

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜMÜNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ
MODELLERİNİN KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERT ÖZGÜR**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

ARALIK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜMÜNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ
MODELLERİNİN KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mert ÖZGÜR
(301081020)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ekim 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ (İTÜ)
Prof. Dr. Zeynep Düriye BİLGE (YTÜ)**

ARALIK 2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmam esnasında yardımlarını, yorumlarını esirgemeyen fikirlerine her zaman önem verdiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Sermin Onaygil'e, verilerin elde edilmesinde bilgi paylaşımında bulunan tüm firmalara ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme sonsuz teşekkürler.

EKİM 2011

Mert ÖZGÜR

Makine Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÜRETİMDE ETKİNLİK	3
3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ	11
3.1 Temel Veri Zarflama Prensipleri.....	11
3.1.1 Bir Girdi Bir Çıktı Modeli	12
3.1.2 İki Girdi Bir Çıktı Modeli	14
3.1.3 Bir Girdi İki Çıktı Modeli	15
3.2 Enerji Etkinliğinin Ölçümünde Kullanılabilecek Veri Zarflama Analiz Modelleri.....	18
3.2.1 CCR Veri Zarflama Analizi Modeli.....	18
3.2.1.1 Girdiye Yönelik CCR Modeli	18
3.2.1.2 Çıktıya Yönelik CCR Modeli	21
3.2.2 BCC Veri Zarflama Analizi Modeli.....	23
3.2.3 Gevşeklik Tabanlı Etkinlik Ölçümü (GTE)	25
3.2.4 Güvenli Bölge Yöntemi	28
3.2.5 Kontrol Edilemeyen Değişken Modeli	29
3.2.6 Keyfi Olmayan Sınırlandırılmış Değişkenler Modeli	30
3.2.7 Kategorilendirilmiş Model	31
3.2.8 Ayrılabilir – Ayrılamaz / İstenen – İstenmeyen Çıktılar Modeli	34
3.2.9 Zamanla Değişen Etkinlik Modeli – Pencere Analizi.....	36
3.3 Veri Zarflama Analizinin Uygulanması.....	38
3.3.1 Uygun Modelin Seçilmesi.....	38
3.3.2 Serbestlik Derecesi.....	39
3.3.3 Pozitif Değişkenlik Kuralı	39
3.3.4 Ağırlıklandırma ve Önem Sırasının Belirlenmesi.....	40
4. ENERJİ ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KULLANIMI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	41
4.1 Enerji Verimliliği ve Enerji Verimliliğinin Produktiviteye Etkilerinin İncelendiği Araştırmalar	45
4.1.1 Makro Ölçekli Araştırmalar	46
4.1.2 Mikro Ölçekli Araştırmalar	46
5. İMALAT SEKTÖRÜNDE ENERJİ ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ	49
6. SONUÇ	59
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
APEC	: Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği Ülkeleri
BCC	: Banker Charnes Cooper
CCR	: Charnes Cooper ve Rhodes
PV	: Fotovoltaik
GTE	: Gevşeklik Tabanlı Etkinlik
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
İSO	: İstanbul Sanayi Odası
KVB	: Karar Verme Birimi
kWh	: Kilo watt saat
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PPM	: Milyonda Bir Parçacık
TEP	: Ton Eşdeğeri Petrol
TJ	: Tera Joule
TÜİK	: Türk İstatistik Kurumu
VZA	: Veri Zarflama Analizi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 2001 yılı İmalat sanayinde sanayi grubuna göre enerji tüketimi [8].....	7
Çizelge 3.1 : Bir girdi bir çıktı modeli.....	12
Çizelge 3.2 : Bir girdi bir çıktı modeli etkinlik sonuçları.....	13
Çizelge 3.3 : İki girdi bir çıktı modeli	14
Çizelge 3.4 : Bir girdi iki çıktı modeli.....	16
Çizelge 3.5 : Pencere Analiz Yöntemi.....	37
Çizelge 5.1 : 13 sanayi kuruluşu için proses girdi ve çıktı değerleri özet tablosu.....	53
Çizelge 5.2 : İmalat sanayi veri zarflama analizi hesaplama çıktıları.	54
Çizelge 5.3 : 7 Prosesin girdi ve çıktı değerleri özet tablosu.....	56
Çizelge 5.4 : 38 Kodlu kuruluşlar için hesaplama çıktıları	56
Çizelge 5.5 : 38 Kodlu kuruluşlar için verimlilik öngörülleri	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : OECD ülkelerinin kuramsal enerji tüketimleri ile gerçekleşen enerji tüketimlerinin karşılaştırılması [5]	5
Şekil 2.2 : Dünya’da yıllara göre birincil enerjiye olan talebin projeksiyonu [6]	6
Şekil 2.3 : 2005 Yılı sektörlere göre enerji tüketim değerleri (TEP) [7]	6
Şekil 2.4 : Yıllar bazında sanayi üretim endeksi ve kapasite kullanım oranı [9]	8
Şekil 3.1 : Bir girdi bir çıktı modeli	12
Şekil 3.2 : Bir girdi bir çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi	13
Şekil 3.3 : İki girdi bir çıktı modeli	14
Şekil 3.4 : İki girdi bir çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi	15
Şekil 3.5 : Bir girdi iki çıktı modeli	16
Şekil 3.6 : Bir girdi iki çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi	17
Şekil 3.7 : BCC ve CCR modelleri etkin sınır çizgileri karşılaştırması	24
Şekil 3.8 : BCC modeli ve proses trendi karşılaştırması	25
Şekil 3.9 : Kategorilendirilmiş modelin algoritması	33
Şekil 4.1 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların kategori dağılımı (%) [25]	42
Şekil 4.2 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların konu olduğu ülkelerin dağılımları (%)	44
Şekil 4.3 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların konu dağılımları (%)	45
Şekil 5.1 : Araştırmaya konu olan kuruluşların sanayi sınıflandırması	52
Şekil 5.2 : 38 kodlu kuruluşların hesaplama çıktıları	57

SEMBOL LİSTESİ

e	: Pozitif bir skaler katsayı
$l_{1,2}$	: Güvenli bölge modeline ait girdi değişkenleri alt sınır değeri
$L_{1,2}$	: Güvenli bölge modeline ait çıktı değişkenleri alt sınır değeri
m	: Proses girdi sayısı
m^3	: Metre küp
n	: Karar verme birim sayısı
s	: Proses çıktı sayısı
P	: Güvenli bölge girdi değişkenleri alt ve üst sınır değerleri vektörü
Q	: Güvenli bölge çıktı değişkenleri alt ve üst sınır değerleri vektörü
S^-	: Girdi değişkeninin gevşeklik değerinin bir skaler sayı ile çarpılmış formu
s^-	: Girdi değişkeninin gevşekliği
S^+	: Çıktı değişkeninin gevşeklik değerinin bir skaler sayı ile çarpılmış formu
s^+	: Çıktı değişkeninin gevşekliği
t	: Skaler bir sayı
u	: Proses çıktısı ağırlığı
$u_{1,2}$	: Güvenli bölge modeline ait girdi değişkenleri üst sınır değeri
$U_{1,2}$	: Güvenli bölge modeline ait çıktı değişkenleri üst sınır değeri
v	: Proses girdisi ağırlığı
X	: Proses girdisi değişkenleri vektörü
x	: Proses girdisi değişkeni
x^C	: Kontrol edilebilen girdi değişkeni
x^N	: Kontrol edilemeyen girdi değişkeni
x^{NS}	: Ayrıştırılamayan girdi değişkeni
Y	: Proses çıktısı değişkenleri vektörü
y	: Proses çıktısı değişkeni
y^b	: İstenmeyen proses çıktısı
y^C	: Kontrol edilebilen çıktı değişkeni
y^g	: İstenen proses çıktısı
y^N	: Kontrol edilemeyen çıktı değişkeni
y^{NS}	: Ayrıştırılamayan çıktı değişkeni
θ	: Girdiye yönelik veri zarflama analizi etkinlik değeri
Λ	: Lineer programda girdiye yönelik dualite vektörünün skaler bir büyüklükle çarpılmış formu
λ	: Lineer programda girdiye yönelik dualite vektörü
μ	: Lineer programda çıktıya yönelik dualite vektörü
α	: Ayrıl原因 ve istenmeyen çıktı değerlerine verilen skaler bir katsayı
η	: Çıktıya yönelik veri zarflama analizi etkinlik değeri
ρ	: Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümünde etkinlik değeri

ENERJİ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜMÜNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİNİN KULLANIMI

ÖZET

Enerji verimliliğinin önemi, özellikle 1970’li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi ile kaynakların sınırlı, talebin sınırsız olduğu iktisadi varsayımın doğruluğu ve insanoğlu enerji arzının tehlikeye girmesi ile daha bilinçli bir şekilde anlaşıldı. Gün geçtikçe enerji kaynaklarına bağımlılık artmış, enerji piyasaları global olay ve politikalar ile birlikte durağan rejimden daha dalgalı rejime geçerek sonuçları önceden tahmini zorlaştıran daha belirsiz bir hale bürünmüştür.

Monopol piyasa koşullarında sürekli rakip firmalar ile fiyat ve kalite konularında mücadele eden imalat sanayi firmaları, yüksek enerji tüketim oranları ile değişen dünya konjüktüründen en fazla etkilenen endüstrilerin başında gelmektedir. Piyasaya kaliteli ve düşük maliyetli ürün veya hizmet sunmak isteyen sektör firmaları çok değişkenli piyasada gelir pasta payını büyütme için enerji verimliliği üzerine çalışmalar yürütmektedir. Enerjinin etkin kullanımını ele alan çalışmaların amacı, enerji piyasasının fiyat ve arz değişimlerini sönümleyerek aynı sektördeki diğer firmalara göre üstün konuma gelmektir.

İmalata dayalı sanayide farklı büyüklük ve farklı proseslere sahip birçok firmanın birbiri ile enerji kullanımının etkinliğinin karşılaştırılmasının yapılması birçok zaman güç olmaktadır. İmalat süreçlerine giren girdi ve çıktı değerleri, her zaman aynı birim kullanımı ile ölçülememektedir. Bu gibi koşullarda doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan veri zarflama analizi yöntemlerinin kullanılması faydalı olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında veri zarflama analizinin tanımı, çalışma prensibi ve enerji etkinliğinin ölçümünde kullanılması uygun olacak veri zarflama analizi yöntemlerine yer verilmiştir. Ayrıca literatürde enerji ve çevre konusunda veri zarflama analizi ile yapılmış çalışmalar incelenmiş, kullanılan yöntemler ile birlikte tanımlanan iş süreçleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Enerji etkinliğinin ölçülmesine uygun veri zarflama analizi yöntemleri kullanılarak, İstanbul Sanayi Odası imalat sanayi 2009 yılı “İlk 500 ve İkinci 500” raporunda adı geçen firmalar arasından seçilen bir grup sanayi kuruluşu için enerji etkinliği analizi yapılmıştır. Son bölümde ise, yapılan çalışmaların çıktıları kullanılan yöntemler ışığında irdelenmiş ve enerji etkinliği ölçümü çalışmaları için öneriler sunulmuştur.

MEASURING ENERGY EFFICIENCY WITH DATA ENVELOPMENT ANALYSIS MODELS

SUMMARY

The significance of energy efficiency has been understood with the one of the most well known assumption in economics, “sources are limited, demand is infinite” when human being’s energy supply was dramatically low during 1970s’ oil crisis. In last decades while dependency to the energy resources has been increasing, energy market behaviors have been changing from stable trend to more fluctuating regime, which making projection for decision making is extremely risky, by global incidents and politics.

One of the industries which influenced from kaleidoscopic conjuncture of the World with price and quality to obtain proportion from monopole market pie through high level energy consumption and dependency to energy markets is manufacturing industry. Manufacturing companies maintain energy efficiency projects to reduce the dependency to energy resources, indirectly to unpredictably changing manufacturing costs through energy inputs. The purpose of these projects is to suspend marginal changes in energy costs and supply security effects caused by fluctuating energy markets to gain valuable advantage to increase the market share among the other industry companies.

There are various types of companies with diverse scales of production and different processes to manufacture goods or provide services. This issue causes a disadvantage in benchmarking of energy efficiency, yet process input and output variables’ units may not be able to be compared with parametric models. In these kinds of cases linear programming based non-parametric data envelopment analysis models bring advantage in benchmarking.

In the context of this thesis, principals and fundamentals of data envelopment analysis and some suitable methods to evaluate energy efficiency are explained. Moreover, peer reviewed researches in energy and environment issues with data envelopment analysis are analyzed and used methods, process explanations are specified.

In addition, an energy efficiency evaluation research is explained with some of the specified data envelopment analysis methods among selected enterprises which were published in Istanbul Chamber of Industry’s Turkey’s top 500 and second 500 industrial enterprises reports. In the last part of this thesis, according to selected methods, outputs are evaluated and some suggestions for the prospect energy efficiency studies are shared.

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği terimi ve enerji verimliliğinin önemi, 70’li yıllarda tüm dünyayı derinden etkileyen ve enerji arzının her zaman insanoğlunun talebini karşılayacak oranda mümkün olamayacağını gösteren kriz ile birlikte anlanmaya başlanmıştır. Bu durum petrol üreten ve ihraç eden ülkeler ile petrol ithal eden ülkelerin çatışmasına da neden olmuştur. Özellikle günümüz dünyasında ortaya çıkan olaylar enerji politikaları ile birlikte enerji arzının da tehlikede olduğu sinyallerini vermektedir.

İktisadi kavramların tanımlanmasında kaynakların sınırlı, taleplerin sonsuz olduğu varsayımı ön plana çıkmaktadır. Bu durum yalnızca ekonomi bilimi ile sınırlı değil, tüm fen bilimlerinde de geçerli bir varsayımdır. Petrol krizi ile başlayan yeni süreçte özellikle enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkelerin yenilenebilir enerji ile birlikte enerji verimliliği üzerine yaptığı çalışmalar, iktisadi varsayımın pratikte de kullanılabilir ve kullanılması gereken bir öge olduğunu doğrulamaktadır.

Enerji krizinden önce enerji fiyatlarını endekslemek için kullanılan varil petrol fiyatlarının durağan veya sürpriz bir şekilde dalgalanmadığı bir dünyadan, 1970’li yıllar ile birlikte sosyal ve siyasi birçok olaydan etkilenecek değişikliklere çok çabuk tepki veren, elastik bir yapıya bürünen enerji piyasası, özellikle monopol piyasa koşullarında sürekli rakip firmaların birbiri üzerine fiyat, kalite konularında üstünlük sağlamaya çalıştığı bir ortamda önemli bir girdi maliyeti oluşturmaktadır. Sürekli değişen piyasa koşullarına enerji piyasasındaki istikrarsız değişimin de eklenmesi bilinmeyen sayısını daha da çoğaltıp, karar verme aşamasında üst seviye yönetimlerin rasyonel kararlar alabilmelerini zorlaştırmaktadır. Piyasaya daha düşük maliyetli kaliteli ürünlerin sunulabilmesinde önemli bir proses girdisi olan enerji maliyetlerinin düşürülmesi, yani enerjiyi daha etkin kullanabilme yetisinin geliştirilmesi, monopol rekabet yapılan piyasalarda diğer rakip firmalara karşı üstünlük sağlamak isteyen şirketlerin bir basamak daha önde olmalarını sağlayacak önemli bir fırsattır. Öğrenilebilen ve pratik olarak uygulanabilen enerjinin etkin kullanımı, şirketlerin kendi içlerinde birim kaliteli üretim için optimum üretim koşullarında harcanması gerekli enerji miktarının ölçülmesi ve iyileştirilmesi ile

açıklanabilir. Enerjiyi etkin kullanan şirketlerin bu konuda yürüttükleri enerji verimliliği projelerinin esas amacı enerji piyasalarındaki fiyat ve arz değişimlerinin sönümlenerek aynı sektördeki diğer firmalara göre değişen piyasa koşullarında daha üstün konuma geçebilmektir.

İmalat sanayi, özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomisinde söz sahibi olan lokomotif endüstri olarak görülmektedir. Üretim endüstrisinin ekonomide büyük paya sahip olması, bu endüstrinin enerji tüketim değerlerinin diğer endüstrilere oranla daha yüksek olduğunu açıklamaktadır. İmalat sanayinde farklı büyüklük ve farklı proseslere sahip birçok firmanın, birbiri ile enerji kullanım etkinliklerinin karşılaştırılması birçok zaman güç olmaktadır. İmalat süreçlerine giren girdi ve çıktı değerleri her zaman aynı birim kullanımı ile ölçülememektedir. Bu gibi koşullarda doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan veri zarflama analizi yöntemlerinin kullanılması faydalı olmaktadır.

Veri zarflama analizi, Farrell (1957) tarafından “Prodüktivite Etkinlik Ölçümü” başlıklı makale ile hayat bulmuş ve Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından endüstriyel bağlamda kullanımın yolunu açan tanımlamalar ve öneriler ile geliştirilmiştir [1] [2]. Bu tez çalışması kapsamında veri zarflama analizinin tanımı, çalışma prensibi ve enerji etkinliğinin ölçümünde kullanılması uygun olan Farrell yaklaşımı ile akademik çevreye temelleri tanıtılan veri zarflama analizinin uygulaması konusunda geliştirilmiş yöntemlere yer verilmiştir. Ayrıca literatürde enerji ve çevre konusunda veri zarflama analizi ile yapılmış çalışmalar incelenmiş, kullanılan yöntemler ile birlikte tanımlanan iş süreçleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez kapsamında incelenen veri zarflama analizi yöntemlerinden biri kullanılarak, İstanbul Sanayi Odası imalat sanayi 2009 yılı “Türkiye’nin Birinci 500 Büyük Sanayi Kuruluşu ile “Türkiye’nin İkinci 500 Büyük Sanayi Kuruluşu” raporlarında yer alan firmalar arasından seçilen bir grup için enerji etkinliği analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Tezin son bölümünde ise bu çalışmanın genişletilmesi ve yaygın kullanılabilmesi için gerekli çalışmalar tanımlanarak, tez kapsamında yapılan araştırmalardan çıkarılan sonuçlar ve diğer çözüm önerileri sunulmaya çalışılmıştır.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÜRETİMDE ETKİNLİK

Tüm ekonomik faaliyetlerin temel amacı insan yaşam standardının yükseltilmesidir. Bu amaca hizmet edebilmek için daha kısa sürede, daha kaliteli, çevreye daha çok duyarlı ürün veya hizmetlerin sunulması gerekmektedir. Ürün ve hizmetlerin yukarıda sıralanan faktörleri sağlayacak şekilde sunulması ise verimliliğin artırılması ve verimliliğin sürdürülebilirliği ile mümkündür.

Kaynakların limitli, isteklerin sonsuz olduğu varsayımı ile kaynakların etkin ve verimli kullanılması, verimlilik artışı ile birlikte, gelecek nesillere de refah ve huzurlu bir ortam sağlanabilmesi insani bir zorunluluktur.

Verimlilik makro bağlamda, Milli Prodüktivite Merkezi'nin tanımı ile, firma rekabet gücünü belirlemede ve geliştirmede en önemli kriterlerden biridir. Verimlilik artışları; hükümetlerin, işveren ve işçilerin, çalışanların ortak uzlaşma temelinde yoksulluğu azaltma, insan haklarını ve ekonomik demokrasiyi geliştirme, yaşam kalitesini ilerletme hedeflerinde kullanılan en etkili stratejilerden biridir [3].

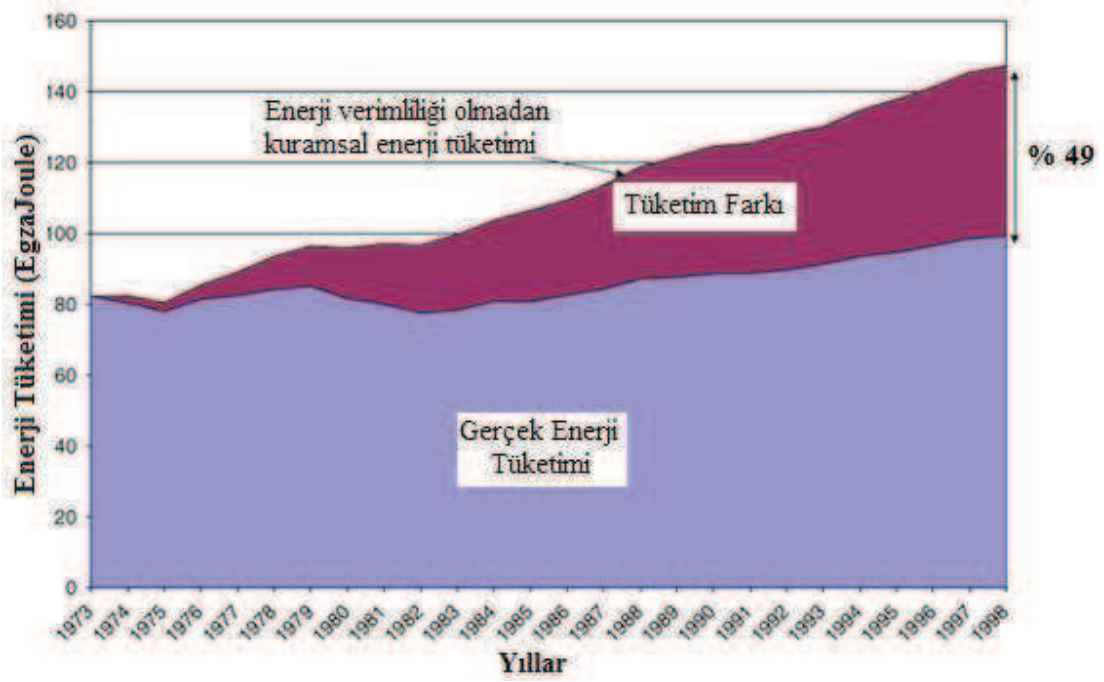
Bir milletin ekonomisi ne kadar etkin olursa, ulusal gelir de o derece yüksek olacaktır. Yüksek gelir seviyesi de yatırımlar ile ulusun büyümesine daha çok katkıda bulunacak ve ulus vatandaşlarının refah standartlarını değiştirecektir. Bu sebeple makro ölçekte verimlilik yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda siyasi, sosyal ve çevresel faktörleri de etkileyen, bu alanların gelişimine temel sağlayan önemli bir göstergedir.

Ekonomi denklemlerinde coğrafi sınır etmenlerinin risk ağırlığının değiştiği günümüzde, yalnızca bilgi değil aynı zamanda ürün ve hizmetin de küresel olarak kolayca erişilebildiği dünya düzeni yaşadığımız yüzyıl içerisinde kendisini göstererek, birçok endüstri kuruluşunun strateji hedeflerini yeniden düzenlemesine neden olmuştur. Endüstri kuruluşlarının kurumsal sürdürülebilirliği yakalayabilmesi için, değişen rekabet düzeninde sunduğu ürün veya hizmetlerin fiyat, kalite, memnuniyet gibi temel unsurlar çerçevesinde, aynı veya yerine kullanılabilen ürün veya hizmetler ile yarışabilir durumda olması gerekmektedir. Bu durumda endüstri

kuruluşlarının yaratıcı fikirler ile ürünlerini farklılaştırarak diğer ürün grupları içerisinde yeri doldurulamaz bir öge yaratması ya da üretilen ürün veya sunulan hizmetin oluşturulma prosesindeki kaynak kullanımını azaltması gerekmektedir. Bu fırsatlardan en çabuk uygulanabilir olanı, endüstri kuruluşlarının sundukları ürün veya hizmette kaliteden ödün vermeyerek çalışma prensiplerini büyük oranda koruyarak, marjinal bir değişikliğe büyük oranda ihtiyaç duymayan, kullanılan kaynak miktarının azaltımı çalışmalarıdır.

Enerji kaynaklarının kullanımı imalat endüstrisinde üretimin yapılabilmesi için gerekli temel girdilerin başında gelmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler listesinde bulunan Türkiye'nin fosil yakıtlara olan talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra fosil yakıt rezervleri ise gün geçtikçe tükenmekte ve bir noktadan sonra talebe karşılık veremeyecek duruma geleceği hakkında projeksiyonlar çizilmektedir. İşletmelerde üretim kapasitesinin arttırılması, enerji kaynaklarına olan bağımlılığın da artmasına neden olacaktır. Gelişmekte olan ülkeler endüstriyel olarak sürekli bir gelişim halinde oldukları için, enerjiye olan talebin logaritmik şekilde artmasını engelleyebilecek bir çözüm, enerji kaynaklarının kullanımında yapılabilecek geliştirmelerin, iyileştirmelerin belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Bu geliştirmeler ısı, gaz, buhar, basınçlı hava, elektrik gibi birçok çeşitli formlarda olabilen enerji kayıpları ile her çeşit atığın değerlendirilmesi veya geri kazanılması yada yeni teknoloji kullanma yolu ile üretimi düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılması olarak adlandırılabilir enerji verimliliği çalışmaları ile mümkün olabilir [4].

Son 40 yıllık süreç içerisinde enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar küresel enerji dengesi için önemli bir kavram halini almıştır. OECD ülkelerindeki enerji tüketimi, 1973 petrol krizi sonrası değişen politikalar ve stratejiler çerçevesinde enerji yoğunluğunu düşürmeye yönelik çalışmaları hızlandırmış ve olumlu sonuçlar elde edilen uygulamalar ile enerji yoğunlukları düşürülmüştür. OECD ülkelerindeki enerji yoğunlukları değişmeden aynı oranda artmaya devam etseydi, Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, 1998 yılındaki enerji tüketimi o yıla ait enerji tüketiminden % 49 oranında daha fazla olacaktı [5].

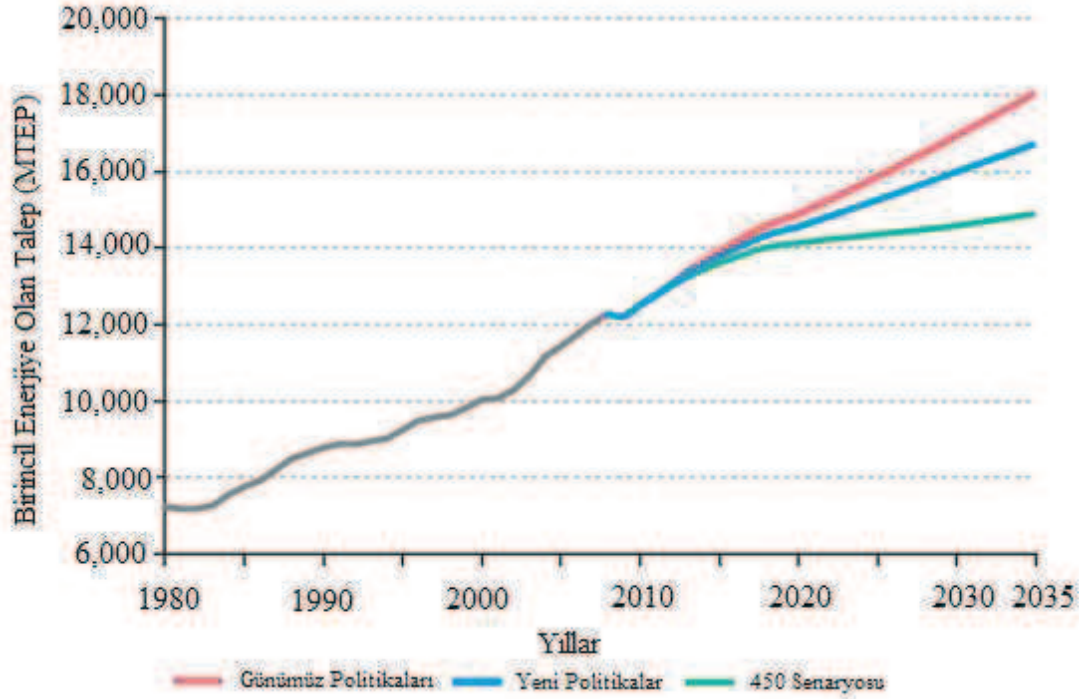


Şekil 2.1 OECD ülkelerinin kuramsal enerji tüketimleri ile gerçekleşen enerji tüketimlerinin karşılaştırılması [5]

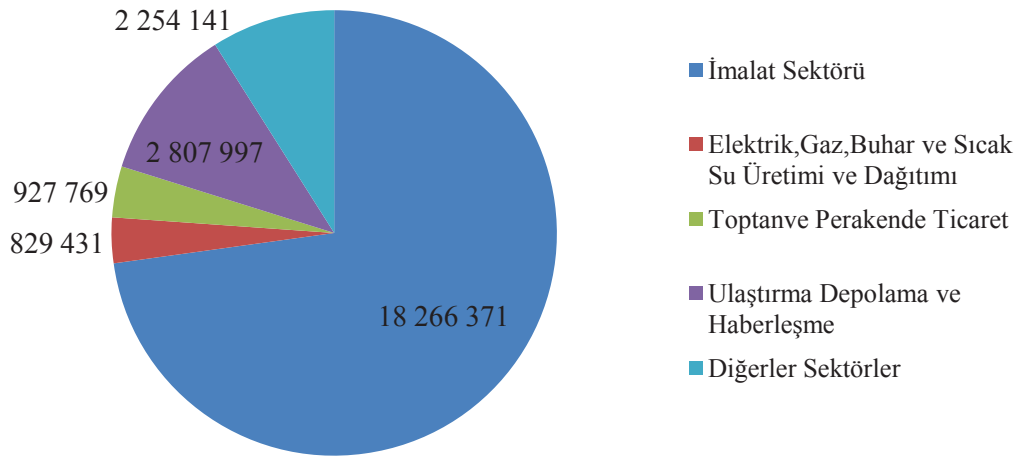
Şekil 2.2’de sunulan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın tahminlerine göre, günümüz politikaları ve vaad edilen yeni politikalar çerçevesinde 2008 yılından 2035 yılına doğru birincil enerji tüketiminde yıllık % 1.2 artış ile 16,750 milyon TEP değerine ulaşılacağı, şu an gerçekleşen 4,500 milyon TEP’lik tüketimden daha fazla olacak bu değerın günümüz tüketimine kıyasla %36’lık bir artış oranına ulaşacağı öngörülmektedir. Şu an için geçerli olan politikalar kapsamında enerji talebinde yıllık % 1.8 oranında artış olduğu dikkate alındığında, 2035’te öngörülen bu tüketim değerinin % 8 daha fazla gerçekleşeceği ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, IEA’nın 2008 yılında öngördüğü atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu 450 ppm seviyesinde tutma çalışması “Senaryo 450” başarı ile uygulanabildiğinde ise, birincil enerji tüketiminde yılda sadece % 0.7 artış ile, 2035 yılında tahmin edilen birincil enerji tüketimi değerinin % 11 daha az olabileceği de öngörülmektedir [6].

Ülkemizde en yoğun enerji kullanan sektör “İmalat” sektörüdür. İmalat sektörünün harcadığı enerji miktarı TÜİK’in yayınladığı 2005 verilerine göre diğer sektörler ile karşılaştırıldığında 18,266,371 TEP değeri ile tüm sektörlerin enerji tüketiminin %72.82’lik bir oranını kapsamaktadır [7]. Sektörlerin enerji tüketim grafiği Şekil 2.3’te sunulmuştur. Enerji tüketiminin imalat sektöründe daha yüksek oranda olması, bu alanda yapılacak enerji verimliliği projeleri ile enerjiye olan talebin ivmesinin

değiştirilmesi sonucunda, ülke bütününde enerjiye olan talebin önemli ölçüde değiştirilebileceğini göstermektedir. Bu durum, ülke enerji yoğunluğu değerinin de düşmesine olanak sağlayacaktır.



Şekil 2.2 Dünya’da yıllara göre birincil enerjiye olan talebin projeksiyonu [6]



Şekil 2.3 2005 Yılı sektörlere göre enerji tüketim değerleri (TEP) [7]

TÜİK’in yayınladığı 2001 yılı imalat sanayinde enerji tüketim değerleri incelendiğinde, Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, sektörel bazda en fazla enerji tüketiminin gerçekleştiği imalat sanayinde (3 kodlu) en yüksek payın 37 kodlu

metal ana sanayine ait olduğu anlaşılmaktadır [8]. Sektörel bazda kabul edilen uluslararası standart sanayi sınıflaması listesi EK-A’da yer almaktadır.

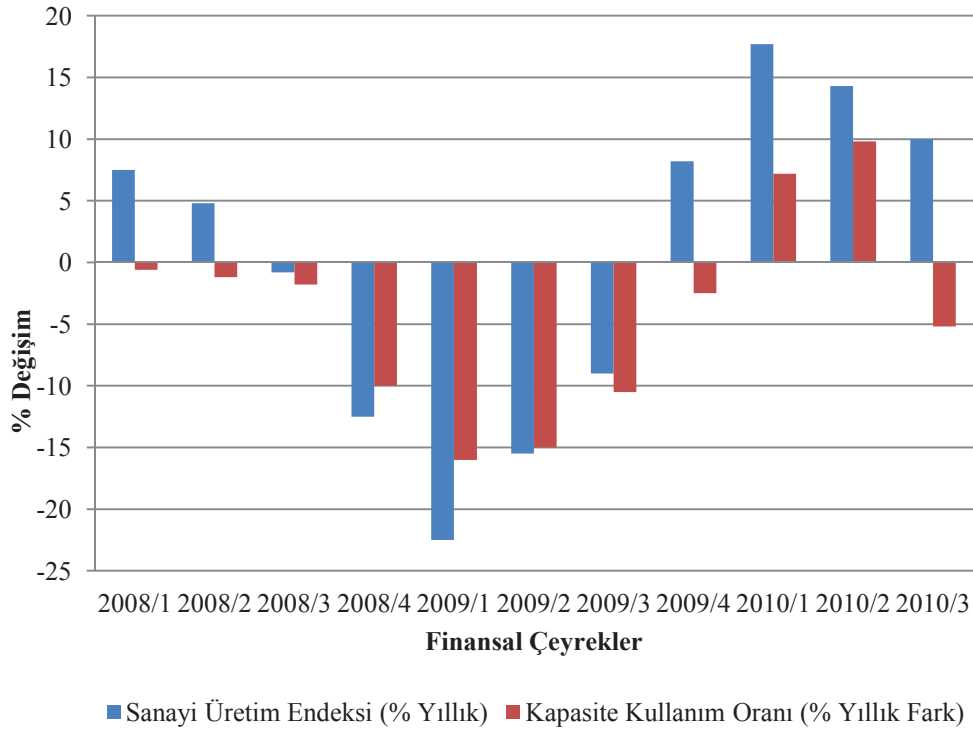
Çizelge 2.1 : 2001 yılı İmalat sanayinde sanayi grubuna göre enerji tüketimi [8]

Sanayi grubu	Toplam	Yakıt TEP	Elektrik
3	15,100,704	13,215,431	1,885,273
31	1,165,254	1,059,756	105,498
32	1,165,270	826,267	339,003
33	106,641	83,093	23,548
34	709,661	630,355	79,306
35	2,779,456	2,602,229	177,227
36	3,927,409	3,525,354	402,055
37	4,823,752	4,208,070	615,682
38	328,572	202,226	126,346
39	-	-	-

İstikrarlı bir şekilde büyümekte olan ekonomi, en çok enerji tüketim değerine sahip imalat endüstrisinden direkt olarak etkilenmektedir. Ekonomideki değişiklikler de, enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan imalat sektörünü doğrudan etkileyecek ve enerji kullanım değerlerine olumlu veya olumsuz olarak yansıyacaktır. Bu durumda gelişmekte olan bir ülkenin özellikle üretim endüstrisinin bu büyümeye olan katkısı ile birlikte enerji talebi de gelişme oranına bağlı olarak artış gösterecektir.

2010 mali yılının sonunda Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası’nın yayınladığı “Finansal İstikrar Raporu”na göre 2010 yılının üçüncü çeyreğindeki istikrarlı büyüme, sanayi üretimi ve kapasite kullanım oranlarına da yansımıştır. Artış hızı 2010 yılının son çeyreğine doğru azalsa da, olumlu artışın devam ettiği Şekil 2.4’te görülmektedir. 2010 yılının üçüncü çeyreğindeki üretim artışı bir önceki yılın üçüncü çeyreğine göre % 10 seviyelerindeyken kapasite kullanım oranı ise 2009 yılının aynı mali çeyreğine göre % 5.4 artış göstererek % 74 seviyesine çıkmıştır [9]. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nın aylık yayınladığı sanayi üretim endekslerine göre 2011 yılı Ocak ayında bir önceki yılın aynı ayına göre sanayi üretim endeksi % 18.9 artış göstermiştir [10]. Finansal çeyrekler bazında eğilimi gösteren grafik Şekil 2.4’te sunulmuştur. Bu göstergelere göre üretim endeksi ve kapasite kullanımı giderek artmaktadır. Bu artışın en büyük sebebi küresel krizin izlerinin giderilmeye

başlanması ve Türkiye’deki referandum öncesi siyasi belirsizlikten sonra tüketici güveni ve yatırım eğiliminin tekrar yükselmeye başlamasıdır [9].



Şekil 2.4 Yıllar bazında sanayi üretim endeksi ve kapasite kullanım oranı [9]

Sanayi kapasite kullanım oranı ve üretim endeksinde artış, üretimde kullanılacak enerji girdisinin artmakta olduğunun bir göstergesidir. Kaynakların sınırlı, taleplerin sınırsız olduğu varsayılırsa Türkiye’de, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve dolayısıyla yüksek kapasite kullanımı ve üretim endeksindeki artış sebebi ile üretimde kullanılacak enerji miktarının artmasına bağlı olarak, monopol piyasanın etkileri göz önünde tutularak “birim üretime düşen maliyetlerden enerji kullanımının optimizasyonuna” yönelik çalışmaların gün geçtikçe daha da önemli olacağı bir geleceğe doğru yol alındığı bir gerçektir. Bu süreçte enerjinin ve diğer üretim girdilerinin etkili bir şekilde kullanımı ve bu etkinliğin ölçümünün önem kazanacağı da unutulmamalıdır.

Verimlilik oranları, üretim sürecinde kaynak kullanımını belirleyen temel bir gösterge olarak hem üretim hem de girdi kullanım kararları üzerinde etkili olmakta ve üretim sürecinin kontrol edilip geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu oranlar ayrıca işletmeler arası karşılaştırmalarda da önemli ipuçları vermektedir [3].

Her zaman girdi ve çıktı parametreleri aynı birimler ile ifade edilemeyebilir. Örneğin bir endüstri çıktısının CO₂ miktarı veya atık su olması durumunda çevreye olan maliyet her zaman hesaplanamamaktadır. Bu gibi durumlarda verimlilik değerlerinin hesaplanabilmesi ve çeşitli kuruluşlar arasında karşılaştırmanın yapılabilmesi için parametrik olmayan yöntemlerin kullanımı gereklidir. Parametrik olmayan yöntemlerden “Veri Zarflama Analizi”, doğrusal programlama prensibi ile farklı imalat endüstrisi kuruluşları arasında enerji verimliliği performans değerlendirmesinde kullanılabilecek yöntemlerin başında gelmektedir. Bundan sonraki bölümde veri zarflama analizinin genel prensiplerine yer verilecek ve enerji projelerinde kullanımı uygun veri zarflama analizi modelleri tanıtılacaktır.

3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Veri zarflama yöntemi (VZA), bir prosesteki girdi ve çıktıları performans verileri üzerinden zarflayarak sınır değerler tanımlayan doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir.

Bu çalışma, Farrell (1957) tarafından hazırlanan “Prodüktivite Etkinlik Ölçümü” başlıklı makale ile hayat bulmuş ve Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından da endüstriyel bağlamda kullanımın yolunu açan tanımlamalar ve öneriler ile geliştirilmiştir [1] [2].

Aynı girdi ve çıktıların kullanımı ile elde edilen performans değerlerinin kıyaslanabilmesi için Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından “Karar Verme Birimi (KVB)” tanımı yapılmıştır [2]. Kıyaslanan karar verme birimlerinin her birindeki girdilerin proste aynı işlevi göstermesi ve yine kıyaslanacak sonuçların benzer boyutta olması beklenmektedir.

VZA ayrıca analistler ile karar verme yetkisi bulunanlar arasında kritik girdi ve çıktıların seçimi, değişik vakalara karşı nasıl bir tutum sergilenebileceği hakkında sağlıklı bilgiler sağlamaktadır. VZA’nın bir başka üstünlüğü de analiz edilen prosesin, diğer proses üniteleri ile kıyaslamaları, duyarlılık analizleri, farklı senaryolara karşı sistemin vereceği tepkinin ne olacağı, potansiyel fırsatların veya zayıf noktaların neler olduğu hakkında bilgi vermesidir.

3.1 Temel Veri Zarflama Prensipleri

Veri zarflama analizi yöntemi birçok girdi ve çıktı değişkenine sahip farklı modeller ile çalışabilmektedir. Bu başlık altında temel olarak veri zarflama prensipleri ele alınacaktır. Bu modeller: “bir girdi bir çıktı modeli”, “iki girdi bir çıktı modeli” ve “bir girdi iki çıktı modeli”dir.

3.1.1 Bir Girdi Bir Çıktı Modeli

Temel olarak veri zarflama analizi bir girdi ve bir çıktı durumu ile açıklandığında;

$$Etkinlik = \frac{Proses \ Çıktısı}{Proses \ Girdisi} \quad (3.1)$$

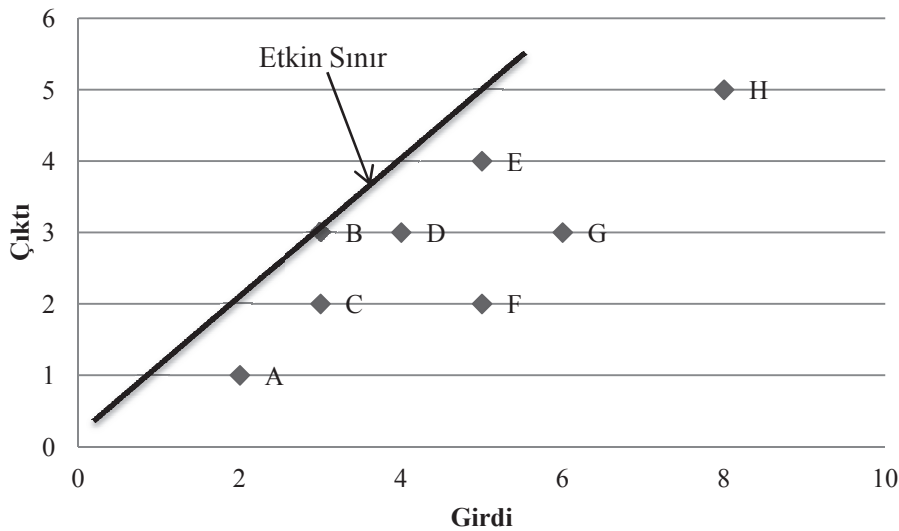
şeklinde tanımlanabilir.

Bir girdi ve bir çıktı durumu Çizelge 3.1’de verilen örnek ile açıklanmaktadır.

Çizelge 3.1 : Bir girdi bir çıktı modeli

Proses	A	B	C	D	E	F	G	H
Girdi	2	3	3	4	5	5	6	8
Çıktı	1	3	2	3	4	2	3	5
Çıktı/Girdi	0.5	1	0.667	0.75	0.8	0.4	0.5	0.625

Çizelge 3.1’de sekiz ayrı prosesin bir girdi ve çıktısı üzerinden elde edilen prodüktivite veya etkinlik değerleri son satırda gösterilmiştir. Bu tablonun girdilerinin X eksenini, çıktıların Y eksenini oluşturduğu bir grafik ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Her bir noktanın orijin ile birleşiminden elde edilen eğim o prosese ait etkinlik değerini vermektedir.



Şekil 3.1 : Bir girdi bir çıktı modeli

Şekilde de görüldüğü üzere, en büyük eğim değerini B noktası almaktadır. Bu noktanın orijin ile birleştirildiği doğru parçasına “etkin sınır” adı verilmektedir [11]. Etkin sınır çizgisi üzerinde en az bir nokta bulunması ve diğer noktaların bu çizginin

altında olması koşulu aranmaktadır. Bir doğru parçası veya çizgi ile değerlendirmeye alınan tüm noktaların sınırlandırılması, veri zarflama analizinin esasını oluşturmaktadır. Tüm performans ve duyarlılık ölçümleri sınır çizgiye olan uzaklığa göre hesaplanmaktadır.

Diğer proseslerin etkinliği ise B noktasına göreceli uzaklıklarına göre hesaplanır.

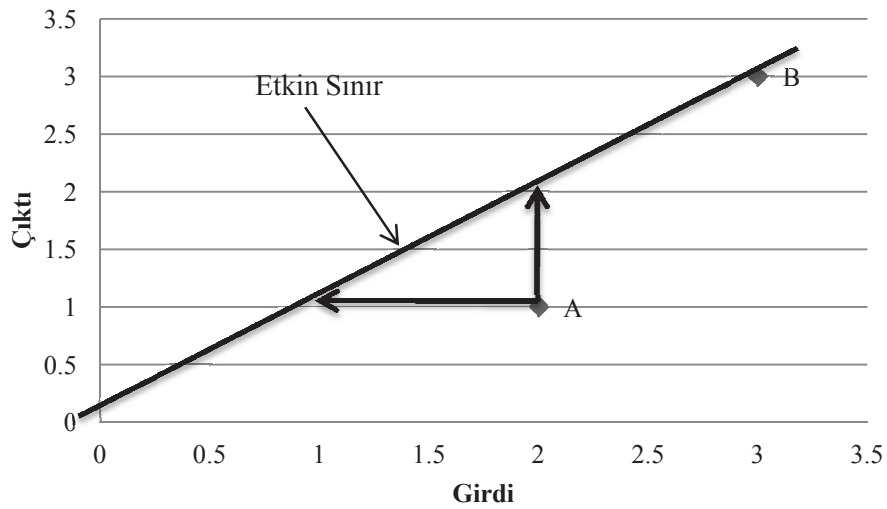
$$0 \leq \frac{\text{Prosesin Girdi/Çıktı Oranı}}{B \text{ Prosesinin Girdi/Çıktı Oranı}} \leq 1 \quad (3.2)$$

3.2 numaralı denklemin kullanılması ile Çizelge 3.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2 : Bir girdi bir çıktı modeli etkinlik sonuçları

Proses	A	B	C	D	E	F	G	H
Verimlilik	0.5	1	0.667	0.75	0.8	0.4	0.5	0.625

Veri zarflama yönteminin bir üstünlüğünün de duyarlılık analizi olduğu daha önce açıklanmıştı. Bu bağlamda diğer proseslerin de B noktası gibi etkin olabilmesi için, gerekli girdi miktarındaki azaltım veya çıktı miktarındaki artışın ne olması gerektiğini veri zarflama analizinde hesaplamamız mümkündür.



Şekil 3.2 : Bir girdi bir çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi (2,1) koordinatlarındaki A noktasının (2,2) koordinatına taşınması bu noktanın etkin sınır değerine geleceği anlamını taşımaktadır. Yani A noktası girdi değerleri yarıya indirildiğinde veya çıktı değerleri ikiye katlandığında B noktası gibi etkin olarak nitelenecektir.

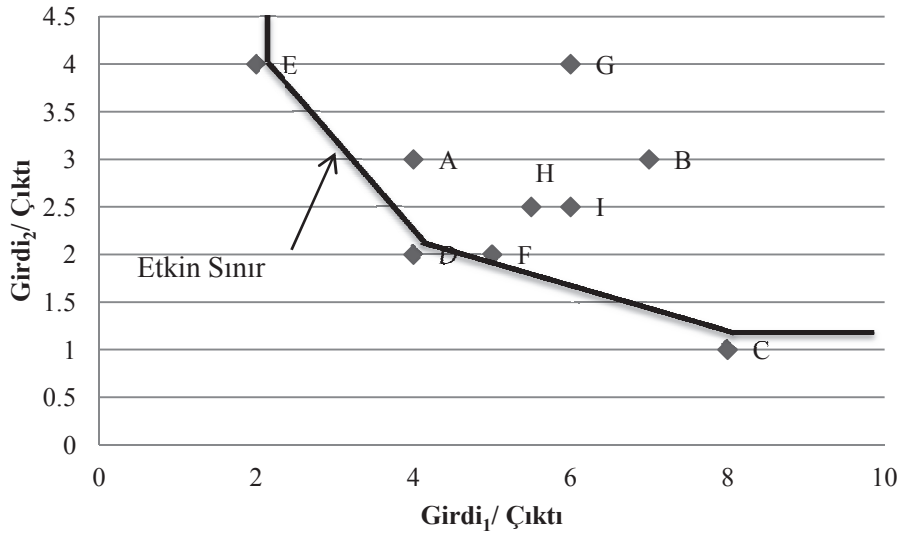
3.1.2 İki Girdi Bir Çıktı Modeli

Gerçek proseslerde girdi ve çıktı değerleri birden fazla olmaktadır. Bu bölümde girdi miktarı bir arttırılarak veri zarflama yönteminin çalışma prensibi anlatılmaktadır. Örnek olarak 9 ayrı prosesin girdi ve çıktı değerleri Çizelge 3.3'te sıralanmıştır.

Çizelge 3.3 : İki girdi bir çıktı modeli

Proses	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Girdi ₁	4	7	8	4	2	5	6	5.5	6
Girdi ₂	3	3	1	2	4	2	4	2.5	2.5
Çıktı	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bu örnekte çıktı değerleri veri zarflama analizi yönteminin anlaşılmasını kolaylaştırmak için normalize edilerek 1'e eşitlenmiştir. Çizelge 3.3'ten elde edilen veriler ile Girdi₁/Çıktı ve Girdi₂/Çıktı eksenleri ile oluşturulan grafik Şekil 3.3'de verilmektedir.

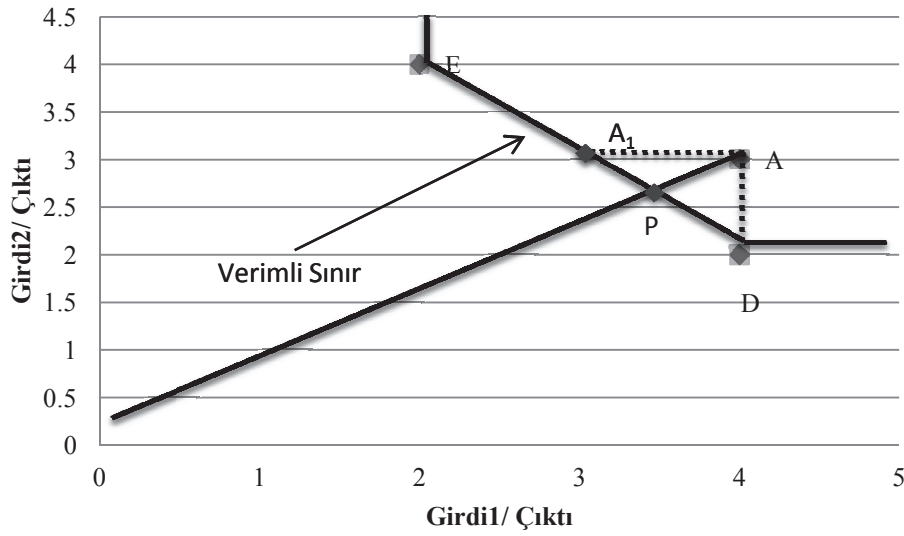


Şekil 3.3 : İki girdi bir çıktı modeli

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere C, D, E noktalarını birleştiren çizgi etkin sınır çizgisini oluşturmaktadır. Belirtilen üç prosesin girdi değerlerinde herhangi bir azaltım yapılmadan en efektif çıktı elde edilebilmektedir. Etkin sınır çizgisinin C noktasından sonraki bölümü yatay olarak, E noktasından sonraki kısmı ise dikey olarak sonsuza gitmektedir. Tüm proseslerin zarflandığı bu alana ise üretim olasılık seti adı verilmektedir [11].

Etkin sınır çizgisi üzerinde olmayan noktalar etkin olmayan prosesler olarak tanımlanmaktadır. Örneğin A noktasının etkin olmadığı Şekil 3.3'te görülmektedir. A noktasının etkinlik değeri ölçülmek istendiğinde, Şekil 3.4'te belirtilen orijinin etkin sınır çizgisine olan mesafesinin (OP) , A noktasına olan mesafesine (OA) oranı bu noktanın etkinlik değerini vermektedir.

$$\frac{\overline{OP}}{\overline{OA}} = 0.8571 \quad (3.3)$$



Şekil 3.4 : İki girdi bir çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi

Şekil 3.4'deki, D ve E noktası A noktası için etkin sınıra en yakın noktayı oluşturan bir doğru parçasının iki uç noktası olduğu için “Referans Noktalar” olarak adlandırılır [11].

A noktasının etkinlik değeri %85.71 olarak bulunmuştur. A noktasının duyarlılık analizi için A prosesi girdi/çıktı oranlarının $\overline{DA}_1$ üzerinde olması yeterli olacaktır. Duyarlılık analizi sürecinde de D ve E noktaları referans noktalar olarak A prosesinin geliştirilebilmesi için kullanılmaktadır.

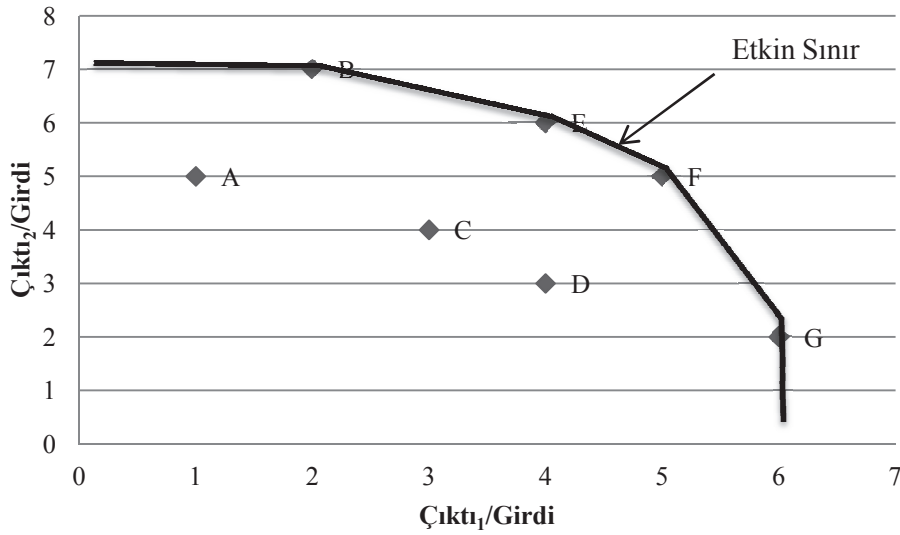
3.1.3 Bir Girdi İki Çıktı Modeli

Bazı proseslerde bir tek girdi ile birçok çıktı alınabilir. Örneğin kojenerasyon sistemlerinde girdi kojenerasyon yakıtı doğal gaz iken çıktı proses buharı ve elektrik enerjisi olabilmektedir. Bu bölümdeki amaç bir girdi ve iki çıktılı sistemlerde veri zarflama yönteminin kullanımı ve faydalarının neler olduğunun açıklanmasıdır.

Çizelge 3.4 : Bir girdi iki çıktı modeli

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

Çizelge 3.4'te bir girdi ve iki çıktıya sahip yedi prosesin değerleri verilmiştir. Bu çizelgeki değerler Şekil 3.5'te grafiksel olarak gösterilmiş ve veri zarflama analizi etkin sınırı çizilmiştir.



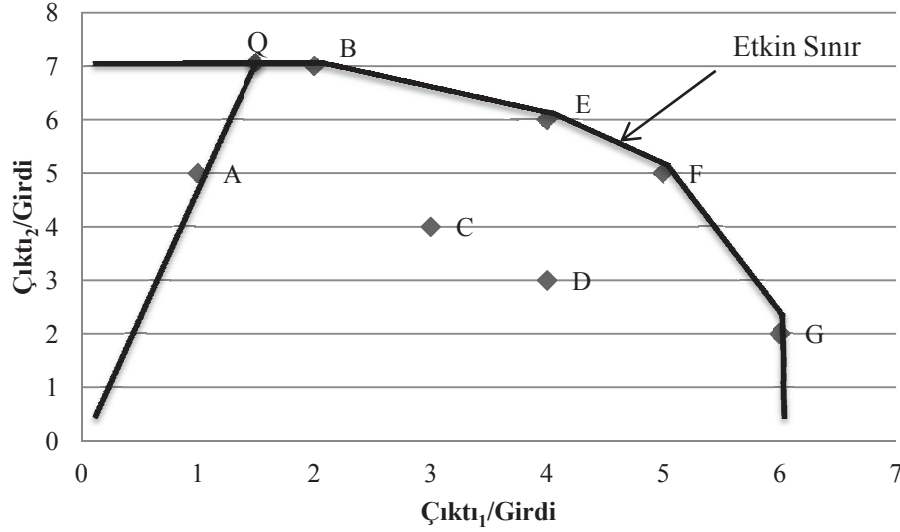
Şekil 3.5 : Bir girdi iki çıktı modeli

Şekil 3.5'te görüldüğü üzere A, C ve D noktaları etkin olmayan noktalardır. Üretim olasılık seti ise B,E,F,G ve X-Y eksenleri ile sınırlandırılmıştır.

A noktasının duyarlılık analizi için Şekil 3.6'da orijinden A noktasını ve aynı eğim ile etkin sınırı kesecek şekilde bir çizgi çizilmiştir. Bu doğru parçasının etkin sınırı kestiği noktaya Q noktası adı verilmiştir.

A noktasının etkinlik analizi ölçümünde etkinlik değeri orijinin A noktasına olan uzaklığının, Q noktasına olan uzaklığına oranı ile bulunabilir.

$$\frac{\overline{OA}}{\overline{OQ}} = 0.714 \quad (3.4)$$



Şekil 3.6 : Bir girdi iki çıktı modeli A noktası duyarlılık analizi

Q noktası her ne kadar etkin sınır çizgisinde bulunuyor ve B noktası ile kıyaslandığında $\text{Çıktı}_2/\text{Girdi}$ oranları eşit olsa da, $\text{Çıktı}_1/\text{Girdi}$ oranı B noktasından düşüktür. Bu yüzden Denklem 3.4'te bulunan çözüm orijin ile A noktası arasında çizilen doğru parçasının eğimi değiştirilmeden radyal olarak A prosesinde geliştirme yapıldığında, sahip olacağı Q noktası ile arasındaki performans ölçümün değerine “Teknik Etkinsizlik” adı verilmektedir [12]. Bahsedildiği üzere, Q noktası ile B noktası aynı verimli sınır çizgisi üzerinde bulundukları için veri zarflama analizine göre verimli görülmektedirler; Yalnız Q noktasındaki proses, B noktasına göre daha az girdi ile aynı üretimi gerçekleştirebilmektedir. Veri zarflama analizinde B noktası, Q noktasına göre verimsizdir. Bu verimsizliğe “Teknik Etkinsizlik” adı verilmektedir.

Bununla birlikte, bu örnekte görüldüğü üzere Q noktası ile B noktası arasında yapılan kıyaslamada olduğu gibi, proseste geliştirme yapılırken eğimin değiştirilmesi gerektiği durumlarda, yani sistemin girdilerinde atıl olan veya belirli girdi ile birlikte çıktıları düşük olan proseslerdeki teknik etkinsizlik dışındaki etkinsizliğe ise “Karma Etkinsizlik” adı verilmektedir [12].

Daha sonraki bölümlerde anlatılacak olan veri zarflama analizi yöntemlerinde, farklı girdiler ve çıktılar için önem sıralarına göre ağırlıklı değerlendirmeler yapılarak prosesteki rolleri belirlenebilmektedir. Bu aşamada karar veren kişinin prosesi iyi tahlil etmesi ve proses birimlerini ağırlıklandırırken hassas ve gerçekçi olması gerekmektedir. Örneğin iş gücü yoğun bir sektörde iş gücünün ayrı gruplara ayrılarak

prosesse birden fazla birim olarak girmesi gerektiğinde (örneğin beyaz yaka ve mavi yaka), bir grubun diğer gruptan üstün veya zayıf olduğu konularda (örneğin maaş, yetkinlik... gibi) farklı ağırlıklandırmalara gitmek; analiz sonuçlarının tutarlılığı için önemlidir.

Bu bölümde veri zarflama analizi hakkında temel bilgiler sunulmuştur. Bundan sonraki aşamalarda enerji projelerinde kullanılması olası veri zarflama analiz modellerine değinilecektir.

3.2 Enerji Etkinliğinin Ölçümünde Kullanılabilecek Veri Zarflama Analiz Modelleri

Veri zarflama yöntemi ile farklı alanlarda analizlerin yapılabilmesi için birçok bilimadamı tarafından çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan enerji ve enerji verimliliği üzerine yapılacak analizlerde kullanılması uygun olan modeller incelenmiş, modellerin hesaplama yaklaşımları anlatılmış ve enerji projelerinde kullanılması uygun durumlar belirtilmiştir.

3.2.1 CCR Veri Zarflama Analizi Modeli

CCR modeli ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında ortaya atılmıştır. CCR modeli veri zarflama analizinin pratikte kullanıma başlanmasında en etkin rolü oynamıştır. Çünkü bu model girdilerin veya çıktıların skaler değerlerinin yanında, fiziksel olmayan ağırlıklandırmalar ile farklı birimlerin bir arada değerlendirilip benzer prosesler ile kıyaslamalarının yapılmasına olanak sağlamıştır.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için karşılaştırılacak proseslerin girdi-çıkıtı niteliklerinin aynı ve pozitif olması gerekmektedir [2].

Analize katılacak her ayrı proses karar verme birimi (KVB) olarak adlandırılır. CCR modelinde her bir KVB için ayrı ağırlıklandırmalar yapılarak maksimum KVB oranını elde etmek hedeflenir. Bu ağırlıklar pozitif veya sıfır olmalıdır.

3.2.1.1 Girdiye Yönelik CCR Modeli

Charnes, Cooper ve Rhodes'ın önerdiği modele göre;

$$maks \theta_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (3.5)$$

Burada:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 ; j = 1, \dots, n \quad (3.6)$$

$$v_i, u_r \geq 0 ; r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m \quad (3.7)$$

x ve y bilinen KVB girdi ve çıktı değerleridir. V ve u değerleri ise sırasıyla girdi ve çıktı değerlerinin yukarıda maksimizasyon denkleminde aldığı ağırlık değerleridir. R ve i değerleri sırasıyla s ve m 'e kadar toplam girdi ve çıktı sayısı kadar ağırlık birimleri indislerini, j ise toplam KVB adedini, n değerine kadar her bir KVB'ni temsil eder.

Denklem 3.5'in hem fazla hem de az sayıda KVB'nin analizinde kullanılabilmesi için, lineer program haline getirilmesi gerekmektedir. Bu konudaki lineer programın yukarıda belirtilen kısmi programlamaya eşit olduğunu gösterir savlar, 1973 yılında Charnes ve Cooper tarafından ortaya konmuştur [13].

Denklem 3.5'in lineer programlama yöntemine uyarlanabilmesi için konveks non-linear fonksiyonu konkav hale getirilmelidir.

$$\min \theta = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (3.8)$$

Burada:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 ; j = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

$$v_i, u_r \geq 0 ; r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m \quad (3.10)$$

Denklem 3.8'i normal bir lineer program formülasyonuna dönüştürebilmek için aşağıdaki işlemler yapılmaktadır.

$$\min \theta \geq 0 \quad (3.11)$$

Burada:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + y_{r0} \leq 0 ; r = 1, \dots, s \quad (3.12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j \leq \theta x_{i0} ; i = 1, \dots, m \quad (3.13)$$

$$\lambda_j \geq 0 ; j = 1, \dots, n \quad (3.14)$$

Denklem 3.11’de gösterilen lineer programın çiftinin (dual’inin) Denklem 3.8’de belirtilen non-lineer programın aynısı olduğu kanıtlanmıştır [2]. Bu denklemdeki λ_j negatif olmayan bir vektördür.

Bu sonuçlardan,

$$h_0 = 1/\theta_0 \quad (3.15)$$

olduğu anlaşılmaktadır.

CCR modelinde, CCR puanlaması yapılarak eşitsizliği eşitliğe çeviren gevşek değişkenlerin bulunması gerekmektedir. CCR modelinde bu hesaplamalar iki bölümden oluşur. [11].

Birinci bölüm:

$$\min \theta \geq 0 \quad (3.16)$$

Burada:

$$\theta x_0 = X\lambda + s^- \quad (3.17)$$

$$y_0 = Y\lambda - s^+ \quad (3.18)$$

$$\theta, \lambda, s^-, s^+ \geq 0 \quad (3.19)$$

İkinci Bölüm:

$$\min -s^- - s^+ \geq 0 \quad (3.20)$$

Burada:

$$\theta x_0 = X\lambda + s^- \quad (3.21)$$

$$y_0 = Y\lambda - s^+ \quad (3.22)$$

$$\theta, \lambda, s^-, s^+ \geq 0 \quad (3.23)$$

Optimum çözümde θ_0^* , negatif olmayan eşitsizliğin çıktı tarafındaki gevşekliği s^{*+} , negatif olmayan eşitsizliğin girdi tarafı gevşekliği s^{*-} olacak şekilde ifade edildiğinde; atıl kalan her gevşeklik CRR puanı hesaplamasında ideal puana olan uzaklıkların belirlenmesinde önemli rol oynar.

Hesaplamalar sonucu elde edilen $\theta = 1$ değerleri o KVB'lerinin optimum değerde ve etkin sınırdan olduğunu ortaya koyar. Bu KVB'lerinin λ_j değerleri hep sıfırdır. Ayrıca gevşek değişkenleri de yoktur. Eğer hesaplamalarda $\theta \neq 1$ ise bazı λ_j değerleri pozitifdir. Eğer hesaplamalarda gevşek değişkenler sıfırdan farklı ise, bu KVB'ler karma etkin değildir.

λ_j değerleri aynı zamanda referans noktaların ölçümü yapılan KVB'ye olan doğrusal uzaklığını da vermektedir ve bu değerler duyarlılık analizi için de kullanılmaktadır.

3.2.1.2 Çıktıya Yönelik CCR Modeli

Enerji projelerinde genellikle girdiye yönelik uygulamalar ağırlıkta olmasına karşın bazı durumlarda çıktıya yönelik uygulamalar ile üretilen ürün veya hizmet değerlerinin kıyaslanması da yapılabilmektedir. Örneğin aynı veya çok benzer sayıda çalışana, benzer spesifikasyonlarda enerji üretim teknolojilerine sahip santrallerin çıktı değerlerini kıyaslayıp enerji verimliliği projeleri üretmek yerine, eldeki kaynağın üretim sonrası çıktılarının maksimizasyonunun kullanılması bir örnek teşkil edebilir. Ancak enerji projelerinde genellikle girdiye yönelik veri zarflama analizi yöntemlerinin kullanılması tercih edilmiştir.

Çıktıya yönelik CCR modeli, matematiksel olarak girdiye yönelik CCR modelinin benzeridir. Çıktıya yönelik CCR modelinin denklemini elde edebilmek için girdiye yönelik model üzerinde bazı modifikasyonların yapılması gerekmektedir.

$$\eta^* = \frac{1}{\theta^*} \quad (3.24)$$

$$\mu^* = \frac{\lambda^*}{\theta^*} \quad (3.25)$$

3.24 ve 3.25'teki denklemler, denklem 3.11'e uygulandığında elde edilen denklem 3.26'dır.

$$\max \eta_i \geq 0 \quad (3.26)$$

Burada:

$$x_0 - X\mu \geq 0 \quad (3.27)$$

$$\eta y_0 - Y\mu \leq 0 \quad (3.28)$$

$$\mu \geq 0. \quad (3.29)$$

Ve çıktıya yönelik CCR modeli gevşek değişkenleri t^{*+} , t^{*-} olarak adlandırılırsa, çıktıya yönelik CCR modeli de aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$t^{*-} = \frac{s^{*-}}{\theta^*} \quad (3.30)$$

$$t^{*+} = \frac{s^{*+}}{\theta^*} \quad (3.31)$$

3.30 ve 3.31 numaralı denklemler 3.16 numaralı denkleme uygulandığında ise,

$$X\mu + t^- = x_0 \quad (3.32)$$

$$Y\mu - t^+ = \eta y_0 \quad (3.33)$$

elde edilir.

Girdiye yönelik modelde θ^* her zaman 1'e eşit veya küçüktür. Çıktıya yönelik CCR modelinde ise denklem 3.24'ten ötürü, η^* her zaman 1'e eşit veya büyüktür.

CCR modeli sistematığı gereği, ölçeğe göre sabit getiri kabulüne göre kıyaslama yapmaktadır. Yani $A(x,y)$ noktası etkin sınır çizgisinde ise t skaler değere sahip bir katsayı olmak kaydıyla $A_1(tx,ty)$ noktası da etkin sınır çizgisi üzerinde olmaktadır. Etkin sınır genellikle doğrusal olarak gösterilmektedir.

CCR modeli, sıfır olmayan gevşek değişkenleri CCR puanında hesaba katmamaktadır. Bu sebeple proses girdisindeki bazı birimler üretime etki etmediği gibi, aynı zamanda karma etkinsizliği de oluşturmaktadır.

Enerji projelerinde, proses girdisi olan enerjinin etkin kullanımı hedeflendiği için genellikle “girdiye yönelik CCR modeli” tercih edilmelidir. Bu sayede farklı proseslerin birbiri ile karşılaştırması yapılabilir. CCR modelinin ölçeğe göre sabit

getiri kabulüne göre karşılaştırma yaptığı belirtilmişti. Bu durumda, ilgili analiz bir enerjinin etkin kullanımını karşılaştırma amacını taşıyor ise, CCR yöntemi ile yapılacak çalışma için seçilen prosesler birbirine yakın özellik göstermelidir. Aksi takdirde CCR yöntemi ile yapılan hesaplamalar tutarlı olmayacak, gerçeği yansıtmayacaktır.

3.2.2 BCC Veri Zarflama Analizi Modeli

BCC (Banker-Charnes-Cooper) modeli, Banker Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında “Veri zarflama analizinde teknik ve ölçek verimliliklerinin hesaplanması üzerine bazı modeller” başlıklı makale ile duyurulmuştur [14]. Bu çalışmanın amacı, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile geliştirilen CCR yönteminin farklı üretim eğri ölçeklerine göre modellenmesi için, sınırları iç bükey ile belirlenmiş doğru parçaları içeren “verimli sınır çizgisi”nin oluşturulduğu yeni bir modelin tanıtılmasıdır.

Aşağıda Şekil 3.7’de görüldüğü üzere, CCR modeli etkin sınır çizgisi ölçeğine göre sabit getiri varsayımı ile verimlilik puanlarını hesaplarken, BCC modeli ise ölçeğe göre sabit, azalan ve artan getiri yöntemlerini kullanarak veri zarflama analizinde CCR yöntemine nazaran daha çok noktayı etkin sınır çizgisi üzerine taşımaktadır. Örnek olarak B noktası CCR metodunda tek etkin nokta iken, BCC modeli ile veri zarflama analizine yaklaşıldığında A,B,F noktaları etkin noktalar olarak adlandırılarak diğer noktalara referans olmaktadır.

Genel gösterim ile BCC modeli matematiksel olarak tanımlanmak istenirse,

$$\min \theta_{BCC} \geq 0 \quad (3.34)$$

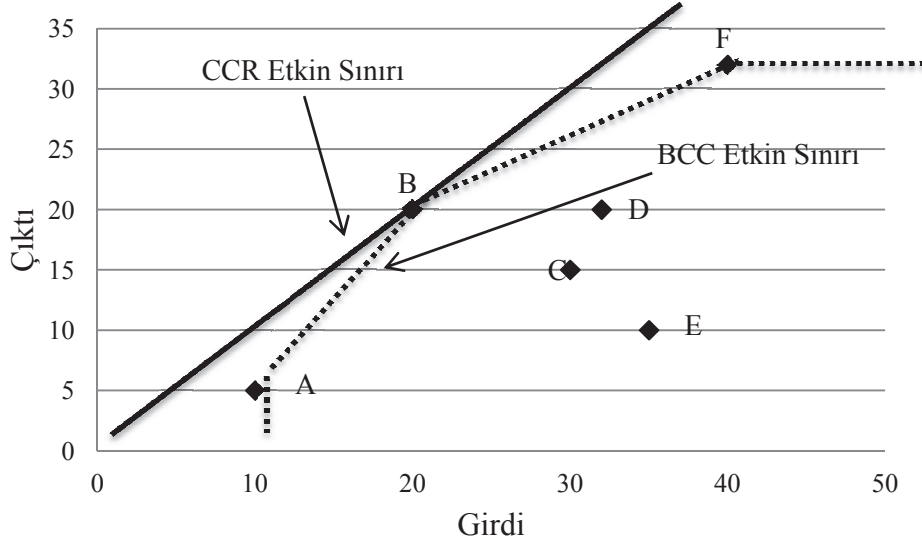
Burada:

$$\theta_{BCC}x_0 - X\lambda \geq 0 \quad (3.35)$$

$$Y\lambda \geq y_0 \quad (3.36)$$

$$\lambda = 1 \quad (3.37)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem setinde görüldüğü gibi BCC modelinin CCR’den farkı λ değerlerinin toplamının 1’e eşit olmasıdır.



Şekil 3.7 : BCC ve CCR modelleri etkin sınır çizgileri karşılaştırması

BCC ve CCR modellerinin diğer dinamikleri birbiri ile benzer özelliklere sahiptir. Optimum BCC model sonucu CCR modelinde olduğu gibi $\theta_{BCC}^*, \lambda^*, s^{*-}, s^{*+}$ terimleri ile ifade edilir. θ_{BCC}^* değeri asla θ_{CCR}^* değerinden küçük bir değer alamaz; çünkü BCC modeli daha çok noktayı etkin sınır çizgisi üzerinde gösterdiği için bir şekilde CCR modelinin grafiksel olarak alt kümesini oluşturmaktadır.

Çıktıya yönelik BCC modelinde ise denklem,

$$\min \eta_{BCC} \geq 0 \quad (3.38)$$

Burada:

$$X\lambda \leq x_0 \quad (3.39)$$

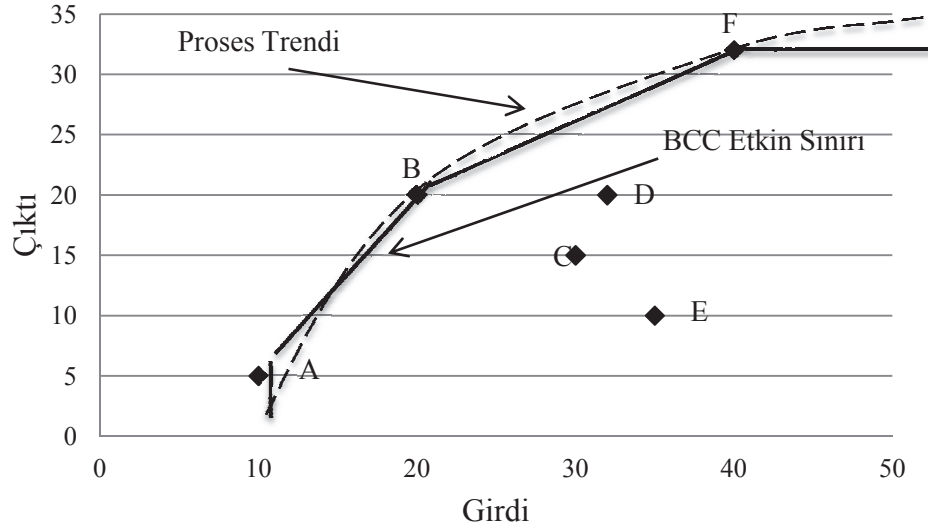
$$\eta_{BCC}y_0 - Y\lambda \leq 0 \quad (3.40)$$

$$\lambda = 1 \quad (3.41)$$

şeklini alır. Denklem 3.38, tüm değişiklikler daha önce denklem 3.24 ve 3.25'te anlatıldığı gibi yapılarak elde edilmiştir.

BCC modeli daha önceden grafik ile anlatıldığı gibi ölçeğe göre sabit getiri prensibi ile işleyen CCR modeline alternatif olarak ortaya atılmıştır. Farklılıkları Şekil 3.8'de görülmektedir. Böylelikle prosesleri doğrusal olarak hep artışta olmayan sistemler için, farklı bir yaklaşım ile daha mantıklı bir proses simülasyonu ortaya koyar. Bu

yaklaşım sayesinde veri zarflama analizinde geçerli prosesler için daha gerçekçi sonuçlar elde edilir.



Şekil 3.8 : BCC modeli ve proses trendi karşılaştırması

BCC modelinin, farklı büyüklüklerde benzer proseslerin en verimli çalışma prensibinin her zaman doğrusal olarak artışa sahip olmayan durumlarında kullanılması uygun olmaktadır. Örneğin, üretim yapan bir işletme tesisinin kalite kontrol bölümünde aydınlık düzeyi, kalite kontrolü için önemli bir parametredir. Konforlu bir aydınlık düzeyi, ürünler üzerinde olası üretim hatalarının son kullanıcı öncesi tespitini kolaylaştırır. Ancak olması gerekenden daha yüksek bir aydınlatma, kamaşmaya da neden olabileceği için daha iyi bir kontrol anlamına gelmemektedir. Bu gibi durumlarda veri zarflama analizi kullanılmak istenirse, BCC modelinin kullanımı CCR'ye göre daha avantajlı olacaktır.

3.2.3 Gevşeklik Tabanlı Etkinlik Ölçümü (GTE)

CCR modeli düşük etkinliklerde doğrusal olarak teknik etkinliği hesaplarken sıfırdan farklı olan gevşeklikleri, yani girdideki fazlalıkları veya çıktıdaki açıkları hesaba katmaz. Bu hesaplamayı yapabilmek için, Tone tarafından 2001'de ortaya konulan "Veri zarflama analizinde gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü" başlıklı makale ile tanıtılan bir model kullanılmaktadır [15].

Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü, proses girdilerindeki fazlalıklar ve çıktı değerlerindeki eksiklikleri kullanarak hesaplamaları yapar. Bu modelin bir diğer üstünlüğü ise, bu hesaplamaları yaparken istatistiki olarak tüm verileri kullanmak

yerine, yalnızca hesaplaması yapılan prosesin referans setindeki noktaları baz olarak almasıdır [15].

Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümünde adından da anlaşılacağı gibi gevşeklikler lineer programda önemli rol oynamaktadır.

Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümünün temeli x_0 girdileri ve y_0 çıktıları için aşağıdaki gibidir [15].

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}}} \quad (3.42)$$

Burada:

$$x_0 = X\lambda + s^- \quad (3.43)$$

$$y_0 = Y\lambda + s^+ \quad (3.44)$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \quad (3.45)$$

Denklem 3.42’de, t gibi bir skaler tanımlandığında denklem 3.46 elde edilir.

$$\min \tau = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{ts_i^-}{x_{i0}} \quad (3.46)$$

Burada:

$$t + \frac{1}{s} \sum_r \frac{ts_r^+}{y_{r0}} = 1 \quad (3.47)$$

$$x_0 = X\lambda + s^- \quad (3.49)$$

$$y_0 = Y\lambda + s^+ \quad (3.50)$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0, t > 0$$

Denklem 3.46’daki bazı terimler yerine, denklem 3.51’de verilen eşitlikler kullanıldığında, denklem 3.52’deki lineer program elde edilir.

$$S^- = ts^-, S^+ = ts^+, \Lambda = t\lambda \quad (3.51)$$

$$\min \tau = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i0}} \quad (3.52)$$

Burada:

$$t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{y_{r0}} = 1 \quad (3.53)$$

$$tx_0 = X\Lambda + S^- \quad (3.54)$$

$$ty_0 = Y\Lambda + S^+ \quad (3.55)$$

$$\Lambda \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0, t > 0. \quad (3.56)$$

Denklem 3.51’de sunulan lineer programın optimum çözümü $\tau^*, t^*, \Lambda^*, S^{*-}, S^{*+}$ olursa gevşek tabanlı etkinlik analizi sonucu denklem 3.57’deki gibi olur.

$$\rho^* = \tau^*, \lambda^* = \Lambda^*, s^{*-} = \frac{S^{*-}}{t^*}, s^{*+} = \frac{S^{*+}}{t^*} \quad (3.57)$$

Denklem 3.42’nin hedef fonksiyonunun paydası bire eşitlenirse elde edilen denklem seti girdiye yönelik gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü adını alır.

$$\min \rho = 1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i0}} \quad (3.58)$$

Burada:

$$x_0 = X\lambda + s^- \quad (3.59)$$

$$y_0 \leq Y\lambda \quad (3.60)$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0. \quad (3.61)$$

Benzer şekilde denklem 3.58’in hedef fonksiyonunun payı bire eşitlendiğinde elde edilen denklem seti çıktıya yönelik gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü adını alır.

$$\min \rho = \frac{1}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{i0}}} \quad (3.62)$$

Burada:

$$x_0 \geq X\lambda \quad (3.63)$$

$$y_0 = Y\lambda - s^+ \quad (3.64)$$

$$\lambda \geq 0, s^+ \geq 0 \quad (3.65)$$

Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçüm modeli, CCR ve BCC yöntemlerinin sadece radyal olarak buldukları etkinlik değerlerine ek olarak gevşek değişkenlerden ötürü oluşan etkinsizlikleri de etkinlik analizinde ortaya koyduğu için, BCC ve CCR modellerinden farklıdır.

3.2.4 Güvenli Bölge Yöntemi

Bazı enerji projelerinde girdi veya çıktı verileri arasında ağırlık katsayılarının belirli bir oranın altında veya üzerinde olması istenmeyebilmektedir. Örneğin kojenerasyon tesisine sahip bir işletmede, gaz motoruna katılan fuel oil – doğalgaz karışım oranının belirli bir değerin üzerine veya altına düşmemesi istenebilir. Bunun nedenleri teknik, öncelik veya ekonomik olabilir. Bu gibi durumlarda güvenli bölge metodu belirli ağırlıklandırmaların istenen düzeyde ve aralıkta kalmasını sağlayabilmektedir.

Bu yöntemde girdi değerlerinin ağırlıklandırılmasında aşağıdaki denklem kullanılmaktadır

$$L_{1,2} \leq \frac{v_2}{v_1} \leq U_{1,2} \quad (3.66)$$

$L_{1,2}$ girdi ağırlıklarının oranının alt sınırını, $U_{1,2}$ ise bu ağırlıkların üst sınırını oluşturmaktadır.

CCR modeli için güvenli bölge yöntemini uygulamak istersek [11],

$$maks \ u y_0 \geq 0 \quad (3.67)$$

Burada:

$$vx_0 = 1 \quad (3.68)$$

$$-vX + uY \leq 0 \quad (3.69)$$

$$vP \leq 0 \quad (3.70)$$

$$uQ \leq 0 \quad (3.71)$$

$$v \geq 0, u \geq 0 \quad (3.72)$$

Elde edilir. Buradaki P ve Q katsayıları aşağıdaki matrislerle tanımlanmıştır.

$$P = \begin{pmatrix} l_{12} & -u_{12} & l_{13} & -u_{13} & \dots & \dots \\ -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (3.73)$$

$$Q = \begin{pmatrix} L_{12} & -U_{12} & L_{13} & -U_{13} & \dots & \dots \\ -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (3.74)$$

Güvenli bölge modeli ilk olarak R.G. Thompson, F.G. Singleton, Jr., R.M. Thrall, B.A. Smith tarafından 1986'da önerilmiştir. Model ilk olarak Teksas'ta kurulması düşünülen bir fizik laboratuvarının konumunun belirlenmesinde kullanılmıştır [16].

3.2.5 Kontrol Edilemeyen Değişken Modeli

Bazı uygulamalarda prosese giren veya procesten çıkan değişkenler kontrol edilememekte ve sistem içerisinde belirsiz bir konumda bulunmaktadır. Bu tür veriler, kıyaslamayı yapan veya karar veren kimse tarafından değiştirilememektedir. Örneğin bölgesel elektrik dağıtım şirketlerinin veri zarflama yöntemi ile performans ölçümleri yapılmak istendiğinde, elektrik dağıtım şirketinin bağlı bulunduğu bölgenin nüfusu, ya da müşteri (abone) sayısı kontrol edilemeyen önemli bir girdi değişkenidir ya da bir PV düzeneğinin farklı yıllardaki performans değerinin ölçümünde yıllık güneşlenme süreleri birbirinden farklı ve kullanıcı tarafından

değiştirilemeyen ama proses için önemli bir girdidir. Bu tür değişkenler için ayrı bir üst indis ile tanımlanmış eşitlikler denklem 3.75'te verilmektedir [11].

$$\min \theta \geq 0 \quad (3.75)$$

Burada:

$$\theta x_0^C \geq X^C \lambda \quad (3.76)$$

$$\lambda Y_0^C \geq y^C \quad (3.77)$$

$$x_0^N = X^N \lambda \quad (3.78)$$

$$y_0^N = Y^N \lambda \quad (3.79)$$

$$U \geq e\lambda \geq L \quad (3.80)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (3.81)$$

$$e\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (3.82)$$

Eşitliklerde “C” indisi kontrol edilebilen, “N” indisi ise kontrol edilemeyen değişkenleri göstermektedir. Kontrol edilemeyen değişkenler eşitlik olarak, kontrol edilebilenler ise eşitsizlik şeklinde gösterilmiştir. Buradaki amaç, duyarlılık analizinde kontrol edilemeyen değişkenlerin sabit tutulmasıdır.

3.2.6 Keyfi Olmayan Sınırlandırılmış Değişkenler Modeli

Veri zarflama analizine tabi tutulan proseslerin bazılarında fiziksel, teknik, finansal ve benzeri nedenlerden ötürü değişkenlerin sınırlandırılması gerekebilir. Örneğin farklı binaların çatılarında bulunan PV sistemlerinin etkinliklerinin ölçümü yapılmak istenirse, duyarlılık analizinde bazı çatılarda belirli sayıda PV'den sonrasının montajı mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda çatıya monte edilecek PV miktarı çatının elverdiği fiziksel boyutlarla sınırlıdır.

Girdiye yönelik keyfi olmayan sınırlandırılmış değişkenler modeli için geçerli olan eşitlikler Denklem 3.83'te verilmektedir [17].

$$\min \theta \geq 0 \quad (3.83)$$

Burada:

$$\theta x_0^C \geq X^C \lambda \quad (3.84)$$

$$\lambda Y_0^C \geq y^C \quad (3.85)$$

$$l_0^{N_x} \leq X^N \lambda \leq u_0^{N_x} \quad (3.86)$$

$$l_0^{N_y} \leq Y^N \lambda \leq u_0^{N_y} \quad (3.87)$$

$$L \leq e\lambda \leq U \quad (3.88)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (3.89)$$

$$e\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (3.90)$$

Çıktıya yönelik keyfi olmayan sınırlandırılmış değişkenler modeli ise denklem 3.91'deki eşitlikler ile karakterize edilebilmektedir.

$$maks \eta \geq 0 \quad (3.91)$$

Burada:

$$x_0^C \geq X^C \lambda \quad (3.92)$$

$$\eta Y_0^C \geq y^C \lambda \quad (3.93)$$

$$l_0^{N_x} \leq X^N \lambda \leq u_0^{N_x} \quad (3.94)$$

$$l_0^{N_y} \leq Y^N \lambda \leq u_0^{N_y} \quad (3.95)$$

$$L \leq e\lambda \leq U \quad (3.96)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (3.97)$$

$$e\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (3.98)$$

3.2.7 Kategorilendirilmiş Model

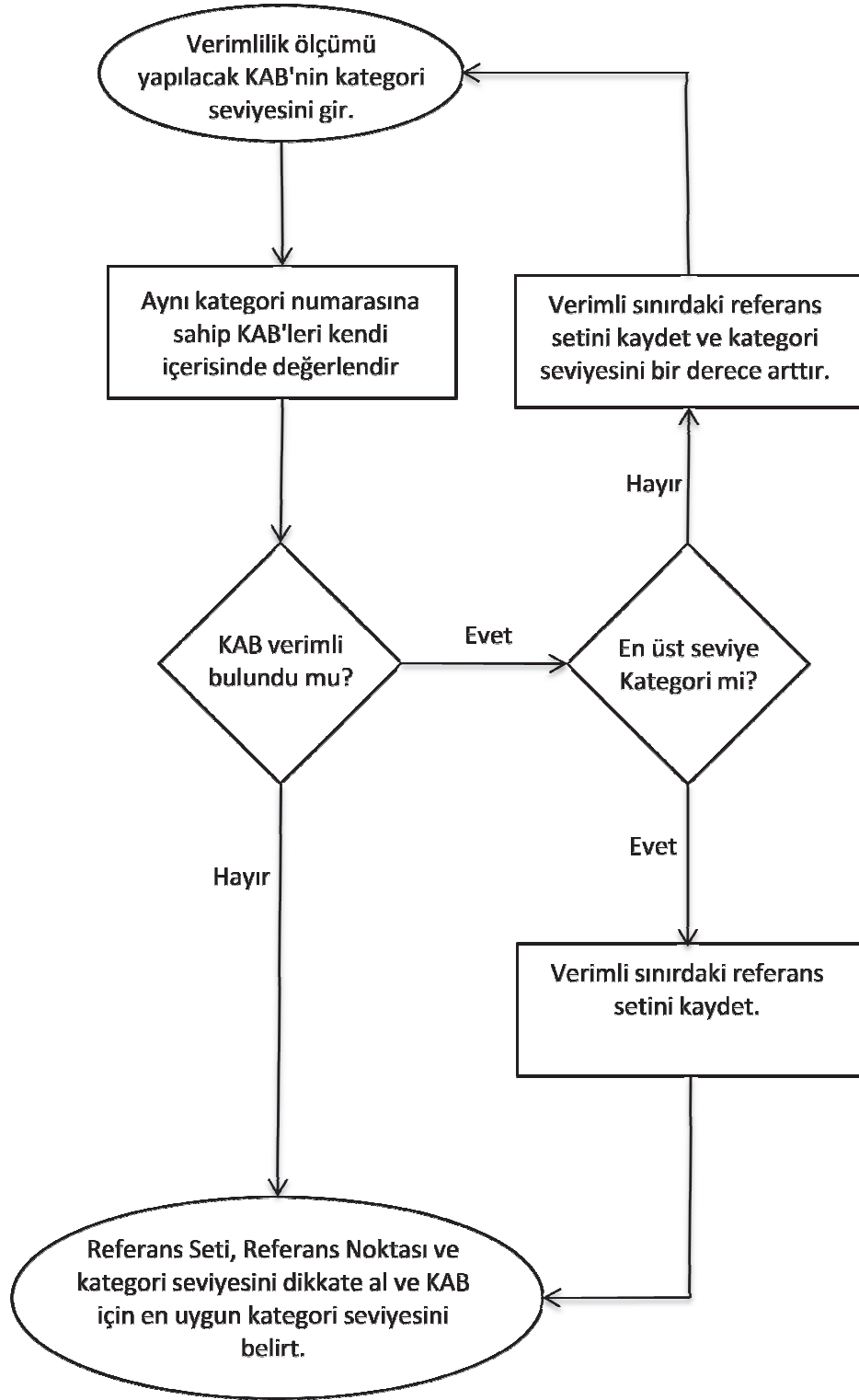
Veri zarflama analizine konu olan bir takım uygulamalarda birden fazla kümelenmiş proses üstünlük – sakınca yada bulundukları çevre nedeni ile birbirine benzer niteliklerde olabilir. Bu gibi durumlarda veri zaflama analizine girecek olan her bir KVB için öncelikle kendi içerisinde, ardından kendisinden daha avantajlı veya

bulunduğu kümeyi kapsayan diğeri grup(lar) içerisinde verimlilik analizi yapılırsa daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.

Kategorilendirilmiş model için birçok geliştirme yapılmıştır. Bunlar içerisinde enerji konusunda kullanılabilecek öneriyi John J Rousseau ve John H. Semple yapmıştır. Bu geliştirme bir algoritmik işlemler zinciri şeklinde olmaktadır [18].

Kategorilendirilmiş modelde farklı büyüklüklerdeki rüzgar türbinlerinin birbirine oranla performanslarının ölçümü yapılmak istendiğinde, örnek olarak “küçük”, “orta”, “büyük” ölçekli olarak kategorilendirilebilir. Bu sınıflama ile farklı ölçekte yatırım maliyetleri ve rüzgar gücünün değeri girdileri ile üretilen elektrik enerjisinin ve istenebilecek diğeri verilerinin veri zarflama analizine tanıtılması sayesinde, ilk olarak “küçük” olarak sınıflandırılmış KVB’ler kendi arasında, ardından ölçümü yapılan “küçük” ölçekli verimli rüzgar türbinleri sırası ile “orta” ve “büyük” ölçekli türbinler ile kıyaslanır.

Bu sistem Şekil 3.9’da gösterilen algoritma ile işlemleri yapmaktadır. Kategorilendirilmiş modelin bir üstünlüğü de BCC veya CCR yöntemlerinden herhangi birisinin kullanılmasına olanak sağlamasıdır.



Şekil 3.9 : Kategorilendirilmiş modelin algoritması

3.2.8 Ayrılabilir – Ayrılamaz / İstenen – İstenmeyen Çıktılar Modeli

Gerçek hayatta bazı girdi ve çıktı değerleri sistem işleme süreci içerisinde bağımlı veya bağımsız olarak etki yaratmaktadır. Örneğin fosil yakıt kullanan enerji üretim tesislerinde yakılan yakıt kadar atmosfere salınan CO₂ ve benzeri gazlar sistemin diğer girdi değişkenlerinden ayrılamayarak, istenmeyen bir proses çıktısı olurken, üretilen elektrik enerjisi ise istenen ayrılamaz bir proses çıktısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda bir enerji santralinde istenmeyen ve prosesden ayrıştırılamayan CO₂ gazı salınımı düşürülmek istendiğinde, elektrik enerjisi üretim değerinin düşürülmesi ve santral için girdi oluşturacak farklı değişkenlerinin de azaltımı yoluna gidilmesi gerekecektir.

Yine enerji santrallerinde, olası arızalar sonucu meydana gelen duraksamalar, girdileri yakıt, kapasite olan bir veri zarflama modeli için prosesden ayrılabilir, istenmeyen bir çıktı olmaktadır. Bu modelin içerisine bakım, onarım ve işletme girdileri de eklendiğinde, önceden ayrılabilir durumda olan tesis arızaları bu durumda ayrıştırılamaz konuma gelmektedir.

Ayrılabilir – ayrılamaz / istenen – istenmeyen çıktılar modelinin tanıtılmasındaki amaç, prosesin tanıtılmasına karar verme aşamasında, karar veren kişinin insiyatifine bağlı olarak, istenen değerlerin girdi ve çıktı olarak belirtilmesine ve sistemi etkileyen öğelerin birbirini ne durumda ve nasıl bağladığının, proses çıktı değerlerinin faydalı veya faydalı olmayan olarak nitelendirilmesine olanak sağlamaktır.

Bu modelin oluşturulabilmesi için bazı tanımlamalar yapılmalıdır. Sistem içerisinde ayrılabilir, ayrılamaz, istenen, istenmeyen nitelikli girdi ve çıktıları ayrı terimler halinde tanıtmak gerekir. Bunlar üst indisler ile tanımlanabilir. “Y” çıktı değişkenini, “X” ise girdi değişkenini tanımlamak ile birlikte “S” üst indisi ayrılabilir “NS” ayrılamaz, “g” isteneni ve “b” ise istenmeyeni nitelemektedir. Örneğin ayrılabilir, istenen bir çıktı “Y^{Sg}” şeklinde sembolize edilecektir.

Ayrılabilir – ayrılamaz / istenen – istenmeyen girdi ve çıktı modeli gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü (GTE) yöntemi ile birlikte çalışmaktadır. Daha önce GTE yöntemi için verilmiş olan denklemler, tanımlamaları yapılan terimler ile geliştirilerek aşağıdaki denklem seti elde edilir [19].

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m_1} \frac{s_i^{S-}}{x_{i0}^S} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m_2} \frac{s_i^{NS-}}{x_{i0}^{NS}} - \frac{m_2}{m} (1 - \alpha)}{1 + \frac{1}{s} \left[\sum_{r=1}^{s_{11}} \frac{s_r^{Sg}}{y_{r0}^{Sg}} + \sum_{r=1}^{s_{22}} \frac{s_r^{NSb}}{y_{r0}^{NSb}} + (s_{21} + s_{22})(1 - \alpha) \right]} \quad (3.99)$$

Burada:

$$x_0^S = X^S \lambda + s^{S-} \quad (3.100)$$

$$\alpha x_0^{NS} = X^{NS} \lambda + s^{NS-} \quad (3.101)$$

$$y_0^{Sg} = Y^{Sg} \lambda - s^{Sg} \quad (3.102)$$

$$\alpha y_0^{NSg} \leq X^{NSg} \lambda \quad (3.103)$$

$$\alpha y_0^{NSb} = Y^{NSb} \lambda + s^{NSb} \quad (3.104)$$

$$\sum_{r=1}^{s_{11}} (y_{r0}^{Sg} + s_r^{Sg}) + \alpha \sum_{r=1}^{s_{21}} y_{r0}^{NSg} = \sum_{r=1}^{s_{11}} y_{r0}^{Sg} \sum_{r=1}^{s_{21}} y_{r0}^{NSg} \quad (3.105)$$

$$\frac{s_r^{Sg}}{y_{r0}^{Sg}} \leq U \quad (3.106)$$

$$s^{S-} \geq 0, s^{NS-} \geq 0, s^{Sg} \geq 0, s^{NSb} \geq 0, \lambda \geq 0, 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (3.107)$$

Buradaki “ α ” değeri $\alpha \leq 1$ olmak üzere, ayrılamayan girdi, ayrılamayan ve istenmeyen çıktı değerlerine getirilen katsayıdır. “m” ve alt indise sahip “s” değerleri ise sırasıyla girdi ve çıktı değerleri sayısını göstermektedir.

Gevşeklik tabanlı etkinlik ölçümü yöntemine göre sistemden kaynaklanan etkinlikleri ayrıştırırsak, ayrılabilir – ayrılamaz / istenen – istenmeyen girdi ve çıktı değerlerinden kaynaklanan etkinlikler denklemde tek tek görülebilir [11].

$$\rho^* = \frac{1 - \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_{1i} - \sum_{i=1}^{m_2} \alpha_{2i}}{1 + \sum_{r=1}^{s_{11}} \beta_{1r} + \sum_{r=1}^{s_{21}} \beta_{2r} \sum_{r=1}^{s_{22}} \beta_{3r}} \quad (3.108)$$

$$\alpha_{1i} = \frac{1}{m} \frac{s_i^{S-*}}{x_{i0}^S} \quad (i = 1, \dots, m_1) \text{ (Ayrılabilir Girdi)} \quad (3.109)$$

$$\alpha_{2i} = \frac{1}{m} (1 - \alpha^*) + \frac{1}{m} \frac{s_i^{NS-*}}{x_{i0}^{NS}} \quad (i = 1, \dots, m_2) \text{ (Ayrılamaz Girdi)} \quad (3.110)$$

$$\beta_{1r} = \frac{1}{s} \frac{s_r^{sg*}}{y_{r0}^{sg}} \quad (r = 1, \dots, s_{11}) \text{ (Ayrılabilir İstenen Çıktı)} \quad (3.111)$$

$$B_{2r} = \frac{1}{s} (1 - \alpha^*) \quad (r = 1, \dots, s_{21}) \text{ (Ayrılamaz İstenen Çıktı)} \quad (3.112)$$

$$\beta_{3r} = \frac{1}{s} (1 - \alpha^*) + \frac{1}{s} \frac{s_r^{NSb*}}{y_{r0}^{NSb}} \quad (i = 1, \dots, s_{22}) \quad (3.113)$$

(Ayrılamaz İstenmeyen Çıktı)

3.2.9 Zamanla Değişen Etkinlik Modeli – Pencere Analizi

Bundan önceki bölümlerde farklı proseslerin birbiri ile statik olarak etkinliklerinin nasıl ölçüleceği üzerinde durulmuştur. Bu bölümde ise farklı proseslerin farklı zaman aralıklarında etkinliklerinin nasıl değiştiğinin gözlemlenmesini sağlayan pencere analizi yöntemi tanıtılacaktır. Bu model 1985 yılında Charnes, Clark, Cooper, Golany tarafından Amerikan Hava Kuvvetleri'nin bakım performanslarının ölçümü için kullanılmaya başlanmıştır [20]. Bu çalışmada, 8 girdi ve 4 çıktıdan oluşan 14 KVB'nin 7 aylık süreçte pencere analizi ile etkinlik ölçümleri yapılmıştır.

Pencere analizi için gerekli yerleştirmeyi yapmak üzere, bazı tanımlamalar yapılmalıdır. “ N ” adet KVB'nin olduğu ($l=1, \dots, N$), N adet KVB'nin “ M ” periyot kadar verisinin mevcut olduğu ($m=1, \dots, M$), her bir pencerenin uzunluğu, yani her bir pencerede hesaplanacak periyot sayısının sabit “ K ” ile ve her bir pencerenin de “ i ” ile gösterildiği ($i=1, \dots, \hat{I}$) varsayıldığında; birinci satırda bulunan pencerede birden K 'ya kadar olan periyotlar değerlendirilmeye alınır. İkinci satırda ise değerlendirilen zaman aralığı bir periyot ileri götürülerek ikiden $K+1$ numaralı periyota kadar olan dilim için verimlilik ölçümü yapılır. Bu yolla $M-K+1$ adet pencere yaratılmış olur ve $N \times K$ kadar KVB ile pencere analizi gerçekleştirilir [21].

Örneğin üç girdi ve iki çıktıya sahip dört adet prosesin yedi ayrı zaman dilimine ait etkinliklerinin mevcut olduğu düşünülüp pencere analizi ile periyot genişliğinin üç olacağı bir etkinlik analizi değerlendirilmesi istendiğinde, her bir pencerede üç ardışık zaman dilimine ait veriler yan yana dizilir. Birinci pencerede ilk prosese ait ilk üç zaman dilimi verileri yan yana dizilir. İkinci satırda ise yine aynı prosese ait zaman dilimlerinden ikinci, üçüncü ve dördüncü periyotlar bu satıra işlenir.

Yerleştirme Çizelge 3.5’de tablo olarak gösterilmiştir. Çizelgede “x” ile gösterilen her bir alan her bir KVB’nin ilgili zaman periyodundaki etkinlik değerini alır.

Çizelge 3.5 : Pencere Analiz Yöntemi

Periyot	1	2	3	4	5	6	7
Proses							
1	X	X	X				
		X	X	X			
			X	X	X		
				X	X	X	
					X	X	X
2	X	X	X				
		X	X	X			
			X	X	X		
				X	X	X	
					X	X	X
3	X	X	X				
		X	X	X			
			X	X	X		
				X	X	X	
					X	X	X
4	X	X	X				
		X	X	X			
			X	X	X		
				X	X	X	
					X	X	X

Bu tabloda görüldüğü üzere, etkinlik değerleri ardışık olarak periyotlara ve bu periyotlar da ötelenerek farklı satırlara bölünmüştür. Pencere analizinin bir diğer özelliği ise prosesler aynı zaman dilimi için değil, ardışık olarak belirlenen bir zaman kümesi içerisinde değerlendirilmektedir. Örneğin Çizelge 3.5’te gösterildiği gibi, bir KVB dört ayrı proses ve üç farklı zaman dilimi için oluşturulduğundan $4 \times 3 = 12$ KVB ile birlikte veri zarflama analizine girecektir. Bu da üç girdi ve iki çıktıya sahip pencere analizi yöntemi ile etkinlik ölçümü yapıldığında, $5 \times 12 = 60$ proses girdi ve çıktıların değerlendirilebildiği anlamına gelmektedir.

Bu model yukarıda bahsedilen diğer yöntemler kullanılarak birden fazla prosesin belirli zaman aralıklarında nasıl bir performans gösterdiklerini karşılaştırmak üzere kullanılabilir. Enerji projelerinde pencere analizinin kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli konu, eğer model içerisinde değişkenlerden bir tanesi para ise farklı zaman aralıklarında paranın değerinin modele doğru yansıtılması için nominal olarak baz alınan bir tarihe endekslenmesi gerekmektedir. Örneğin bir işletmenin üretimden elde ettiği gelirler ile enerji girdileri pencere analizine tanımlanırken

retimden elde edilen gelirin farklı periyotlarda enflasyondan etkilendiği unutulmamalıdır.

3.3 Veri Zarflama Analizinin Uygulanması

Veri zarflama analizinin temel prensipleri ve enerji etkinliğinin ölümünde kullanılabilecek modeller bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde ise önceki bölümlerde değinilen model ve prensiplerin uygulanması aşamasında tutarlı ve karar verme aşamasında daha uygun sonuçları sağlayacak kriterler üzerinde durulacaktır. Bu kriterler uygun modelin seçimi, analiz serbestlik derecesi, pozitif değişkenlik, ağırlıklandırma ve önem sırasının analiz öncesi belirlenmesidir.

3.3.1 Uygun Modelin Seçilmesi

Uygun modelin seçilebilmesi için ilk olarak etkinliği ölçülecek proseslerin yakından tanınıyor olması gerekmektedir. Bu prosesler birbiri ile etkileşimde olmamalı ve benzer nitelik göstermelidir. Proseslerin neden sonuç ilişkisi gözlemlenip, uygun girdi ve çıktı değişkenlerinin veri zarflama analizine tanıtılması şarttır. Bu gözlem ne kadar detaylı olursa doğrusal programlama bazlı veri zarflama analizi sonuçları da o kadar sağlıklı olacaktır. Örneğin enerji üreten santrallerin etkinlikleri değerlendirilmek istendiğinde, grup içerisinde kömür yakıtı kaynaklı ve yenilenebilir enerji kaynaklı santraller mevcut ise, girdi olarak nitelendirilecek değişkenlerde “yakıt” yerine enerji üretim maliyetleri adı altında bir değişken tanımlanarak işletme ve yakıt maliyetleri tek kalemde toplanabilir. Bu sayede bir proseste bulunan bir değişkenin diğer proseslerde olmama durumundan kaynaklanacak sorunlar nlenmiş olur.

Uygun modelin seçilmesinde bir önemli husus da karşılaştırması yapılacak proseslerin proses çıktı trendlerinin ölçeğe göre sabit, artan veya azalan olup olmadığı hakkında önceden yorumda bulunulabilmesi gerekliliğidir. Uygun modelin belirlenmesi için karşılaştırılması yapılan prosesler hakkında kapsamlı bilgiye sahip olmak ve uygun değişkenlerin seçimi önemlidir.

Uygun model, uygun hesaplama yöntemi ile doğrudan ilişkilidir. Seçilecek olan yöntem modelin doğal şartlarına bağlı olarak şekillenecektir. Analiz kapsamında değişken olarak negatif değere sahip bir parametre kullanıldığında “CCR” veya “BCC” modeli uygun bir seçim olamayacağı gibi, CO₂ emisyonu gibi istenmeyen

çıktılara sahip bir incelemede “ayrılabilir – ayrılamaz / istenen – istenmeyen çıktılar modeli”nin kullanımı uygun olacaktır. Prosesler arası ölçek olarak çok fazla farklı ve bu fark değerlendirme esnasında farklı sonuçlar doğuracak ise, prosesleri gruplandırarak “kategorilendirilmiş model”in kullanımı önerilmektedir. Bir prosesler kümesi içerisinde zaman kavramına dahil birden fazla alt proses incelendiğinde ise, “pencere analiz” modelinin kullanımı uygun olacaktır.

3.3.2 Serbestlik Derecesi

Serbestlik derecesi veri zarflama analizi için önemli bir parametredir. Öncelikle girdi değişken miktarının, çıktı değişken miktarından daha az olması önerilmektedir [11]. Serbestlik derecesini esas ilgilendiren olgu ise, KVB’lerin sayısının yeterli olmasıdır. KVB’ler benzer çerçevede farklı proseslerin girdi çıktı modellemesinin tanımlaması için gereklidir. Bir fonksiyonun eğrisi üzerinde ne kadar çok nokta biliniyorsa, o fonksiyonun denklemi o derece daha sağlıklı belirlenebilir. Veri zarflama analizinde, yeterli sayıda KVB farklı proseslerin etkinliklerini göreceli olarak kıyaslamada faydalı olmaktadır.

Gerekli KVB sayısının belirlenmesi için, 1996 yılında Banker, Chang ve Cooper tarafından aşağıdaki denklem önerilmiştir [22].

$$n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\} \quad (3.114)$$

Bu denklemde “ m ” girdi sayısı, “ s ” çıktı sayısı ve “ n ” KVB sayısıdır. Literatürde yer alan birçok simülasyonda KVB sayısı bu öneriye göre düzenlenmiştir.

3.3.3 Pozitif Değişkenlik Kuralı

Veri zarflama analizinde dikkat edilmesi gereken bir başka konu, girdi ve çıktı değişkenlerinde pozitif olmayan sayıların kullanılmaması şartıdır. Bazı durumlarda bu değerlerin sıfır veya sıfırdan küçük olması gerekebilir. Örneğin çıktı değişkenlerinden biri net kar olarak nitelendirilen bir veri zarflama analizi programında, proseslerden biri zarar ediyor ise her bir prosesin ilgili değişkenine belirli miktar sabit bir değer ilave edilmesi bu sorunu çözebilir. Aynı şekilde yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin CO₂ salınımı yapmadığını düşünürsek, fosil yakıt kullanan santraller ile etkinlik ölçümü programında yer alabilmesi için diğer

prosesler ile birlikte CO₂ salınımı değerin belirlir bir sabit sayı ile sıfırdan büyük bir sayıya getirilmesi uygun olacaktır.

3.3.4 Ağırlıklandırma ve Önem Sırasının Belirlenmesi

Veri zarflama analizi, doğrusal programlama yöntemi ile farklı KVB'leri girdi ve çıktı değişkenlerinin proses için önemliliğine göre ağırlıklandırarak çözüme gitmektedir. Bu durumda bazı ağırlıklandırmalar, proses için teknik sınırlar dışında mantıksız bir hal alabilir. Örneğin bir tesisin üretim etkinliğinin ölçümü yapılırken, farklı ücretlerle çalışan beyaz ve mavi yaka çalışanlarının direkt olarak üretim etkinliğine olan etkileri farklı olabilmektedir. Bu durumda maaşlarından ötürü beyaz yakalı personelin üretim etkinliğine katkısı az olacağından, duyarlılık analizinde beyaz yaka miktarının azaltılması etkinlik için daha doğru olabilecek sonucu ortaya çıkarabilir. Bu gibi durumlarda güvenli bölge modeli ile teknik olarak sınırlandırılması mümkün olabilecek bazı değişkenlerin ağırlıklandırma oranları istenen bir aralıkta tutulabilir.

4. ENERJİ ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KULLANIMI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

1970’li yıllarda boy gösteren petrol krizi, enerji üzerine araştırma yapan kurum ve kişilerin enerji sistemlerinin modellenmesi ve enerjinin daha etkin kullanımı üzerine çözümler üretmek üzere çalışmalarını hızlandırmasına ön ayak olmuştur [23]. Ardından enerji ve çevre üzerine yapılan çalışmalarla konu, toplumsal farkındalığa dönüşmüştür. Bu farkındalık ile birçok sektör ve alanda kompleks bir çerçevede enerji ve çevrenin daha etkin nasıl kullanılacağına yönelik çalışmalara temel hazırlanmıştır.

Farklı birçok enerji etkinliği ölçüm yöntemleri arasında parametrik olmayan, diğer yöntemlere göre yeni bir yaklaşıma sahip “veri zarflama analizi”, özellikle 1980’li yıllarda devletlerin enerji sektörünü özel sektöre devretmek için mevzuatlarını değiştirmeye başladığı dönemlerde farklı ülkelerin veya coğrafyaların enerji sektörlerinin etkinliğinin ölçümünde sınır analiz yöntemi olarak birçok araştırmada kilit yaklaşım olmuştur [24].

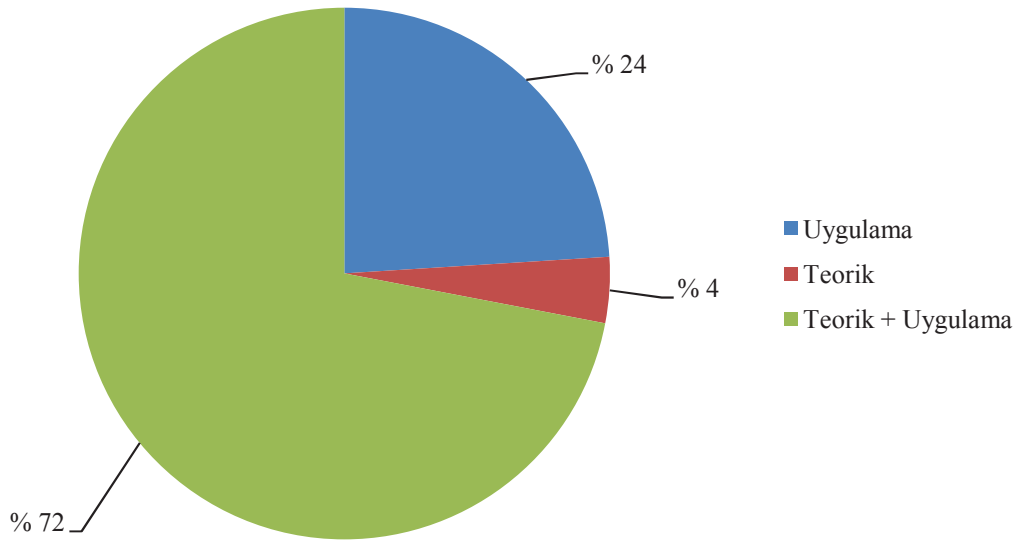
Zou, Ank ve Poh’un 2006’da yaptığı bir araştırmaya göre literatürde o tarihe kadar enerji ve çevre konulu veri zarflama analizi modelleri ile yazılmış makalelerin 100 tanesinden 38’i enerji sektörü üzerinedir [25]. Bu araştırmaların toplu olarak listesi EK-A’da verilmiştir. 1990’lı yıllara kadar veri zarflama analizi ile enerji üzerine yapılmış araştırmalar özellikle enerji üretimi üzerine yoğunlaşırken; 1990’dan sonra makalelerin enerji dağıtımı üzerine yoğunlaştıkları görülmektedir.

Yapılan araştırmaya göre veri zarflama analizi kullanılarak yayınlanan çalışmaların iki tanesi direkt Türkiye için geçerli veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bağdadioğlu, Price ve Weyman-Jones’un yaptığı çalışmada, Türkiye’de araştırmanın yapıldığı dönemdeki 73 farklı bölgede bulunan 2 tanesi özel olmak üzere 76 ayrı elektrik dağıtım şebekesinin veri zarflama analizi ile etkinlikleri karşılaştırılmıştır [26]. Bu araştırmada işgücü, transformatör kapasitesi, şebeke ağ genişliği, genel giderler ve şebeke kayıpları girdi değişkenlerini oluştururken; müşteri sayısı, temin

edilen elektrik miktarı, azami talep ve servis alanı çıktı değişkenlerini oluşturmuştur. Bu makalede CCR modeli kullanılmıştır.

Önüt ve Soner'in yapmış olduğu bir başka araştırma çalışmasında ise, Antalya bölgesinde bulunan 32 farklı otelin enerji kullanımı yönünden etkinlikleri değerlendirilmiştir [27]. Yapılan araştırmada her bir otel bir KVB olarak değerlendirilmiş ve çalışan sayısı, yıllık elektrik, su ve LPG tüketimi proses girdisi olarak tanımlanırken; doluluk oranı, yıllık ciro ve misafir sayısı da hotel prosesinde veri zarflama analizinde kullanılmak üzere çıktılar olarak belirtilmiştir. Bu araştırmada da bir öncekinde olduğu gibi CCR modeli girdiye yönelik olarak kullanılmıştır.

Zou, Ank ve Poh'un yaptığı literatür araştırması konulu çalışmada, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, enerji üzerine veri zarflama analizi ile yapılmış çalışmaların % 24'ü yalnızca uygulama, % 4'ü teori ve geri kalan %72'si ise hem uygulama hem de teoriyi içermektedir [25].



Şekil 4.1 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların kategori dağılımı (%)[25]

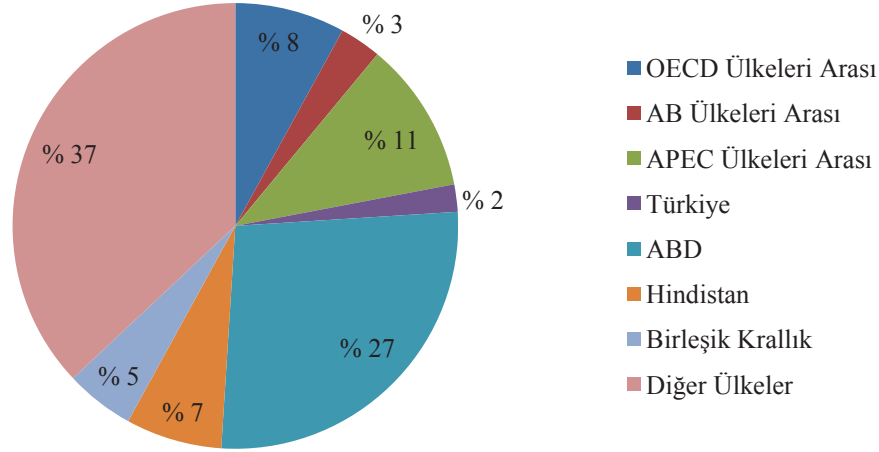
Teorik makalelerde, veri zarflama analizi yöntemlerini geliştirmek için değil, veri zarflama analizinde kullanılacak modellemenin daha sağlıklı ele alınması için geliştirilen öneriler sunulmuştur. Örneğin Callens ve Tyteca tarafından hazırlanan makalede firmaların sürdürülebilirlik için kullanabilecekleri değişkenler ve bunlar ile

ilgili genel denklemler açıklanmaktadır. Callens ve Tyteca, ekonomi, çevre ve sosyal değişkenlerin bazılarının maksimizasyonunun, bazılarının ise minimizasyonunun öneminden bahsetmektedir [28].

Sadece uygulama içeren makaleler ise, literatürde mevcut algoritma ve modellerin gerçek veriler kullanılarak simülasyonun gerçekleştirildiği yayınlardır. Bu makalelerde yeni bir veri zarflama analiz yöntemi öne sürülmediği gibi, diğer makalelerden çok farklı bir algoritma sistemi de yer almamaktadır. Örnek olarak Ramanathan'ın 2000 yılında "Energy Policy" bilimsel dergisinde yayımlanan "Çeşitli ulaşım türlerinin enerji verimliliğinin karşılaştırılmasında bütünsel bir yaklaşım" başlıklı makalesinde Hindistan'ın ulaşım sektörü yıllar bazında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede birbirinden ayrı olarak demiryolu ve karayollarında yük ve yolcu taşımacılığı üzerine 1981 ile 1994 yılları arası değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede TJ cinsinden enerji tüketimi girdiyi oluştururken kilometre ve yolcu sayısı veya yük ağırlığının çarpıldığı, sırasıyla kilometre-yolcu ve kilometre-kilogram yük birimleri çıktı olarak değerlendirilmiştir. Ramanathan bu iki değişik sistemi farklı yıllar üzerinden CCR modeli ile irdelemiş ve duyarlılık analizi yapmıştır [29].

Hem teori hem de uygulama içeren yayınlarda ise, hali hazırda daha önce temeli atılmış modellerin küçük çapta iyileştirmelerini içeren bazı algoritmaların açıklamaları ve bu algoritmalar üzerine örnek bir veri setinin uygulaması ile elde edilen araştırma sonuçları yer almaktadır. Örneğin Zaim ve Taşkın tarafından yapılan bir araştırmada, istenmeyen çıktıların daha etkili bir şekilde veri zarflama analizinde ele alınabilmesi için çevre indeksi adı altında bir tanımlama yapılmıştır. Bu çalışmada, CCR metodu ile prosesin bir çıktısının azaltımında diğer proses girdi ve çıktıların az bir etki ile değiştiği "kuvvetli elden çıkarılabilirlik derecesinin karekökünün", bir proses çıktısının değişiminde prosesin diğer elementlerinin büyük ölçüde etkilendiği "zayıf elden çıkarılabilirlik derecesinin kareköküne" oranı "çevre indisi" olarak tanımlanmış ve içerisinde Türkiye'nin de bulunduğu 24 OECD ülkesinin CO₂ salınımı ve gayrisafi yurt içi milli hasıla değerleri çıktı, toplam iş gücü ve toplam sermaye değerleri ise girdi olarak kabul edilip, çevresel değerlendirmeye tabi tutulmuştur [30].

Konuda gerçekleştirilen çalışmaların % 77'si tek bir ülke verileri ile hazırlanmıştır. Bu tür makalelerde prosesler genellikle imalat sektörü ve imalat sektörünün alt kolları, ulaşım, ticari binalar ve tarım sektörü olmuştur.

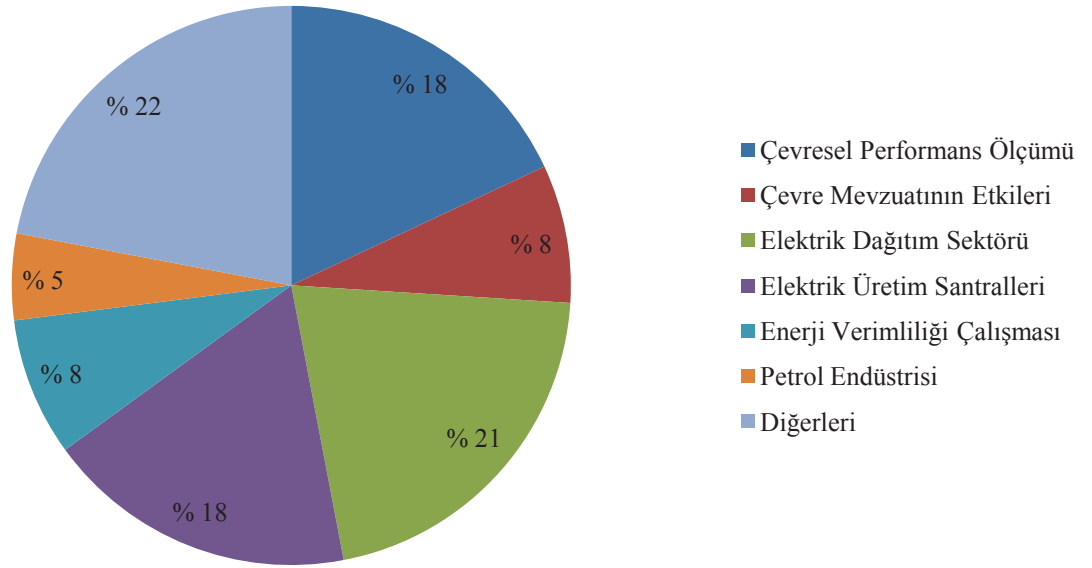


Şekil 4.2 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların konu olduğu ülkelerin dağılımları (%)

Şekil 4.2’den de görüldüğü gibi, en çok araştırmanın yapıldığı ülke % 27’lik bir oranla Amerika Birleşik Devletleri’dir. Amerika Birleşik Devletleri’ni % 11 ile Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği (APEC) ülkeleri ve bir sınıfa tabi olmayan birçok ülkeyi içerisinde barındıran çalışmalar izlemektedir. OECD ülkeleri arasında yapılan etkinlik ölçüm çalışmaları da % 8’lik bir dilimi oluşturmaktadır.

Ülke bazında yapılan çalışmaların önemli bir bölümü, farklı bölgelerin birbiri ile kıyaslanması şeklinde olmuştur. Örneğin Lam ve Shiu tarafından 2001’de yapılan “Çin’in termik santral verimliliğinin veri zarflama analizi” başlıklı çalışmada Çin’in farklı bölgeleri birer KVB olarak tanımlanmış, 31 ayrı KVB ile her bir bölgenin sahip olduğu termik santrallerin etkinlikleri ölçülmüştür [31].

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere, incelenen 100 makalede veri zarflama analizinin kullanıldığı konuların en başında 21 çalışma ile elektrik dağıtım sektörü gelmektedir. Elektrik dağıtım sektörünü elektrik üretim santralleri (18) ile çevresel performans ölçümü (18) konulu araştırmalar izlemektedir. Yayınlanan makalelerin 8 tanesi devlet veya benzeri otoritelerin ortaya koyduğu sınırlar çerçevesinde üretim yapan endüstri kuruluşları veya bu endüstri kuruluşlarının bulunduğu coğrafi bölgelerin produktiviteye etkilerini inceleyen çevre mevzuatı konulu araştırmalardır.



Şekil 4.3 : Veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılmış enerji konulu araştırmaların konu dağılımları (%)

Zou, Ank ve Poh'un 2006 yılında yayınlanan "Enerji ve Çevre Çalışmalarında Veri Zarflama Analizi İncelemesi" adlı 100 makalenin incelendiği araştırmada, enerji verimliliği ve enerji verimliliğinin prodüktiviteye etkilerinin incelendiği makale sayısı sadece 8'dir [25].

4.1 Enerji Verimliliği ve Enerji Verimliliğinin Prodüktiviteye Etkilerinin İncelendiği Araştırmalar

Şekil 4.3'te gösterilen enerji ve çevre etkinliğinin ölçülmesine yönelik veri zarflama analizi yöntemleri ile yapılan toplam 100 çalışmanın % 8'i enerji verimliliği ve enerji verimliliğinin prodüktiviteye etkilerinin incelendiği çalışmalardan oluşmaktadır.

İlgili araştırmalar incelendiğinde, literatürde mevcut enerji verimliliği ve enerji verimliliğinin prodüktiviteye etkilerinin incelendiği araştırmaların 5 tanesi mikro ölçekli çalışmalardır. Bu çalışmalarda belirlenen karar verme birimleri (KVB'ler) firma veya benzeri ölçekte küçük prosesleri oluşturmaktadır.

Bu tür araştırmaların incelendiği diğer ölçek grubu ise makrodur. Makro ölçekli çalışmalarda KVB'ler coğrafi bölge veya endüstri olarak kümelenmiş prosesler

bütünüdür. Genellikle makro ölçekli çalışmalar ülkeler veya benzeri yönetim bölgeleri arası karşılaştırmaları kapsamaktadır.

4.1.1 Makro Ölçekli Araştırmalar

Makro ölçekli çalışmalarda, enerji verimliliği ve enerji verimliliğinin prodüktiviteye etkisi toplu olarak kümelenmiş proseslerin bütünü, diğer zaman dilimleri veya diğer coğrafyalar ile karşılaştırılarak incelenmektedir.

L. Hu ve arkadaşları araştırmalarında, veri zarflama analizi yöntemleri kullanılarak yapılan duyarlılık analizinde çeşitli KVB'lerin etkinliklerini yükseltmek için beklenen optimum enerji girdi değerlerinin gerçek enerji girdi değerlerine oranı olarak tanımlanan “toplam enerji verimliliği faktörü” ile enerji etkinlik ölçümleri yapmışlardır. L. Hu ve C. Wang'ın “Çin eyaletlerinin toplam-faktör enerji verimliliği” başlıklı çalışmasında Çin'deki farklı eyaletlerin ortalama iş gücü, ortalama sermaye, ortalama enerji tüketimi girdi değişkenleri olarak tanımlanırken, yurt içi milli hasıla değeri ise tek çıktı olarak değerlendirilmiştir [32]. Bununla birlikte L. Hu ve C. Kao'nun birlikte yaptıkları “APEC ekonomilerinin verimli enerji – tasarruf hedefleri” başlıklı araştırmada, ortaya konulan toplam enerji verimliliği faktörü yöntemi ile 17 Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği mensubu ülke bazında hesaplanan maksimum etkinlik değeri, enerji planlamasına yardımcı olabilecek enerji verimlilik hedeflerini ortaya koymaya yönelik önemli bir çalışmadır [33].

Daha önceki bölümlerde de örnek olarak gösterilen Ramanathan'ın araştırması, farklı ulaştırma teknikleri arasında farklı zaman dilimlerinde enerji girdi değerleri kullanılarak gerçekleştirilen değişik bir değerlendirme çalışmasıdır. Bu değerlendirme sonucu yapılan duyarlılık analizi ile ulaştırma yöntemlerinin verimlerini arttırmaya yönelik hedef değerler önerilmiştir [29].

4.1.2 Mikro Ölçekli Araştırmalar

Mikro ölçekli çalışmalar, enerji verimliliği ve enerji verimliliğinin prodüktiviteye etkisinin coğrafik veya topluluk olarak değerlendirilmediği, küçük karar verme birimlerinin genellikle firma veya zirai faaliyet gösteren kuruluşlar olduğu ve bu küçük karar verme birimleri arasında karşılaştırmaların yapıldığı yayınları kapsamaktadır.

A. Oude Lansink, I. Bezlepkın ile A. Oude Lansink ve E. Silva “Hollanda seralarında ısıtma teknolojilerinin CO₂ salınımı ve verimlilik etkileri” ve “Hollanda cam seracılık endüstrisinde farklı ısıtma teknolojilerinin CO₂ salınımı ve enerji verimliliği” başlıklı çalışmalarında, Hollanda’da bulunan seraların etkinliklerinin ölçümünde tek çıktı olan farklı gruplardaki sebze, meyve, çiçek veya saksı bitkisi üretiminde, enerji, malzeme, hizmet, yapı, kurulu makine, teçhizat ve işçilik girdilerinin yanında CO₂ emisyon değerleri de girdi olarak proseslere tanıtılmıştır. Seralarda alan ısıtmasında kullanılan fosil yakıtların tüketimi sonucunda CO₂ emisyonu ortaya çıkmakta ve sera içerisinde ürün verimini arttıracak bitkiler için gerekli CO₂ tüketimi miktarını oluşturmaktadır [34], [35].

G. Boyd ve J. Pang’ın yaptığı “Enerji verimliliği ve prodüktivite bağlantısının değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada ise, şişe ve düz cam endüstrisinde bulunan bazı firmaların ürün değerleri çıktı; sermaye, işçilik, elektrik , yakıt ve malzeme tüketim değerleri ise girdi olarak tanımlanmış, elektrik ve yakıt tüketiminin üretime etkisi enerji yoğunluğu üzerinden kıyaslanmış, bu endüstri için örnek olarak kullanılan veri seti ile prodüktivite ve enerji verimliliği arasındaki bağlantı değerlendirilmiştir [36].

N. Chauhan, P. Mohapatra ve K. Pandey’in 2005’te yaptığı “Çeltik üretiminde karşılaştırma yöntemi ile enerji verimliliğinin artırılması- Veri zarflama analizi uygulaması” başlıklı çalışmada ise Hindistan’da pirinç tarlalarının üretim proseslerinde pirinç üretimi çıktısı elde etmek için kullanılan enerji (dizel, elektrik), tohum, gübre, tarımsal ilaç, iş gücü ve tarla yüz ölçümü değerleri girdi olarak değerlendirilip veri zarflama yöntemi yardımı ile etkinlik ölçümü yapılmış, kullanılan enerjinin prodüktiviteye etkisinin incelenmesi ve pirinç tarlalarında enerji kullanımının nasıl düşürülebileceği incelenmiştir [37].

S. Önüt ve S. Soner’in Türkiye’yi konu alarak yaptıkları “Antalya bölgesi otellerinde enerji verimliliği değerlendirmesi” başlıklı çalışmada, Antalya’da bulunan 32 otelin enerji verimliliği veri zarflama analizi etkinlik değerlendirmesi ile incelenmiştir. Bu çalışmada daha önce de bahsedildiği gibi, çalışan sayısı, yıllık elektrik, su, LPG tüketimi proses girdileri olarak ele alınırken, doluluk oranı, yıllık ciro ve yıllık konaklayan misafir sayısı da çıktı olarak tanımlanmıştır [27].

Bu bölümde Zou, Ank ve Poh’un 2006 yılında yayınlanan, veri zarflama yöntemi ile enerji ve çevre konusu üzerine yapılan çalışmaların derlendiği, “Enerji ve Çevre

Çalışmalarında Veri Zarflama Analizi İncelemesi” adlı araştırma esas alınarak, konudaki makaleler irdelenmiş ve tüm istatistikler ilgili tarihe kadar yayınlanan makaleler ışığında sunulmuştur [25].

Bundan sonraki bölümde, daha önceki bölümlerde açıklanan veri zarflama analizi modelleri kullanılarak Türkiye’de imalat sanayinin enerji etkinliği üzerine yapılan çalışmaya yer verilecektir.

5. İMALAT SEKTÖRÜNDE ENERJİ ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

Şirketler dinamik piyasalarda pazar payını maksimize ederken karlılıklarını da arttırmak için, üretim girdilerinin azaltımı, düşük maliyetli ve kaliteli ürünler sunabilmek amacıyla enerji verimliliği çalışmalarına yönelmişlerdir. Bu çalışmalar yalnızca üretim girdi değerlerini düşürmekle kalmayarak, kurumsal sorumluluk çerçevesinde üretimde direkt ve dolaylı enerji tüketiminden ötürü çevrenin daha az kirletilmesi ve daha ‘yeşil’ bir marka görüntüsü verilebilmesi için ideal bir araç olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda gerek piyasanın, gerekse daha geniş ölçekte şehir, ülke, kıta gibi coğrafi bölgelerin birbiri ile performanslarının değerlendirilmesinde bazı yöntemlerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla birçok yöntem geliştirilmiştir.

Etkinliği ölçülmek istenen proses veya coğrafi bölgelerin girdi ve çıktı değerleri arasında aynı birim ile değerlendirilemeyecek farklı büyüklüklerin olması muhtemeldir. Örneğin S. Önüt ve S. Soneri Antalya’da bulunan otellerin enerji kullanım etkinliğini değerlendirirken proses girdileri olarak otel çalışan sayısı, yıllık elektrik, su, LPG tüketimini sıralarken, proses çıktısı olarak da otelin doluluk oranı, yıllık ciro ve yıllık konaklayan misafir sayısını almışlardır [27]. Bu çalışmada önemli bir çıktı olan doluluk oranı, yıllık ciro veya konaklayan misafir ile aynı birimde olamayacağı için parametrik olarak değerlendirmesi güçleşmektedir. Bu gibi durumlarda parametrik yöntemler etkinlik ölçümünde yetersiz kalmaktadır.

Parametrik olmayan ve diğer yöntemlere nazaran farklı bir yaklaşıma sahip “veri zarflama analizi” özellikle 80’li yıllardaki enerji sektöründe yasal mevzuatların değişmeye ve yeniden şekillenmeye başladığı dönemlerde farklı coğrafya ve farklı proseslerin etkinliğinin ölçümünde sınır analiz yöntemi olarak birçok araştırmada önemli bir yaklaşım yöntemi olarak kullanılmıştır [24].

Enerji verimliliği özellikle imalat sektöründe ayrı bir öneme sahiptir. İmalat sektörü sanayi devriminden beri insan gücünü minimize ederken, üretim kapasitesini arttırmaya yönelik eğilimini halen sürdürmektedir. Bu amaçla proses için gerekli

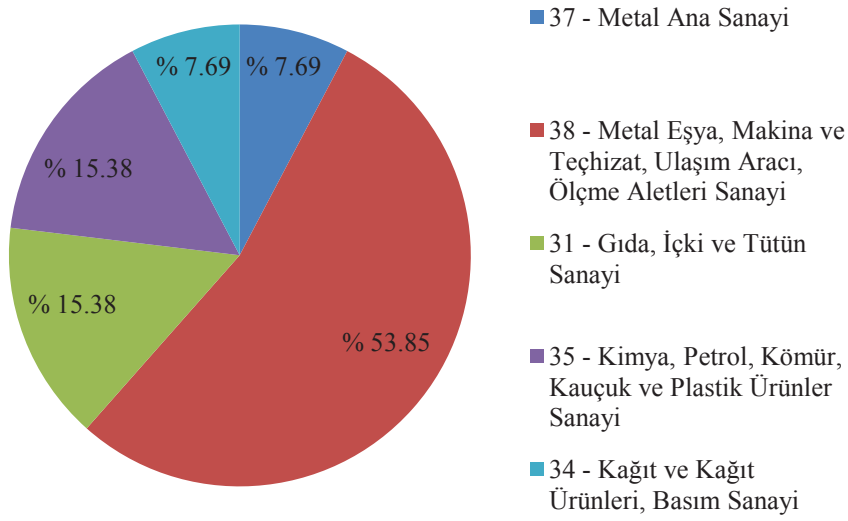
değerlerine erişilen 13 sanayi kuruluşunun veri zarflama analizi yöntemlerinden biri ile enerji etkinliğinin karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır.

İstanbul Sanayi Odası, 1952 yılında Türk sanayisinin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarını farklı kanallar vasıtası ile karşılayıp, ulusal sanayi kuruluşlarının global pazarda etkili bir oyuncu olmaları yolunda katkıda bulunmak amacıyla kurulan bir sivil toplum kuruluşudur [38]. Bu amaçla kurulan İstanbul Sanayi Odası (İSO), 13,000 üyesi ile en büyük sivil toplum kuruluşlarından biri olarak üretim endüstrisi verilerini derleyen ve gizlilik ilkeleri çerçevesinde raporlar yayınlayan bir organizasyondur..

İstanbul Sanayi Odası'nın 2009 yılında internet sayfasında yayınladığı “Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu” ve “Türkiye'nin İkinci 500 Büyük Sanayi Kuruluşu” raporlarından seçilen sanayi kuruluşlarının üretim enerji girdi değerlerine sürdürülebilirlik raporlarından ve bizzat şirketlere yapılan başvurular ile ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu yollarla ulaşılan elektrik, doğal gaz veya eşdeğeri enerji tüketim değerlerinin girdi ve üretimden elde edilen satışlar tutarlarının da çıktı olarak değerlendirildiği çalışmada, ilk bin listesinde bulunan şirketler birbirinden farklı büyüklük ve üretim hacimlerinde olduğu için, ilk 100 listesinde ve 101-1000 aralığında yer alanlar olarak ikiye ayrılmıştır. 101-1000 listesinde bulunan ve değerlendirmeye alınan tüm kuruluşlar “Kategori 1”, üretimden elde edilen satışlar tutarı karşılaştırmasında Kategori 1'den daha avantajlı olan ilk 100 listesindeki kuruluşlar ise “Kategori 2” olarak tanımlanmıştır.

Değişik ortamlarda imalat yapan kuruluşların enerji tüketim değerlerinin üretimden elde edilen satışlara oranları birbirinden farklı olacağı düşünülerek, gruplama yoluna gidilen bu çalışmada tezin 3. bölümünde ele alınan veri zarflama analizi modellerinden “kategorilendirilmiş veri zarflama analiz modeli” kullanılarak farklı büyüklüklerdeki imalat sanayinde söz sahibi 13 kuruluşun enerji etkinliği karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonrası Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması Rev.2'ye (Ek A) göre “38” kodlu “Metal eşya, makina ve teçhizat, ulaşım aracı, ölçme aletleri sanayi” sınıfı içerisinde bulunan 7 kuruluşun CCR modeli ile enerji etkinliğinin daha detaylı irdelenmesi de yapılmıştır.

Yapılan karşılaştırmada yer alan imalat sanayi kuruluşlarının faaliyetinde bulundukları alt sektörler, Birleşmiş Devletler İstatistik Departmanı'nın belirlediği Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması'na göre grafiksel olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Araştırmaya konu olan kuruluşların sanayi sınıflandırması

Şekilde görüldüğü üzere araştırmaya konu olan kuruluşlar “3” kodlu imalat sanayindeki 5 farklı alt kategoriden seçilmiştir. Her bir alt kategorinin göreceli olarak benzer nitelikte olmayacağı düşünülebilir. Bu sebeple kategorilendirilmiş veri zarflama analizi , BCC (Banker-Charnes-Cooper) modeli ile yapılacaktır. Tezin 3. Bölümünde açıklandığı gibi, BCC modeli kullanılarak, CCR modelinin önerdiği ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile verimli sınır çizgisinin belirlenmesi yerine, farklı üretim eğrileri için iç bükey olarak ölçeğe göre artan, azalan veya sabit verimli sınır doğru parçalarını içeren verimli sınır çizgisi çizilecek ve prosesler daha sağlıklı olarak değerlendirilecektir [14]. Enerji etkinliği ölçüldüğü için, girdilerin azaltılması yönündeki çalışmalara destek verebilecek girdiye yönelik BCC modelinin kategorilendirilmiş algoritma içerisinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Veri zarflama analizi parametrik olmadığı, farklı birim ve boyutlarda ölçülebilir birçok değişken yardımıyla proseslerin birbiri ile değerlendirilmesinde kolaylık sağlayabildiği için, seçilen üretim sanayi kuruluşlarının enerji girdi değerleri elektrik enerjisi için kWh/yıl olarak alınırken, doğal gaz tüketimi m³/yıl birimi ile değerlendirilmiştir. Üretim çıktı değişkeni olarak kabul edilen üretimden elde edilen net satış tutarı ise Türk Lirası olarak kategorilendirilmiş ve veri zarflama analizine tanıtılmıştır. Enerji etkinlikleri karşılaştırılan 13 sanayi kuruluşunun enerji girdi ve üretimden elde edilen net satış çıktı değerlerinin özeti Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : 13 sanayi kuruluşu için proses girdi ve çıktı değerleri özet tablosu

	Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama
	Elektrik (kwh/yıl)	641,130	43,607,862	14,470,202
	Doğal Gaz (m ³ /yıl)	16,702	3,468,873	821,487
Kategori 1	Üretimden Net Satışlar (TL)	43,967,552	198,439,267	97,643,273
	Elektrik (kwh/yıl)	13,756,003	1,432,950,000	253,054,326
	Doğal Gaz (m ³ /yıl)	848,213	375,003,056	106,538,168
Kategori 2	Üretimden Net Satışlar (TL)	383,830,575	5,014,572,054	1,941,644,867

Coğrafi etmenlerin prosesin sağlıklı sonuç vermesini engellemesini önlemek için, analizi yapılan imalat sanayinde faaliyet gösteren kuruluşlardan bir tanesi hariç tümü Marmara Bölgesi'nden seçilmiştir. Böylece coğrafi etmenlerden ortaya çıkabilecek farklılıklar ve değişiklikler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Değişkenlerin daha tutarlı sonuçlar üretebilmesi için tekstil, giyim ve deri sanayi gibi iş gücü yoğun imalat sanayi alt grupları ile Uluslararası Sanayi Sınıflandırması'nda imalat sanayi içerisinde herhangi bir kategori altında yer edinememiş diğer imalat sanayi kuruluşları bu değerlendirme kapsamına alınmamıştır.

Bazı kuruluşlar, elektrik ve doğalgaz harici kaynakları üretimde proses girdisi olarak kullanmaktadır. Bu çalışma esnasında kullanılan farklı enerji türleri, enerjinin dönüşümü yasasına uygun olarak alt ısı değerleri yolu ile birbiri içinde dönüştürülmüştür. Örneğin bir sanayi işletmesi doğalgazın yanında ısıtma veya soğutma amaçlı LNG kullanıyor ise, beyan edilen LNG tüketimi alt ısı değeri baz alınarak doğal gaz miktarına dönüştürülmüştür. Veri zarflama analizinin zayıf noktalarından biri, karşılaştırma yapılan girdi veya çıktı değişkenlerinin sıfırdan farklı olma şartıdır. Kuruluşlardan biri LNG kullanıyor ama diğerleri kullanmıyor ise, LNG kullanımının enerji etkinliği hesaplamalarında bir değişken olarak tanımlanması durumunda, veri zarflama analizi hesaplamaları sonrası LNG kullanan kuruluşun etkinliği düşük çıkacaktır. Bu sonucun nedeni, veri zarflama analizinin LNG kullanmayan proseslerin LNG ihtiyacı olmadan benzer katma değeri sağlayabiliyor olduğu yorumunda bulunmasıdır.

Hesaplamalar Microsoft Excel makrosu olarak adlandırılan ve çoğu araştırmada araç olarak kullanılan “DEA-Solver Learner Version 3.0” programı ile yapılmıştır. Analizlerde kullanılan “girdiye yönelik BCC modelinin kullanıldığı kategorilendirilmiş model”in çıktıları aşağıdaki Çizelge 5.2’de verilmektedir. Değerlendirilmesi yapılan her bir sanayi kuruluşu bir KVB olarak tanımlanmıştır. “DEA-Solver Learner Version 3.0” ile yapılan hesaplama çıktıları ekteki CD’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : İmalat sanayi veri zarflama analizi hesaplama çıktıları.

Sıralama	KVB	Etkinlik	Kategori	Sanayi Kodu
1	KVB 1	% 100	2	37
1	KVB 2	% 100	2	38
1	KVB 3	% 100	2	38
1	KVB 4	% 100	2	38
1	KVB 13	% 100	1	34
1	KVB 6	% 100	2	38
1	KVB 12	% 100	1	38
1	KVB 8	% 100	1	38
1	KVB 11	% 100	1	35
1	KVB 10	% 100	1	38
11	KVB 7	%57.61	2	35
12	KVB 9	%40.42	1	31
13	KVB 5	%11.16	2	31

31: Gıda, İçki ve Tütün Sanayi

34: Kağıt ve Kağıt ürünleri Basım Sanayi

35: Kimya, Petrol, Kömür, Kauçuk ve Plastik Ürünler Sanayi

37: Metal Ana Sanayi

38: Metal Eşya, Makina ve Teçhizat, Ulaşım Aracı, Ölçme Aletleri Sanayi

DEA-Solver Learner Version 3.0 programı hesaplama sonuçlarından görüldüğü gibi, enerji girdilerinin ve üretimden elde edilen satış tutarlarının değerlendirildiği bu araştırmada “Gıda, İçki ve Tütün Sanayi” alt dalında bulunan kuruluşlar enerjiyi en az etkinlik ile kullanan kuruluşlar olarak nitelendirilmiştir. KVB 7, KVB 9 ve KVB 5

kodlu sanayi kuruluşları, çıktı miktarı değiştirilmeden, girdi değerleri bulunan etkinlik oranları ile çarpıldığında aynı çıktı miktarını üretebilirlerse, karşılaştırması yapılan diğer firmalar gibi etkin sınır çizgisinde diğer proseslere benzer şekilde % 100 etkinliğe erişebileceklerdir.

İmalat sektöründe birçok alt gruba dahil sanayi kuruluşunu kapsayacak şekilde gerçekleştirilen bu çalışma; gıda, içki ve tütün sanayi alt kolundaki işletmelerde üretilen birim katma değer için tüketilen enerji miktarının diğer alt sanayi gruplarına göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Göreceli olarak diğer alt sanayi kollarına göre yukarıda bahsedilen oranın çok farklı olmasının, veri zarflama analizi çalışmasını olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu nedenle araştırmaya bu aşamadan sonra imalat sanayi alt kollarından en çok veriye sahip olduğumuz (7 kuruluş) “38” kodlu “Metal eşya, makina ve teçhizat, ulaşım aracı, ölçme aletleri sanayi” kuruluşları arasında enerji etkinliğinin ölçümü ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Verilerine ulaşılabilen imalat sektöründe faaliyet gösteren 13 kuruluş birbirinden farklı 5 alt grup altında toplanmaktadır. Farklı alt gruplardaki bu kuruluşlar, farklı üretim eğrilerine sahip oldukları için karşılaştırma esnasında lineer veya ölçeğe göre sabit bir nitelikte olamayabileceklerdir. Araştırmanın bir ileri aşaması olarak enerji etkinliği değerlendirmesi tekrarlanan imalat sanayi alt kollarından “38” kodlu “Metal eşya, makina ve teçhizat, ulaşım aracı, ölçme aletleri sanayi” gruptaki 7 kuruluşun proseslerinin benzer oldukları düşünülmektedir. Çizelge 5.3’te verilen girdi değerleri karşılaştırıldığında, 5 farklı alt kolu içeren 13 kuruluş için verilen Çizelge 5.1’deki girdi değerlerinden göreceli olarak daha fazla oldukları görülmektedir. Bu sebeple bir önceki analizde kullanılan BCC metodu bu aşamada geçerliliğini yitirerek sağlıklı sonuçlar üretemeyecektir. Analizi yapılacak 7 işletmenin enerji etkinliğinin değerlendirilmesi için Charnes, Cooper ve Rhodes’ın önerdiği “CCR metodu ile ölçeğe göre sabit bir eğime sahip verimli sınır çizgisi” kullanılarak hesaplama yapılması daha uygun olacaktır. Bir önceki analizde prosesler arası daha detaylı bir hesaplama yapabilmek için kategori modeli önerilmiştir. Ancak bu aşamada sayıca daha az ama buna karşılık benzer prosesli işletmelerin performans değerlendirmesi yapılacağı için bu model önerilmemektedir.

Çizelge 5.3 : 7 Prosesin girdi ve çıktı değerleri özet tablosu

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama
Elektrik (kwh/yıl)	641,130	161,553,056	34,954,702
Doğal Gaz (m ³ /yıl)	16,702	35,033,368	7,941,749
Üretimden Net Satışlar (TL)	46,777,663	4,068,892,569	1,105,196,341

Enerji etkinliği değerlendirilmesi yapılan “38” kodlu “Metal eşya, makina ve teçhizat, ulaşım aracı, ölçme aletleri sanayi” alt kolunda faaliyet gösteren toplam 7 kuruluşun tamamı Marmara Bölgesi’ndeki Bursa, İstanbul ve Kocaeli’ndeki işletmelerdir.

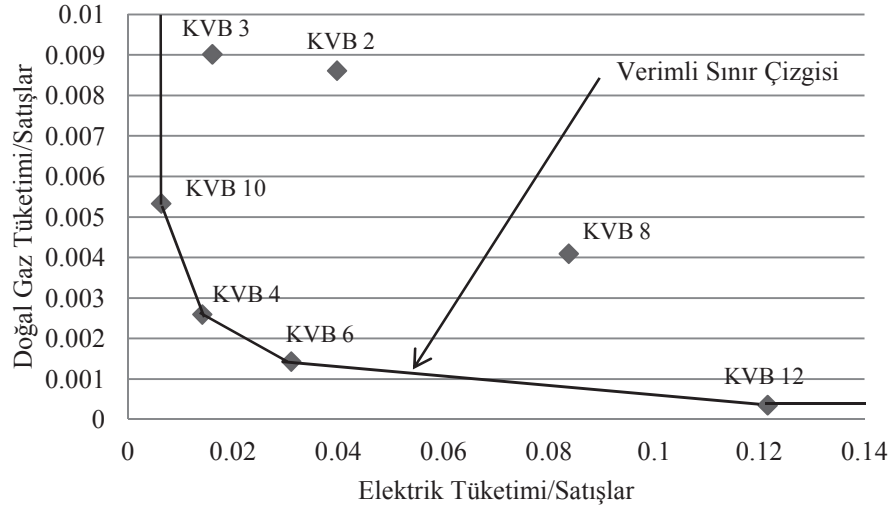
Bu 7 kuruluş için “DEA-Solver Learner Version 3.0” yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Çizelge 5.4’de verilmektedir. Çizelgedeki sonuçlardan 7 işletmeden 3’ünün (KVB 2, KVB 3 ve KVB 8) performanslarının verimli sınır çizgisinin altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.4 : 38 Kodlu kuruluşlar için hesaplama çıktıları

Sıralama	KVB	Etkinlik
1	KVB 12	% 100
1	KVB 10	% 100
1	KVB 6	% 100
1	KVB 4	% 100
5	KVB 3	% 51.53
6	KVB 8	% 36.20
7	KVB 2	% 33.46

“Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı” ile yapılan hesaplama sonrası elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir. Her bir girdi değişkeninin çıktıya oranı şeklinde gösterilen grafikte “KVB 3”, “KVB 2” ve “KVB 8” verimli sınır çizgisi dışında kalmaktadır. Bu noktaların da diğer noktalar gibi verimli sınır çizgisi üzerinde bulunabilmesi için, kendilerine en yakın bulunan iki noktaya olan mesafeleri kadar yapılacak verimlilik çalışmaları sonucunda, benzer oranda enerji

tüketimi ile aynı oranda üretim elde edilebilecek ve aynı değerde net satış tutarına ulaşılacaktır.



Şekil 5.2 : 38 kodlu kuruluşların hesaplama çıktıları

Grafiksel olarak gösterilen sonuçlar doğrultusunda etkin olmayan KVB'lerin ne oranda iyileştirmeye ihtiyacı olduğu hesaplanarak Çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : 38 Kodlu kuruluşlar için verimlilik öngörülleri

Proses	Değişim (%)	Verimli Sınır Referans Noktaları
KVB 2	% 66.54	KVB 4, KVB 10
KVB 3	% 48.47	KVB 4, KVB 10
KVB 4	% 0	-
KVB 6	% 0	-
KVB 8	% 63.80	KVB 12, KVB 6
KVB 10	% 0	-
KVB 12	% 0	-

Yapılan hesaplamalarda da görüldüğü gibi, karşılaştırma yapılacak olan proseslerin birbiri ile benzerlik göstermesi veri zarflama analizinin sağlıklı sonuçlar üretebilmesi açısından önemlidir. Bir önceki hesaplamada etkin olarak görünen bazı KVB'lerin ikinci daha detaylı analiz sonrası etkin olmadıkları ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada 3. bölümde anlatılan veri zarflama analizi yöntemlerinin gerçek değerlerle bir uygulaması yapılmaya çalışılmış ve bu tür analizlerde sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için doğru yöntem-model seçimi ve çok sayıda doğru veri ihtiyaının önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6. SONUÇ

1973 yılında petrol krizi ve 1979 İran devrimi ile birlikte, enerji piyasasının her zaman kullanıcıların lehinde olmayacağı ve üretici ülkelerin belirlediği ölçüde değişebileceği göstergeleri sonrası “enerjinin daha etkin kullanılması” üzerine pratik çözümler sunan çalışmaların arttığı ve bu çalışmalar sonrası yapılan uygulamalar ile toplumsal farkındalığın güçlendiği görülmektedir. Bu farkındalık, birçok sektör ve alanda kompleks bir çerçevede enerji ve çevrenin daha etkin nasıl kullanılacağına yönelik çalışma ve uygulamalara zemin hazırlamıştır.

Farklı birçok enerji etkinliği ölçüm yöntemleri içinden parametrik olmayan, diğer yöntemlere kıyasla yeni bir yaklaşım sergileyen “veri zarflama analizi” özellikle 1980’li yıllarda devletlerin enerji sektörünü özel sektöre devretmek için mevzuatlarını değiştirmeye başladığı dönemlerde farklı ülkelerin veya coğrafyaların enerji sektörlerinin etkinliğinin ölçümünde, sınır analiz yöntemi olarak birçok araştırmada yaygın kullanılan bir yöntem olmuştur [24].

Bu tezin amacı, veri zarflama analizi yöntemi ile enerji verimliliğinin belirlenmesinde, farklı proseslerin birbiri ile kıyaslanmasında aynı birim ile ifade edilemeyen farklı girdi ve çıktı değerlerinin bir bütün olarak değerlendirilip birbiri ile karşılaştırılmasına olanak sağlayan değişik yöntem ve modellerin tanıtılmasıdır. Tezde veri zarflama analizi için geçerli yöntem ve modeller tanıtıldıktan sonra, literatürde bu modeller kullanılarak enerji alanında yapılmış araştırmalar anlatılmış ve özellikle enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar üzerinde daha detaylı durulmuştur. Literatürde mevcut örnek çalışmaların yöntemleri ve proses tanımlamaları karşılaştırılmıştır. Ardından gerçek tüketim ve üretim değerlerine ulaşılan imalat sanayinde faaliyet gösteren farklı büyüklüklerdeki 17 kuruluşun enerji etkinlikleri birbirlerine göre bağıl olarak değerlendirilmiş ve veri zarflama analizi ile yapılan hesaplamalar ile çıktı değerleri sorgulanarak yorumlar yapılmıştır.

Bu tez kapsamında, incelenen “veri zarflama analizi yöntemi”nin sanayi işletmelerinin enerji verimliliklerinin değerlendirilmesi, olası enerji tasarruf oranlarının tahmin edilmesi amaçlı gerçek verilerle uygulanmasına yönelik bir

Çalışma yapılması amaçlanmıştır. Bu araştırma için gerekli veriler toplanmaya çalışılırken, maalesef Türkiye’deki kurumsal nitelikteki birçok firmanın kurumsal sorumluluk çerçevesinde global rakiplerinin yaptığı gibi, enerji tüketimlerini ve çevreye verilen tahribatın sayısal büyüklüklerini paylaşamadığı anlaşılmıştır. İstanbül Sanayi Odası’nın yayınladığı “Türkiye’nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu” listesinde bulunan en büyük 100 kuruluştan yalnızca 6’sının enerji ve evre raporu hazırlıyor olması, ülkemizde enerji verimliliği kavramını iyi anlayan ve bu anlayışa yönelik etkin üretim yapan tesislerin sayısının çok az olduğunu göstermektedir. Kuruluşların retim enerji girdi ve üretim çevresel kirletici çıktılarını paylaşamıyor olması, enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaların çoğalmasını ve etkinleşmesini engellemektedir. Enerjiyi etkin kullanan firmaların yanı sıra, üretimden elde edilen satışlar sıralamasına göre “Türkiye En Büyük 500 Sanayi Kuruluşu” ve “Türkiye En Büyük İkinci 500 Sanayi Kuruluşu” listesine girebilen firmaların birçoğunun enerji girdi ve evre kirletici ıktıları üzerine herhangi bir veri toplama, analiz etme sistemlerinin henüz kurulamamış olması, ilgili kuruluşların enerji verimliliği konusundaki çalışmalarının yeterli olmadığı kanaatini doğurmaktadır.

Ulaşılabilen imalat sanayinin beş farklı alt kolunda faaliyet gösteren 13 kuruluş verileri ile yapılan çalışmada, veri zarflama analizi modellerinden birisinin uygulanması ile elde edilen sonuçlardan, mevcut verilerin tip ve sayıları yeterli olmadığı için detaylı yorumlar yapılamadığı görülmüştür. Bu nedenle alışma “Metal eşya, makina ve teçhizat, ulaşım aracı, lme aletleri sanayi” alt kolundaki benzer proselere sahip 7 kuruluş verileri ile, farklı modeller kullanılarak genişletilmiştir. Bu daha detaylı analiz sonrası ortaya çıkan sonuçlardan, veri tipleri birbirine benzer olduğunda daha sağlıklı sonuçların elde edilebildiği anlaşılmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de üzerinde önemle durulan enerji verimliliği çalışmalarında gelecek için geçerli projeksiyonlar yapabilmek, eldeki kısıtlı olanakları doğru yerlerde kullanabilmek amacıyla çok önemli bir araç olan analiz yöntemlerini uygulayabilmek ve sağlıklı sonuçlar alabilmek için yeterli tip ve sayıda geek verilere ihtiyaç olduğu ortadadır. Bu nedenle ülke çapında sağlıklı bir veri tabanı oluşturulabilmesi için gerekli alt yapının en kısa zamanda sağlanması gerekmektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı alanlarda faaliyet gösteren değişik ölçeklerdeki sanayi kuruluşlarının tüketim ve üretim verileri daha detaylı ve proses düzeyinde elde edilerek enerji etkinliği analizlerinin geçekleştirilmesi son derece

önemlidir. Bu şekilde yapılacak sağlıklı analizler ile elde edilecek gerçekçi enerji tasarruf potansiyelleri, özellikle imalat sektörümüzün maliyetlerini düşürme ve global pazarlarda yer alabilme çalışmaları açısından yararlı ve yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Farrell, M.J.** (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General)* Vol. 120 No.3, pp 253-290. Alındığı tarih: 23 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.jstor.com/>
- [2] **Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E.** (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No: 6, pp 429-444. Alındığı tarih: 23 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [3] **Milli Prodüktivite Merkezi,** (2004). *Verimlilik Raporu 3 Sürdürülebilir Büyümenin Anahtarı: Verimlilik*, Ankara.
- [4] **Kavak, K.,** (2005). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiide Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, DPT- Uzmanlık Tezleri, Ankara.
- [5] **Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A., Tanishima, S., Unander, F.** (2006). Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. *Energy Policy*, Vol. 34, No: 5, pp 556-573. Alındığı tarih: 23 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [6] **IEA,** (2010). *World Energy Outlook 2010*, Fransa.
- [7] **Url- 1** <http://tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1038>, alındığı tarih 23 Nisan 2011.
- [8] **TÜİK,** (2001). *İmalat Sanayiinde Enerji Tüketimi (500 TEP ve Daha Fazla Tüketen İşyerleri)*, Ankara.
- [9] **TCMB,** (2010). *Finansal İstikrar Raporu*, Sayı 11, Ankara.
- [10] **T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı,** (2011). *Sanayi Üretim Endeksi ve İmalat Sanayi Değerlendirme Raporu*, Ankara
- [11] **Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K.,** (2006). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver*, Springer, 2. Baskı, New York, ABD.
- [12] **Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K.,** (2005). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*, Springer, 1. Baskı, New York, ABD.
- [13] **Charnes, A., Cooper, W.W.,** (1973). An explicit general solution in linear fractional programming. *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 20, No: 3, pp 449-467. Alındığı tarih: 23 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.wiley.com/>

- [14] **Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W.,** (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, Vol. 30, No: 9, pp 1078-1092 Alındığı tarih: 30 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.proquest.com/>
- [15] **Tone, K.,** (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, No: 3, pp 498-509. Alındığı tarih: 30 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [16] **Thompson, R.G., Singleton, Jr. F. Thrall, R. M., Smith, B. A.,** (1986). Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas. *Interfaces*, Vol. 16, No: 6, pp 35-49. Alındığı tarih: 30 Mart 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.ebscohost.com/>
- [17] **Banker, R.D., Morey, R. C.,** (1986). Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs. *Operations Research*, Vol. 34, No: 4, pp 513-521. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.ebscohost.com/>
- [18] **Rousseau, J. J., Semple, J. H.,** (1993). Notes: Categorical Outputs in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, Vol. 39, No: 3, pp 384-386. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.ebscohost.com/>
- [19] **Holger, S.,** (2001). Undesirable outputs in efficiency valuations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, No: 2, pp 400-410. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [20] **Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W., Golany, B.,** (1985). A developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces. *Annals of Operations Research*, Vol. 2, No: 1, pp 95-112. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.springerlink.com/>
- [21] **Shu-Hsing Chung, Amy Hsin-I Lee, He-Yau Kang, Chih-Wei Lai,** (2008). A DEA window analysis on the product family mix selection for a semiconductor fabricator. *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, No: 1-2, pp 379-388. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [22] **Banker , R. D., Chang, H., Cooper, W. W.,** (1996). Simulation Studies of Efficiency Returns to Scale and misspecification with nonlinear functions in DEA. *Annals of Operations Research*, Vol. 66, No: 4, pp 231-253. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.springerlink.com/>
- [23] **Loken, E.,** (2005). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, No: 7, pp 1584-1595. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>

- [24] **Jamasb, T., Pollitt, M.,** (2000). Benchmarking and regulation: international electricity experience. *Utilities Policy* Vol. 9, No: 3, pp 107-130. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [25] **Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L.,** (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, Vol. 189, No: 1, pp 1-18. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [26] **Bagdadioglu, N., Waddams Price, M. C., Weyman-Jones, T. G.,** (1996). Efficiency and ownership in electricity distribution: A non-parametric model of the Turkish experience. *Energy Economics*, Vol. 18, No: 1-2, pp 1-23. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [27] **Önüt, S., Soner, S.,** (2006). Energy efficiency assessment for the Antalya region hotels in Turkey. *Energy and Buildings*, Vol. 38, No: 8, pp 964-971. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [28] **Callens, I., Tyteca, D.,** (1999). Towards indicators of sustainable development for firms: A productive efficiency perspective. *Ecological Economics*, Vol. 28, No: 1, pp 41-53. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [29] **Ramanathan, R.,** (2000). A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes. *Energy Policy*, Vol. 28, No: 11, pp 743-747. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [30] **Zaim, O., Taşkın, F.,** (2000). Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach. *Journal of Environmental Management*, Vol. 58, No: 2, pp 95-107 Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [31] **Lam, P., Shiu, A.,** (2001). A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation. *Utilities Policy*, Vol. 10, No: 2, pp 75-83. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [32] **Hu, J., Wang, S.,** (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, Vol. 34, No: 17, pp 3206-3217. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [33] **Hu, J., Kao, C.,** (2007). Efficient energy-savings targets for APEC economies. *Energy Policy*, Vol. 35, No: 1, pp 373-382. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [34] **Lansink, A. O., Bezlepkin, I.,** (2003). The effect of heating technologies on CO₂ and energy efficiency of Dutch greenhouse firms. *Journal of Environmental Management*, Vol. 68, No: 1, pp 73-82. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>

- [35] **Lansink, A. O., Silva, E.,** (2003). CO₂ and energy efficiency of different heating technologies in the Dutch glasshouse industry. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 24, No: 4, pp 395-307. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.proquest.com/>
- [36] **Boyd, G. A., Pang, J. X.,** (2000). Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. *Energy Policy*, Vol. 28, No: 5, pp 289-296. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [37] **Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K. J., Pandey, K. P.,** (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking- An application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, No: 9-10, pp 1063-1085. Alındığı tarih: 04 Nisan 2011, Alındığı veri tabanı: <http://www.sciencedirect.com/>
- [38] **Url- 2** <http://www.iso.org.tr/tr/web/statiksayfalar/iso_hakkinda.aspx>, alındığı tarih 23 Nisan 2011.

EKLER

EK A : Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması Rev.2

EK A**Çizelge A.1 : Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması Rev.2**

Kod	Tanım
1	Tarım, Avcılık, Ormancılık ve Balıkçılık
11	Tarım ve Avcılık
12	Ormancılık ve Orman İşletmeciliği
13	Balıkçılık
2	Madencilik ve Taş Ocakçılığı
21	Kömür Madenciliği
22	Ham Petrol ve Doğal Gaz Çıkarıcılığı
23	Metal Cevher Madenciliği
29	Diğer Madencilik
3	İmalat Sanayi
31	Gıda, İçki ve Tütün Sanayi
32	Tekstil, Giyim ve Deri Sanayi
33	Orman Ürünleri Sanayii ve Mobilyacılık
34	Kağıt ve Kağıt Ürünleri, Basım Sanayi
35	Kimya, Petrol, Kömür, Kauçuk ve Plastik Ürünler Sanayi
36	Petrol ve Türevleri Hariç Taş ve Toprağa Dayalı Sanayi

Kaynak: Birleşmiş Milletler İstatistik Departmanı

Çizelge A.1 : (Devam) Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması Rev.2

Kod	Tanım
37	Metal Ana Sanayi
38	Metal Eşya, Makina ve Teçhizat, Ulaşım Aracı, Ölçme Aletleri Sanayi
39	Diğer İmalat Sanayi
4	Elektrik, Gaz ve Su
41	Elektrik, Gaz ve Buhar
42	Su İşleme ve Dağıtım
5	İnşaat
50	İnşaat ve Bayındırlık İşleri
6	Toptan ve Perakende Ticaret, Lokanta ve Oteller
61	Toptan Ticaret
62	Perakende Ticaret
63	Lokanta ve Oteller
7	Ulaştırma, Depolama ve Haberleşme
71	Ulaştırma ve Depolama
72	Haberleşme

Kaynak: Birleşmiş Milletler İstatistik Departmanı

Çizelge A.1 : (Devam) Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması Rev.2

Kod	Tanım
8	Mali Kuruluşlar, Sigorta ve Gayrimenkul Kurumları, Yardımcı İş Hizmetleri
81	Mali Kurumlar
82	Sigorta Kurumları
83	Gayrimenkul işleri ile ilgilenen Kurumlar ve Yardımcı İş Hizmetleri
9	Toplum, Sosyal ve Kişisel Hizmetler
91	Kamu İdaresi ve Savunma
92	Çevre Sağlığı ve Benzeri Hizmetler
93	Sosyal ve İlgili Kamu Hizmetleri
94	Eğlence ve Kültür Hizmetleri
95	Kişisel Hizmetler
96	Uluslararası ve Diğer Yabancı Kuruluşlar
0	İyi Tanımlanmamış Faaliyetler

Kaynak: Birleşmiş Milletler İstatistik Departmanı

**EK B : Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre
Konularında Yayınlanan Makale Listesi**

Çizelge B.1: Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
The productivity and efficiency of the Australian electricity supply industry.	Abott	Avustralya	Elektrik dağıtım sektörü	2006
Economic and environmental efficiency of district heating plants.	Agrell ve Bogetoft	Danimarka	Bölgesel ısıtma yapan elektrik santralleri	2005
Productivity differences across OECD countries in the presence of environmental constraints.	Arcelus ve Arocena	14 OECD ülkesi	CO ₂ emisyonu ile produktivite değerlendirmesi	2006
Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants.	Athanassopoulos	Birleşik Krallık	Elektrik üretim santralleri	1999
Efficiency and ownership in electricity distribution: A non-parametric model of the Turkish experience	Bağdadioğlu, Price ve Weyman-Jones	Türkiye	Elektrik dağıtım sektörü	1996

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Sulphur emissions and productivity growth in industrialized countries.	Barla ve Perelman	12 OECD ülkesi	SO ₂ emisyonu ve produktivite ilişkisi	2005
Environmental efficiency analysis for ENI oil refineries.	Bevilacqua and Braglia	İtalya	Çevresel performans ölçümü	2002
The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants.	Boyd and McClelland	ABD	Çevre mevzuatının etkileri	1999
Estimating the linkage between energy efficiency and productivity.	Boyd ve Pang	ABD	Enerji Verimlilik Çalışması	2000
Plant level productivity efficiency and environmental performance of the container glass industry.	Boyd, Tolley ve Pang	ABD	Çevre mevzuatının etkileri	2002

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Emissions trading and profitability: The Swedish pulp and paper industry.	Brannlund, Chung, Fare ve Grosskopf	İsveç	Emisyon ticaretinde gelir değerlendirmesi	1998
Measuring productivity efficiency: An application to Illinois strip mines.	Byrnes Fare ve Grosskopf	ABD	Kömür madenleri	1984
The effect of unions on productivity: US surface mining of coal.	Byrnes Fare, Grosskopf ve Lovell	ABD	Kömür madenleri	1988
Towards indicators of sustainable development for firms: A productive efficiency perspective.	Callens ve Tyteca	-	Çevresel performans ölçümü	1999
Improving energy productivity in paddy production through benchmarking – an application of data envelopment analysis.	Chauan, Mohapatra ve Pandey	Hindistan	Enerji verimliliği çalışması	2006

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Using DEA to measure the relative efficiency of the service center and improve operation efficiency through reorganization.	Chien , Lo ve Lin	Tayvan	Elektrik dağıtım endüstrisi	2003
A data envelopment analysis approach to evaluation of operational inefficiencies in power generating units: A case study of Indian power plants.	Chitkara	Hindistan	Elektrik üretim santralleri	1999
Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach.	Chung, Fare ve Grosskopf	İsveç	Kirlenmeler ile üretimin değerlendirilmesi	1997
The efficiency of TVA power distributors.	Claggett ve Ferrier	ABD	Elektrik dağıtım sektörü	1998
Evaluating power plant efficiency: A hierarchical model.	Cook ve Green	-	Elektrik üretim santralleri	2005

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Data envelopment analysis of space terrestrially-based large scale commercial power systems for earth: A prototype analysis of their relative economic advantages.	Criswell ve Thompson	ABD	Çeşitli elektrik santrallerinin karşılaştırılması	1996
Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis.	Dyckoff ve Allen	-	Çevre performans ölçümü	2001
International benchmarking of electricity distribution utilities.	Edvardsen ve Forsund	5 Avrupa ülkesi	Elektrik dağıtım sektörü	2003
The relative efficiency of Illinois electric utilities.	Fare, Grosskopf ve Logan	ABD	Elektrik üretim santralleri	1983
The relative performance of publicly-owned and privately-owned electric utilities.	Fare, Grosskopf ve Logan	ABD	Elektrik üretim santralleri	1985

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Effect on relative efficiency in electric power generation due to environmental controls.	Fare, Grosskopf ve Pasurka	ABD	Çevre mevzuatının etkileri	1986
Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable	Fare, Grosskopf ve Lovell	ABD	Çevre mevzuatının etkileri	1989
Productive growth in Illinois electric utilities.	Fare, Grosskopf, Yaisawarng ve Li	ABD	Elektrik üretim santralleri	1990
An activity analysis model of the environmental performance of firms – application to fossil-fuel-fired electric utilities.	Fare, Grosskopf ve Tyteca	ABD	Çevre performans ölçümü	1996
Accounting for air pollution emissions in measures of state manufacturing productivity growth.	Fare, Grosskopf ve Pasurka	ABD	Kirleticiler ile üretimin verimliliği	2001

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Environmental performance: An index number approach.	Fare, Grosskopf ve Hernandes-Sancho	ABD	Çevre performans ölçümü	2004
Climate control policy.	Ferrier ve Hirschberg	ABD	İklim kontrol değerlendirmesi	1992
Productivity development of Norwegian electricity distribution utilities.	Forsund ve Kittelsen	ABD	Elektrik dağıtım sektörü	1998
Benchmarking and incentive regulation of quality of service: An application to the UK electricity distribution networks.	Giannakis, Jamasb ve Pollitt	Birleşik Krallık	Elektrik dağıtım sektörü	2005
Measuring efficiency of power plants in Israel by data envelopment analysis.	Golanyi, Roll ve Rybak	İsrail	Elektrik üretim santralleri	1994

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Comparison of productive and cost efficiencies among Japanese and US electric utilities.	Goto ve Tsutsui	Japonya ve ABD	Elektrik üretim santralleri	1998
Electricity distribution in the UK and Japan: A comparative efficiency analysis 1985-1998.	Hattori, Jamasb ve Pollitt	Japonya ve Birleşik Krallık	Elektrik dağıtım sektörü	2005
Energy performance and regulation of the international gas industry.	Howdon	33 Ülke	Gaz Sektörü	2003
Toward a pollution abatement monitoring policy: Measurements, model mechanics, and data requirements.	Haynes, Rarick ve Cummings-Saxton	-	Çevre performans ölçümü	1994
Efficiency and environmental regulation.	Hernandez-Sancho, Picazo-Tadeo ve Reig-Martinez	İspanya	Çevre mevzuatının etkileri	2000

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Productivity in Swedish electricity retail distribution.	Hjalmarsson ve Veiderpass	İsveç	Elektrik dağıtım sektörü	1992
Efficient energy-savings targets for APEC economies.	Hu ve Kao	17 APEC ülkesi	Enerji verimlilik çalışması	2007
Total-factor energy efficiency of regions in China.	Hu ve Wang	Çin	Enerji verimlilik çalışması	2006
Strategic behavior under regulatory benchmarking.	Jamasb, Nillsen ve Pollitt	ABD	Elektrik dağıtım sektörü	2004
International benchmarking and regulation: An application to European electricity distribution utilities.	Jamasb ve Pollitt	6 Avrupa ülkesi	Elektrik dağıtım sektörü	2003

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
State intervention causing inefficiency: An empirical analysis of the Norwegian Continental Shelf.	Kashani	Norveç	Petrol endüstrisi	2005
Regulation and efficiency: An empirical analysis of the United Kingdom Continental Shelf petroleum industry.	Kashani	Birleşik Krallık	Petrol endüstrisi	2005
Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis.	Korhonen ve Luptacik	Avrupa ülkeleri	Çevre performans ölçümü	2004
Evaluation of cost efficiency in Finnish electricity distribution.	Korhonen ve Syrjanen	Finlandiya	Elektrik dağıtım sektörü	2003
Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining.	Kulshreshtha ve Patrikh	Hindistan	Kömür madenleri	2002

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index.	Kumar	41 Ülke	CO ₂ emisyonu ile produktivite değerlendirmesi	2006
A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation.	Lam ve Shiu	Çin	Elektrik üretim santralleri	2001
MES-DEA modeling for analyzing anti-industrial pollution efficiency and its application in Anhui province of China.	Liang, Wu ve Hua	Çin	Çevre performans ölçümü	2004
A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the Taiwan power company.	Lo, Chien ve Lin	Tayvan	Elektrik dağıtım sektörü	2001
Data envelopment analysis applied to electricity distribution districts.	Militois	Yunanistan	Elektrik dağıtım sektörü	1992

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Efficiency gains in Danish district heating. Is there anything to learn from benchmarking?	Munksgaard, Pad eve Fristrup	Danimarka	Bölgesel ısıtma yapan elektrik santralleri	2005
The role of energy in profuctivity growth: A controversial issue?	Murillo-Zomarano	18 Ülke	Prodüktivite enerji girdileri ilişkisi	2005
Estimation of carbon baselines for power generation in India: The supply side approach.	Nag	Hindistan	Elektrik üretim santralleri	2006
A data envelopment analysis of the levels and determinants of coal-fired electric power generation performance.	Olatibu ve Dismukes	ABD	Elektrik üretim santralleri	2000
Energy efficiency assessment for the Antalya region hotels in Turkey.	Önüt ve Soner	Türkiye	Enerji verimliliği çalışması	2006

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
The effect of heating technologies on CO ₂ and energy efficiency of Dutch greenhouse firms.	Oude Lansink ve Bezleppin	Hollanda	CO ₂ ve enerji verimliliği çalışması	2003
CO ₂ and energy efficiency of different heating technologies in the Dutch glasshouse industry	Oude Lansink ve Silva	Hollanda	CO ₂ ve enerji verimliliği çalışması	2003
Impact of energy efficiency policy to productive efficiency of electricity distribution	Pacudan ve de Guzman	Filipinler	Elektrik dağıtım sektörü	2002
Performance evaluation of electric distribution utilities based on data envelopment analysis.	Pawha, Feng ve Lubkeman	ABD	Elektrik dağıtım sektörü	2002
The efficiency of conventional fuel power plants in South Korea	Park ve Lesourd	Güney Kore	Elektrik üretim santralleri	2000

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Decomposing electric power plant emissions within a joint production framework	Pasurka	ABD	Elektrik üretim santralleri	2006
Directional distance functions and environmental regulation	Picazo-Tadeo, Reig-Martinez, Hernandez-Sancho	İspanya	Çevre mevzuatının etkileri	2005
Ownership and efficiency in nuclear power production	Pollitt	Birleşik Krallık	Nükleer enerji santralleri	1996
Performance and efficiency in Colombia's power distribution system	Pombo ve Taborda	Kolombiya	Elektrik üretim santralleri	2006
Malmquist indices of productivity change in the UK gas industry before and after privatization	Price ve Weyman-Jones	Birleşik Krallık	Gaz endüstrisi	1996

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Explaining the performance of heat plants in Poland	Raczka	Polonya	Bölgesel ısıtma yapan elektrik santralleri	2001
A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes	Ramanathan	Hindistan	Enerji verimlilik çalışması	2000
Comparative risk assessment of energy supply technologies	Ramanathan	-	Enerji temin teknolojilerinin karışlaştırması	2001
Combining indicators of energy consumption and CO ₂ emissions	Ramanathan	64 ülke	Çevre performans ölçümü	2002
An introduction to data envelopment analysis: A tool for performance measurement	Ramanathan	17 ülke	Çevre performans ölçümü	2005

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa	Ramanathan	Hindistan	Gelecekte enerji tüketimi ve CO ₂ emisyon tahminleri	2005
Relative efficiency measurement and prospects for yardstick competition in Brazilian electricity distribution.	Resende	Brezilya	Elektrik dağıtım sektörü	2002
DEA efficiency for the determination of the electric power distribution added value.	Sanhueza, Rudnick ve Lagunas	Şili	Elektrik dağıtım sektörü	2004
Using data envelopment analysis to evaluate environmentally conscious waste treatment technology.	Sarkis ve Weinrach	ABD	Atık su işleme teknolojileri değerlendirmesi	2001
Tariff structure of Japanese electric power companies: An empirical analysis using DEA.	Sueyoshi	Japonya	Elektrik üretim santralleri	1999

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
Stochastic DEA for restructure strategy: An application to a Japanese petroleum company.	Sueyoshi	Japonya	Petrol endüstrisi	2000
Slack-adjusted DEA for time series analysis: Performance measurement of Japanese electric power generation industry in 1984-1993.	Sueyoshi ve Goto	Japonya	Elektrik üretim santralleri	2001
Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India.	Thakur, Deshmukh ve Kaushik	Hindistan	Kamu elektrik kuruluşları	2006
Linked-cone DEA profit ratios and technical efficiency with application to Illinois coal mines.	Thompson, Dharmapala ve Thrall	ABD	Kömür madenleri	1992
DEA/AR efficiency of US independent oil/gas producers over time.	Thompson, Lee ve Thrall	ABD	Petrol endüstrisi	1995

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
DEA/AR efficiency and profitability of 14 major oil companies in US exploration and production.	Thompson, Dharmapala ve Rothenberg	ABD	Petrol endüstrisi	1996
Dominance-based measurement of productive and environmental performance for manufacturing.	Triantis ve Otis	-	Çevre performans ölçümü	2004
On the measurement of the environmental performance of firms- a literature review and a productive efficiency perspective.	Tyteca	ABD	Çevre performans ölçümü	1997
Linear programming models for the measurement of environmental performance of firms – concepts and empirical results.	Tyteca	ABD	Çevre performans ölçümü	1998
Productive efficiency in a regulated industry: The area electricity boards of England and Wales.	Weyman-Jones	Birleşik Krallık	Elektrik dağıtım sektörü	1991

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
The effects of sulfur dioxide controls on productivity range in the US electric power industry.	Yaisawarng ve Klein	ABD	Elektrik üretim santralleri	1994
The efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: An inter-country comparison using DEA.	Yunos ve Hawdon	27 gelişmekte olan ülke	Elektrik üretim santralleri	1997
Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: A DEA framework.	Zaim	ABD	Çevre performans ölçümü	2004
Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach.	Zaim ve Taşkın	24 OECD ülkesi	Çevre mevzuatının etkileri	2000
A Kuznets curve in environmental efficiency: An application on OECD countries.	Zaim ve Taşkın	24 OECD ülkesi	Çevre mevzuatının etkileri	2000

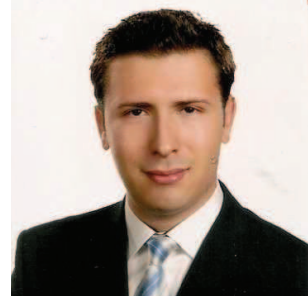
Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

Çizelge B.1: (Devam) Veri Zarflama Analizi Modelleri Kullanılarak Enerji ve Çevre Konularında Yayınlanan Makale Listesi

Makalenin Adı	Yazar(lar)	Makalenin Konu Olduğu Ülke (ler)	Makalenin Konusu	Yayınlandığı Yıl
The effect of sample size on the mean efficiency in DEA with an application to electricity distribution in Australia, Sweden and New Zealand.	Zhang and Bartels	Avustralya, İsveç ve Yeni Zelanda	Elektrik dağıtım sektörü	1998
Decision analysis in energy and environmental modeling: An update.	Zhou, Ang ve Poh	30 OECD ülkesi	Çevre performans ölçümü	2006
Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies.	Zhou, Ang ve Poh	8 Dünya bölgesi	Çevre performans ölçümü	2008
A non-radial DEA approach to measuring environmental performance.	Zhou, Poh ve Ang	26 OECD ülkesi	Çevre performans ölçümü	2007
Environmental efficiency and regulatory standards: The case of CO ₂ emissions from OECD industries.	Zofio ve Prieto	14 OECD ülkesi	Çevre performans ölçümü	2001

Kaynak: Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mert ÖZGÜR

Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli – 24.05.1986

Adres: Karslı Ahmet Cad. Emniyet Sok. No:8/8 İçerenköy Ataşehir/İstanbul

Yüksek Lisans Üniversite: Rochester Teknoloji Enstitüsü, ABD

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi

Ünvanı: Makine Yüksek Mühendisi