli olacaktır; hat uzunluğunu %81,32 oranında azaltması, işgücünü %31,78 oranında azaltması, işletme giderlerini %43,23 oranında düşürmesi, kurulu gücünü %23,67 oranında düşürmesi, sistem kayıplarını %40,63 oranında azaltması, satılan gücü %47,93 oranında artırması ya da müşteri sayısını %17 oranında arttırması. Şirket, bu alternatiflerden herhangi birini gerçekleştirdiğinde etkin sınırdaki yer alacaktır. Satılan güç ve müşteri sayısı talebe bağlı değişkenler olduğundan şirketin müdahale edebilme olasılığı düşüktür. Ayrıca hat uzunluğunun kısaltılması veya kurulu gücün düşürülmesi de işletme açısından makul değişiklikler değildir. Bu durumda, Menderes dağıtım şirketi için işgücü, işletme giderleri veya sistem kayıplarında belirtilen hedeflerin, etkin sınıra gelmek için makul ve gerçekçi hedefler olduğu söylenebilir.

Tablo 11. Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Hedef Yüzdeleri

| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
|------------|--------------|---------|-------------------|------------|------------------|-------------|----------------|
| DİCLE | -44,17% | -61,10% | -43,34% | -33,35% | -86,73% | 43,41% | 88,85% |
| VANGÖLÜ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| ARAS | -18,76% | -39,89% | -38,65% | -7,03% | -65,97% | 51,88% | 8,64% |
| ÇORUH | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| FIRAT | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| ÇAMLİBEL | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| TOROSLAR | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| MERAM | -52,78% | -51,59% | -29,13% | -26,20% | -11,25% | 68,26% | 25,28% |
| BAŞKENT | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| AKDENİZ | -59,74% | -15,65% | -59,78% | -17,95% | -17,35% | 35,26% | 13,05% |
| GEDİZ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| ULUDAĞ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| TRAKYA | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| AYEDAŞ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| SAKARYA | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| OSMANGAZİ | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| BOĞAZIÇI | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| MENDERES | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| GÖKSU | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| YEŞİLIRMAK | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen sonuçlardan yararlanılarak gerçekleştirilen bir başka analiz de, dağıtım şirketlerinin yer aldığı Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesine (Akdeniz, Ege, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara ve Güneydoğu Anadolu) göre gruplanması ve her bir coğrafi bölge için etkinlik skorlarının elde edilmesidir. Bu analizde, Zhu (2000)'de üzerinde durulan ve firmaların yer aldığı sektörlere göre gruplanarak sektör etkinliklerinin hesaplandığı modelden yararlanılmıştır. Girdilerin odak alındığı modeller için Model 5'te gösterilen, çıktıların odak alındığı modeller için Model 6'da gösterilen formüller kullanılmıştır.

$$I_k^F = \sum_{d \in F} \theta_d^{k*} \frac{x_{kd}}{\sum_{d \in F} x_{kd}} = \frac{\sum_{d \in F} x_{kd}^*}{\sum_{d \in F} x_{kd}} \quad (5)$$

$$O_q^F = \sum_{d \in F} \phi_d^{q*} \frac{y_{qd}}{\sum_{d \in F} y_{qd}} = \frac{\sum_{d \in F} y_{qd}^*}{\sum_{d \in F} y_{qd}} \quad (6)$$

Model 5'te I_k^F ifadesi girdilerin odak alındığı modeller için bölge etkinlik skorunu ifade etmektedir. F ifadesi bölgede yer alan birimlerin kümesini, x_{kd} ifadesi ise d karar biriminin k girdisindeki değerini göstermektedir. x_{kd} değerlerinin etkinlik skorları (θ_d^{k*}) ile çarpım toplamı sonucu x_{kd}^* değerleri elde edilmektedir. Bu değerlerin toplamı olan $\sum_{d \in F} x_{kd}^*$ değeri x_{kd} değerleri toplamına bölünerek bölgenin etkinlik skoru elde edilmektedir. Model 6'da de benzer bir şekilde, O_q^F ifadesi F bölgesinin etkinlik skorunu, y_{qd} ifadesi karar biriminin çıktı değerini belirtmektedir. Bir modele göre bir bölgenin etkinlik skorunun 1 olabilmesi için, o bölgede yer alan bütün karar birimlerinin söz konusu modele göre etkin sınırdaki yer alıyor olması gereklidir.

Model 5 ve 6'da gösterilen formüller ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulaması yapılması ile elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanan elektrik dağıtım şirketlerinin yer aldığı yedi coğrafi bölgenin bölge etkinlik skorları Tablo 12 ve Tablo 13'te özetlenmiştir. Tablo 12'de ölçeğe göre sabit getirili olarak kurulan model sonuçları, Tablo 13'te ise ölçeğe göre değişken getirili olarak kurulan model sonuçları vardır. Tablolarda, her bölge için, her bir girdi veya çıktı odak alınarak gerçekleştirilen analizlerle elde edilen etkinlik skorları görülmektedir.

Tablo 12. Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları

| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
|--------------|--------------|--------|-------------------|------------|------------------|-------------|----------------|
| Akdeniz | 0,428 | 0,742 | 0,578 | 0,935 | 0,828 | 1,086 | 1,076 |
| Doğu Anadolu | 0,360 | 0,343 | 0,383 | 0,781 | 0,070 | 1,590 | 1,206 |
| Ege | 0,477 | 0,821 | 0,705 | 0,882 | 0,701 | 1,186 | 1,100 |
| Güneydoğu | 0,409 | 0,313 | 0,386 | 0,626 | 0,047 | 1,484 | 1,903 |
| İç anadolu | 0,715 | 0,739 | 0,816 | 0,858 | 0,690 | 1,239 | 1,123 |
| Karadeniz | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Marmara | 0,770 | 0,930 | 0,908 | 0,908 | 0,747 | 1,057 | 1,046 |

Tablo 13. Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları

| | Hat Uzunluğu | İşgücü | İşletme Giderleri | Kurulu Güç | Sistem Kayıpları | Satılan Güç | Müşteri Sayısı |
|--------------|--------------|--------|-------------------|------------|------------------|-------------|----------------|
| Akdeniz | 0,786 | 0,958 | 0,725 | 0,946 | 0,947 | 1,084 | 1,041 |
| Doğu Anadolu | 0,927 | 0,835 | 0,808 | 0,975 | 0,815 | 1,179 | 1,035 |
| Ege | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Güneydoğu | 0,558 | 0,389 | 0,567 | 0,666 | 0,133 | 1,434 | 1,889 |
| İç anadolu | 0,827 | 0,827 | 0,926 | 0,904 | 0,966 | 1,214 | 1,073 |
| Karadeniz | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Marmara | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tablo 12'ye bakıldığında yalnızca Karadeniz bölgesi'nin etkin sınırdaki olduğu görülmektedir. Karadeniz bölgesinde yer alan dağıtım şirketleri olan Çoruh ve Yeşilirmak şirketlerinin, ölçeğe göre sabit getirili modelde bütün ölçütler açısından etkin sınırdaki yer alması bu durumun nedenidir (bkz. Tablo 8). Tablo 13'e bakıldığında ise ölçeğe göre değişken getirili modelde etkin sınırdaki yer alan bölge sayısının üçe çıktığı görülmektedir. Ege, Karadeniz ve Marmara bölgesinde yer alan dağıtım şirketlerinin ölçüt odaklı değişken getirili modelde her bir değişken açısından etkin sınırdaki yer alması bu durumu oluşturan nedendir.

Tablo 12 ve Tablo 13'de dikkati çeken bir diğer nokta ise, sistem kayıpları açısından Güneydoğu Anadolu bölgesinin etkinlik skorlarıdır. Ölçeğe göre sabit getirili modelde Güneydoğu Anadolu bölgesinin etkinlik skoru 0,047, ölçeğe göre değişken getirili modelde ise 0,133 olarak yer almaktadır. Sistem kaybı oranının bu bölgede yer alan tek dağıtım şirketi olan Dicle EDAŞ için yüksek olması Güneydoğu Anadolu bölgesinin sistem kayıpları etkinlik skorunun bu denli düşük olmasının temel nedenidir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı ve artan enerji kullanımının çevreye gittikçe daha fazla zarar verdiği anlaşılması ile birlikte enerjiyi etkin bir şekilde üretmek, üretilen enerjiyi verimli kullanmak, enerji kullanımının çevreye verdiği zararları yönetebilmek ve enerji ile çevre konularında ileriye dönük rasyonel politikalar üretebilmek gibi konular hem makro hem de mikro düzeyde çok daha fazla önem kazanmıştır.

Enerji ve çevre konularına yönelik olarak 1970 ve 1980'lerde ortaya çıkan ve gittikçe artan bu bilinç, bu alanlarda birçok tekniğin geliştirilmesinin ve uygulanmasının yolunu açmıştır. Ekonometrik teknikler, öngörü teknikleri, optimizasyon teknikleri ve karar analizi teknikleri gibi birçok matematiksel teknik, enerji ve çevre konularında uygulama alanı bulmuştur. Bu teknikler, enerji ve çevre politikalarını hem makro, hem de mikro düzeylerde daha etkin bir şekilde yönetebilmek amacı ile enerji ve çevre konularına uygun hale getirilerek yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, öncelikle enerji ve çevre konusunda veri zarflama analizi uygulamaları ile ilgili literatür uygulama alanlarına göre dört ana grupta toplanarak örnekleri ile sunulmuştur. Bu alanlar; Elektrik Sanayii, Çevresel Performans Ölçümü, Enerji Etkinliği Ölçümü, Enerji Alt Sektörlerinde Performans Ölçümüdür (Petrol, doğalgaz, kömür vb.). Bu alanlardan elektrik sanayii uygulamaları literatürde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmada ikinci olarak, Türkiye elektrik sanayiinde yer alan yirmi adet dağıtım şirketi Veri Zarflama Analizi yaklaşımları ile değerlendirilmiştir. Uygulamada enerji kullanımı açısından etkin sınırdaki yer alan dağıtım şirketlerinin yanısıra, etkin sınırdaki yer almayan şirketler için etkin sınıra gelmeleri için gerekli olan hedef değerler iki farklı yaklaşımla (Standart Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi) belirlenmiştir. Standart Veri Zarflama Analizi yaklaşımında etkin sınırdaki yer almayan bir karar birimi ancak bütün girdiler hedef değerlere getirildiğinde, etkin sınıra gelebilmektedir. Oysa bu durum gerçekte mümkün olmayabilir. Nitekim çalışmada kullanılan değişkenlerden, satılan güç ve müşteri sayısı talebe bağlı değişkenler olduğundan şirketin müdahale edebilme olasılığı düşüktür. Ayrıca hat uzunluğunun kısaltılması veya kurulu gücün düşürülmesi de işletme açısından makul değişiklikler değildir. Bu durumda, dağıtım şirketi için işgücü, işletme giderleri veya sistem kayıplarında belirtilen hedeflerin, etkin sınıra gelmek için makul ve gerçekçi hedefler olduğu söylenebilir. Bu noktada, Veri Zarflama Analizi'nin her bir girdi ve çıktıyı odak noktası olarak gerçekleştirilen bir türü olan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi'nin gerçekleştirilmesi ve

hedeflerin sadece bir girdiye veya çıktıya yönelik olarak belirlenmesi daha ulaşılabilir bir bakış açısı sunmuştur.

Çalışmada son olarak, dağıtım şirketlerinin etkinlik skorlarından hareketle şirketlerin yer aldığı bölgeler için bölge etkinlik skorları da elde edilmiştir. Karadeniz, Ege ve Marmara etkin bölgeler olarak göze çarparken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi özellikle sistem kayıpları değişkeninin etkisiyle en düşük etkinlik skoru olan bölge olarak bulunmuştur. Çalışma, genel olarak Türkiye elektrik sanayii için artan enerji talebinin karşılanmasında var olan dağıtım şebekelerinin etkinliğinin artırılmasında kullanılabilecek matematiksel bir yaklaşımı uygulamalı olarak ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Banker, R.D., A. Charnes and W.W. Cooper (1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". **Management Science**, 30, 1078–1092.
- Banker, R.D. and R.C. Morey (1986) "Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs", **Operations Research**, 34(4), 513–521.
- Boyd, G.A. and J.D. McClelland (1999) "The impact of Environmental Constraints on Productivity Improvement in Integrated Paper Plants", **Journal of Environmental Economics and Management**, 38, 121–142.
- Boyd, G.A., G. Tolley and J. Pang (2002) "Plant level Productivity, Efficiency, and Environmental Performance of the Container Glass Industry", **Environmental and Resource Economics**, 23, 29–43.
- Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes (1978) "Measuring the Efficiency of Decision Making units", **European Journal of Operational Research**, 2, 429–444.
- Chauhan, N.S., P.K.J. Mohapatra and K.P. Pandey (2006) "Improving Energy Productivity in Paddy Production Through Benchmarking – An Application of Data Envelopment Analysis", **Energy Conversion and Management**, 47, 1063–1085.
- Cook, W.D. and R.H. Green (2005). "Evaluating power plant efficiency: A hierarchical model". **Computers & Operations Research**. 32, 813–823.
- Courcelle, C., M. Installé, M.P. Kestemont and D. Tyteca (1998) "Assessing the Economic and Environmental Performance of Municipal Solid Waste Management". **Waste Management & Research**, 16, 253-262.

- Diakoulaki, D., C. Zopounidis, G. Mavrotas and M. Doumpos (1999) “The use of a Preference Disaggregation Method in Energy Analysis and Policy Making”, **Energy**, 24, 157–66.
- Edvardson, D.F. and F.R. Førsund (2003) “International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities”, **Resource and Energy Economics**, 25, 353–371.
- Fare, R., S. Grosskopf and J. Logan (1985) “The Relative Performance of Publicly-Owned and Privately-Owner Electric Utilities”, **Journal of Public Economics**, 26, 89–106.
- Fare, R., S. Grosskopf, C.A.K. Lovell and C. Pasurka (1989) “Multilateral Productivity Comparisons when some Outputs are Undesirable: A Nonparametric Approach”. **The Review of Economics and Statistics**, 71, 90–98.
- Fare, R., S. Grosskopf and D. Tyteca (1996) “An Activity Analysis Model of the Environmental Performance of Firms: Application to Fossil fuel-fired Electric Utilities”, **Ecological Economics**, 18, 161–175.
- Fare, R., S. Grosskopf and F. Hernandez-Sancho (2004) “Environmental Performance: An Index Number Approach”, **Resource and Energy Economics**, 26, 343–352.
- Farrell, M.J. (1957) “The Measurement of Productive Efficiency”, **Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)**, 120, 253–281.
- Førsund, F.R. and S.A.C. Kittelsen (1998) “Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities”, **Resource and Energy Economics**, 20, 207–224.
- Golany, B., Y. Roll and D. Rybak (1994) “Measuring Efficiency of Power Plants in Israel by data Envelopment Analysis”, **IEEE Transactions on Engineering Management**, 41, 291–301.
- Goto, M. and M. Tsutsui (1998) “Comparison of Productive and Cost Efficiencies Among Japanese and US Electric Utilities”, **Omega**, 26, 177–194.
- Hawdon, D., (2003) “Efficiency, Performance and Regulation of the International Gas Industry – A Bootstrap DEA Approach”, **Energy Policy**, 31, 1167–1178.
- Hernandez-Sancho, F., A.J. Picazo-Tadeo and E. Reig-Martinez (2000) “Efficiency and Environmental Regulation”, **Environmental and Resource Economics**, 15, 365–378.

- Hjalmarsson, L. and A. Veiderpass (1992) "Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution", **Scandinavian Journal of Economics** **94 (supplement)**, 193–205.
- Hu, J.L. and C.H. Kao (2007) "Efficient Energy-Saving Targets for APEC Economies", **Energy Policy**, **35**, 373–382.
- Hu, J.L. and S.C. Wang (2006) "Total-Factor Energy Efficiency of Regions in China", **Energy Policy**, **34**, 3206–3217.
- Jamasb, T. and M. Pollitt (2001) "Benchmarking and Regulation: International Electricity Experience", **Utilities Policy**, **9**, 107–130.
- Jamasb, T. and M. Pollitt (2003) "International Benchmarking and Regulation: An Application to European Electricity Distribution Utilities", **Energy Policy**, **31**, 1609–1622.
- Kulshreshtha, M. and J.K. Parikh (2002) "Study of Efficiency and Productivity Growth in Opencast and Unsergroud Coal Mining in India: A DEA Analysis", **Energy Economics**, **24**, 439–453.
- Lam, P.L. and A. Shiu (2001) "A Data Envelopment Analysis of the Efficiency of China's Thermal Power Generation", **Utilities Policy**, **10**, 75–83.
- Lo, F.Y., C.F. Chien and J.T. Lin (2001) "A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and Investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company", **IEEE Transactions on Power Systems**, **16**, 170–178.
- Loken, E. (2007) "Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **11**, 1584–1595.
- Mendilcioğlu M. (2000) "Restructuring the Turkish Electricity Market", **World Energy Council-Turkish National Committee. Proceedings of the Turkish Eighth Energy Congress: Opening Talks, Invited Papers and Panels, 8– 12 May, 2000**, 169–76.
- Onut, S. and S. Soner (2006) "Energy Efficiency Assessment for the Antalya Region Hotels in Turkey", **Energy And Buildings**, **38**, 964–971.
- Pombo, C. and R. Taborde (2006) "Performance and Efficiency in Colombia's Power Distribution System: Effects of the 1994 Reform", **Energy Economics**, **28**, 339–369.
- Raczka, J. (2001) "Explaining The Performance of Heat Plants in Poland", **Energy Economics**, **23**, 355–370.

- Ramanathan, R. (2002) “Combing Indicators of Energy Consumption and CO2 Emissions: A Cross-Country Comparison”. **International Journal of Global Energy Issues**, 17, 214–227.
- Ramanathan, R. (2005) “An Analysis of Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions in Countries of the Middle East and North Africa”, **Energy**, 30, 2831–2842.
- Seiford, L.M. and J. Zhu (2002) “Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation”, **European Journal of Operational Research**, 142, 16–20.
- Sueyoshi, T. (2000) “Stochastic DEA for Restructure Strategy: An Application to A Japanese Petroleum Company”, **Omega**, 28, 385–398.
- Tyteca, D. (1997) “Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms – Concepts and Empirical Results”, **Journal of Productivity Analysis**, 8, 183–197.
- Tyteca, D. (1998) “Sustainability Indicators at the Firm Level: Pollution and Resource Efficiency As A Necessary Condition Toward Sustainability”, **Journal of Industrial Ecology**, 2, 61–77.
- Weyman-Jones, T.G. (1991) “Productive Efficiency in A Regulated Industry: The Area Electricity Boards of England and Wales”, **Energy Economics**, 13, 116–122.
- World Energy Council-Turkish National Committee (2000) “Energy Statistics 1998”. **Proceedings of the Turkish Eighth Energy Congress**, Ankara, 8–12 May, 2000, 177–273.
- Zaim, O. and F. Taskin (2000) “Environmental Efficiency in Carbon Dioxide Emissions in the OECD: A Non-Parametric Approach”, **Journal of Environmental Management**, 58, 95–107.
- Zhu, J. (2000) “Multi-Factor Performance Measure Model with an Application to Fortune 500 Companies”, **European Journal of Operational Research**, 123, 105-124.
- Zhu, J. (2002) “Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis With Spreadsheets”, **Boston: Kluwer Academic Publishers**.
- Zhou, P., B.W. Ang and K.L. Poh (2006) “Slacks-Based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance”, **Ecological Economics**, 60, 111–118.
- Zhou, P., B.W. Ang and K.L. Poh (2007) “A Survey of Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Studies”, **European Journal of Operational Research**, 189(1), 1 – 18.