



## TÜRKİYE'DEKİ TERMİK SANTRALLERİN ETKİNLİK ANALİZİ: PARAMETRİK VE PARAMETRİK OLMAYAN YAKLAŞIMLAR

Özge YETİK, Ramazan KÖSE, M. Arif ÖZGÜR, Oğuz ARSLAN

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, ozgeyetik@dumlupinar.edu.tr

*Geliş Tarihi: 30.12.2010      Kabul Tarihi: 09.02.2011*

### ÖZET

Enerjinin etkin bir şekilde üretimi ve üretilirken de çevreye verilen zararların minimize edilmesi çağımızın problemlerinin başında gelmektedir. Bu çalışmada; parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi ve parametrik bir yöntem olan Stokastik Sınır Yaklaşımı kullanılarak, Türkiye'deki termik santrallerin birbirine göre etkinlikleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde termik santrallerin işletim ve çevresel performansı, veri zarflama analizi altında, sabit dönüşümlü ölçek ve ölçeğe göre değişken getiri sağlayan girdi odaklı model ve stokastik sınır yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci modeldeki girdiler; yakıtın alt ısıl değeri, planlanan üretim kapasitesi, ana yakıt tüketimi, ikinci modeldeki girdiler ise; CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve diğer gaz emisyonları iken her iki modelde de çıktı gerçekleşen üretim miktarı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak; parametrik ve parametrik olmayan yöntemlere göre termik santrallerin etkinlik sonuçları ortalamasına bakıldığında etkinliği en yüksek çıkan santraller Çan ve Hamitabat'tır.

**Anahtar Kelimeler:** *Değişken Dönüşümlü Ölçek Modeli; Enerji Etkinliği; Sabit Dönüşümlü Ölçek Modeli; Stokastik Sınır Yaklaşımı; Termik Santraller; Veri Zarflama Analizi.*

## THE EFFICIENCY ANALYSIS OF THERMAL POWER PLANTS IN TURKEY: PARAMETRIC AND NON-PARAMETRIC APPROACHES

### ABSTRACT

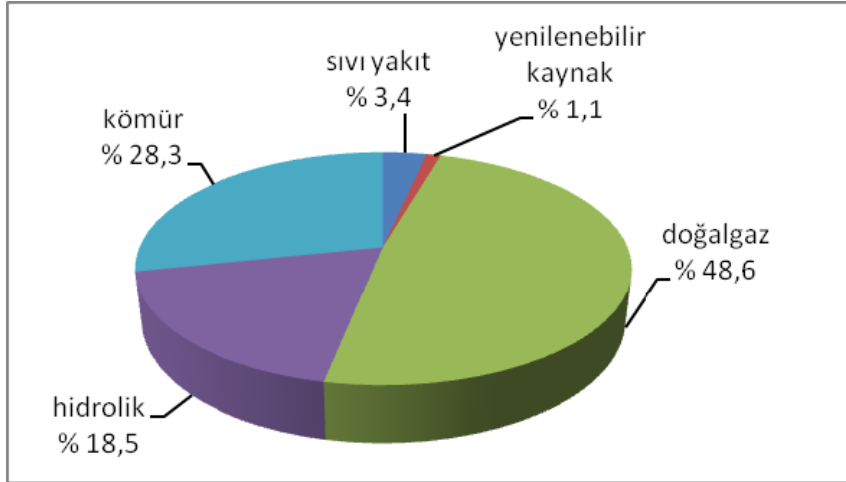
One of the important problem is efficiently production of the energy which requires to minimize its. In this study, efficiency analyses of thermal power plants in Turkey, according to the each other, were made using The Data Envelopment Analysis and The Stochastic Limit Approach for investigating operational and environmental performance of thermal power plants. Constant returns to scale and variable returns to scale type were used for the data envelopment analysis. The data envelopment analysis and the stochastic limit approach were used in the analyses. Lower heating value of fuel, project production capacity and main fuel consumption were used as input in the calculation of the operational performance for model 1. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and other gas emission were used as input in the calculation of the environmental performance for model 2. Actual power generations were taken into account as output for both. As conclusion; handling at the average efficiency of the thermal plants according to the results of parametric and non-parametric methods, the most effective thermal power plants are Çan and Hamitabat.

**Keywords:** *Constant Returns to Scale; Data Envelopment Analysis; Energy Efficiency; Thermal Power Plant; The Stochastic Limit Approach; Variable Returns to Scale.*

### 1. GİRİŞ

Enerjinin verimli bir şekilde tüketimi, tüm dünyada en önemli problemlerin başında gelmektedir. Kişi başı enerji tüketimi; ulusların gelişmişlik düzeyini belirlediği gibi beraberinde küresel ısınma ve hava kirliliği problemlerini de ortaya çıkarmıştır. Türkiye, brüt elektrik enerjisi tüketimi 2008 yılında 198,1 milyar kWh olarak gerçekleşirken 2009 yılında bir önceki yıla göre %2,42 azalarak 193,3 milyar kWh olarak, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre (198,4 milyar kWh) %2,02 azalarak 194,1 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Enerji ve Tabii

Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre elektrik tüketiminin 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %8 artışla 499 TWh'e, düşük senaryoya göre ise yıllık ortalama %6,1 artışla 406 TWh'e ulaşması beklenmektedir. 2010 yılı Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü yaklaşık 45.499 MW düzeyine ulaşmıştır. 2009 yılında Türkiye’deki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımının verildiği Şekil 1.1.’e göre % 76,9 ‘u doğalgazdan ve kömürden elde edilmiştir[1-4].



Şekil 1.1. Türkiye’deki elektrik enerjisi kurulu güçlerinin kaynaklara göre dağılımı [4].

Elektrik enerjisi üretiminde enerji kaynaklarının kurulu gücüne ve enerji kaynaklarına göre üretim miktarına bakıldığında termik santrallerin varlığı ve etkin bir şekilde çalışması elektrik enerjisi üretimi için önem taşımaktadır.

Parametrik yöntemler, üretim fonksiyonunun analitik bir yapıya sahip olduğunu varsaymaktadır. Parametrik olmayan yöntemler ise üretim fonksiyonunun analitik bir yapı değil esnek bir yapıya sahip olduğunu ve çözüm yöntemi olarak genellikle matematiksel programlamayı kullanmayı önerir. Parametrik ve parametrik olmayan yöntemler; üretim, hizmet, mühendislik ve finans sektörü gibi birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Termik santral uygulamalarında birçok girdi ve çıktı değerleri olduğundan etkinliklerinin ölçümleri kolay değildir. Bu nedenden dolayı veri zarflama analizi (VZA) ve stokastik sınır yaklaşımı (SSY) ile termik santrallerin etkinlikleri değerlendirilmiştir.

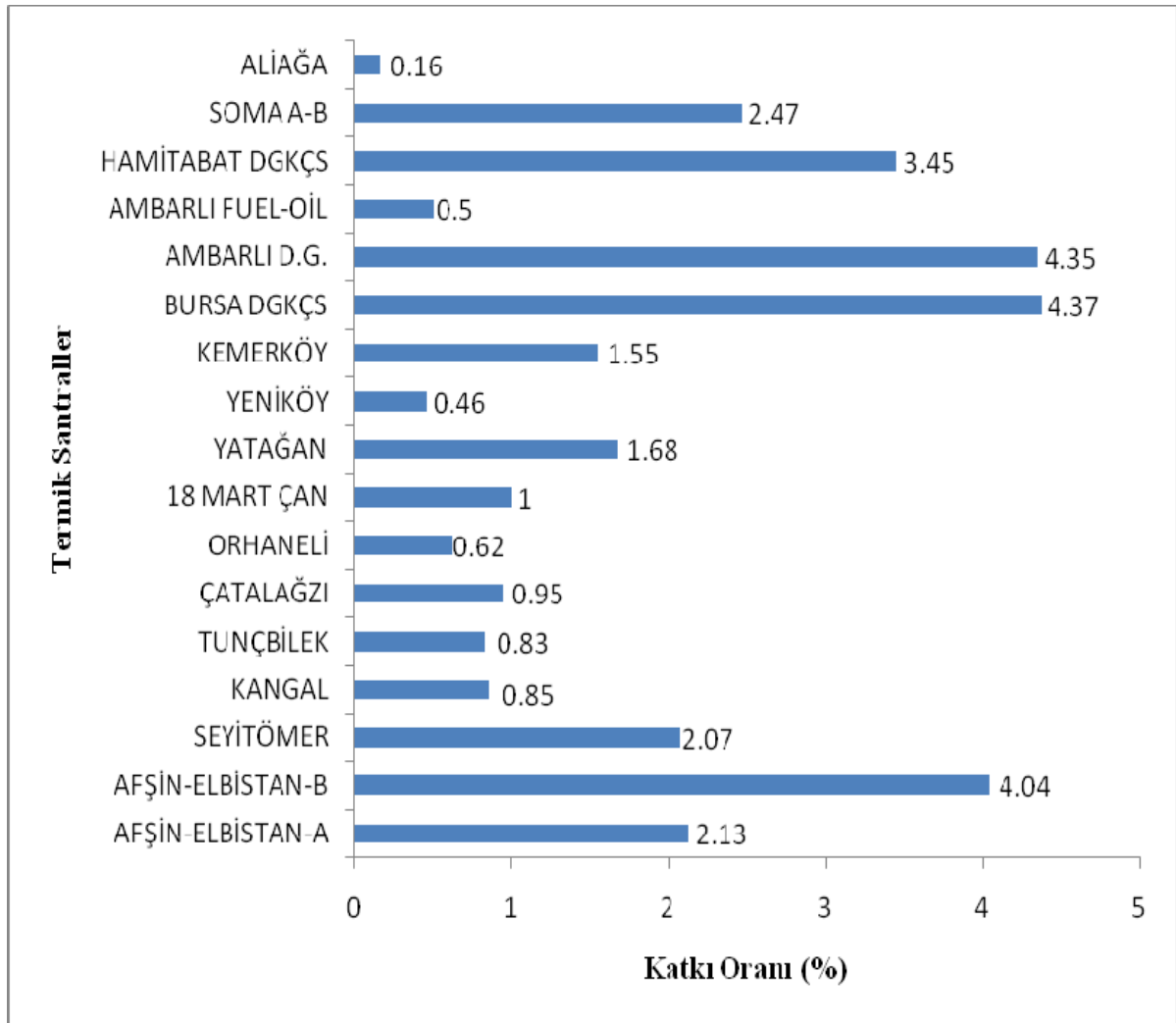
Hu v.d. [5], çalışmalarında Çin’deki 29 eyaletin su kullanım etkinliğini incelerken VZA kullanmış ve girdi olarak; işgücü, sermaye birikimi, enerji tüketimi ve ekili alan toplamını alırken, çıktı olarak gayri safi milli hâsılayı almışlardır. Hu ve Kao [6], 17 APEC(Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği) ülkesinin enerji tasarruf hedeflerini VZA yöntemiyle değerlendirdiği çalışmasında girdi olarak; sermaye birikimi, işgücü, enerji tüketimi ve çıktı olarak gayri safi milli hasılayı almışlardır. Önüt ve Soner [7], Antalya şehrindeki 32 otelin etkinliğini VZA yöntemiyle incelemiş, girdi olarak; personel sayısı, yıllık elektrik tüketimi, su tüketimi, LPG tüketimi ve çıktı olarak doluluk oranı, yıllık toplam gelir ve toplam konut sayısını değerlendirmişlerdir. Hawdon [8], uluslar arası doğalgaz sektörünü VZA ile karşılaştırırken girdi olarak; gaz tüketimi ve müşteri sayısını alırken, çıktı olarak işgücü ve boru hattı uzunluğunu almıştır. Sueyoshi [9], Japon petrol şirketlerini karşılaştırırken girdi olarak; çalışan sayısı, istasyon büyüklüğü ve işletme giderlerini alırken çıktı olarak benzin ve fuel-oil miktarını almıştır. Sözen v.d. [10], Türkiye’deki termik santrallerin etkinliğini veri zarflama analizi ile karşılaştırırken girdi olarak; kapasite kullanım faktörü, ısı verim, ortalama çalışma süresi ve planlanan üretim kapasitesini almışlar çıktı olarak ise gerçekleşen birim üretim başına yakıt maliyetini incelemişlerdir. Vaninsky [11], ülkelerin enerji üretimi sonucunda oluşan zararlı emisyonlarını VZA ve SSY ile karşılaştırırken girdi olarak; enerji yoğunluğu, toplam enerji tüketimi başına CO<sub>2</sub> emisyonu, gayri safi yurtiçi hasıla başına nüfusu alırken, çıktı olarak ülkelerin yüzölçümleri başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonlarını almıştır. Managi v.d. [12], petrol ve gaz

endüstrisinin etkinliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında petrol ve gaz üretimini çıktı olarak alırken çalışma saatleri ve çalışılan yüzey alanı girdi olarak almışlardır.

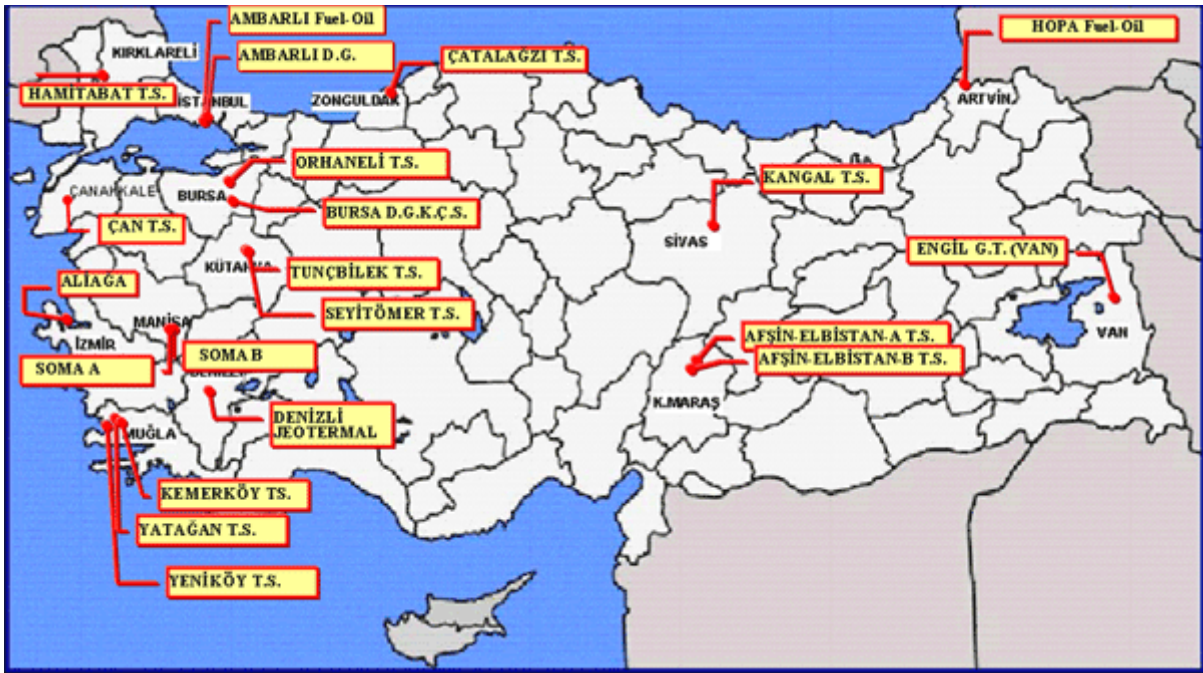
Bu çalışmada ise, Türkiye’deki termik santrallerin etkinlikleri VZA ve SSY ile karşılaştırılırken, 2 model oluşturulup incelenmiştir. VZA’da verilerin hassasiyeti çok önemli olduğundan girdi ve çıktı verilerinde yüzdelik olarak değil verilerin kendisi kullanılmıştır.

## 2. TÜRKİYE’DEKİ TERMİK SANTRALLER

Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), termik santrallerinin 2009 yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik üretimine katkıları Şekil 2.1’de ve termik santrallerin Türkiye haritasındaki yerleri Şekil 2.2’de verilmiştir [13].



Şekil 2.1. Termik santrallerin 2009 yıl sonu itibariyle Türkiye üretimine katkısı [13].



Şekil 2.2. Türkiye'deki termik santraller [13].

Türkiye'deki termik santrallerin görece etkinlik analizi için kullanılan veriler Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir [10,14].

Tablo 2.1. Türkiye'deki termik santraller [10,14].

Termik Santraller	Yakıt Türü	Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Planlanan Üretim Kapasitesi (GWh/yıl)	Ana Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Gerçekleşen Üretim (GWh/yıl)
Afşin-Elbistan A	Linyit	950	8.840	2.637	4.198
Afşin-Elbistan B	Linyit	950	9.360	2.205	7.241
Seyitömer	Linyit	1.500	3.900	1.412	4.051
Kangal	Linyit	1.300	2.925	2.407	1.811
Tunçbilek	Linyit	2.600	2.790	921	1.607
Çatalağzı B	Taş Kömürü	3.200	1.950	924	1.882
Orhaneli	Linyit	2.350	1.365	1.157	1.332
Çan	Linyit	2.340	2.080	823	2.191
Yatağan	Linyit	2.500	4.095	1.268	3.980
Yeniköy	Linyit	1.700	2.730	1.086	1.928
Bursa	Doğalgaz	8.100	9.500	0,2	8.956
Ambarlı	Doğalgaz	8.500	8.780	0,22	9.370
Hamitabat	Doğalgaz	8.060	7.800	0,23	7.995
Soma A+B	Linyit	2.400	6.720	1.308	5.482

**Tablo 2.2.** Türkiye'deki termik santrallerin gaz emisyonları [10,14].

Termik Santraller	Toplam CH <sub>4</sub> Emisyonu (ton)	Toplam N <sub>2</sub> O Emisyonu (ton)	Toplam NMVOC Emisyonu (ton)	Toplam CO Emisyonu (ton)	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Toplam NO <sub>x</sub> Emisyonu (ton)	Toplam SO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)
Afşin-Elbistan A	47,18	66,05	236	944	4.678.734	1.1826	189.658
Afşin-Elbistan B	60,43	84,6	302	1.209	5.993.409	7.830	3.595
Seyitömer	33,98	47,57	170	680	3.370.127	9.588	68.129
Kangal	32,4	45,35	162	648	3.212.931	5.521	27.8649
Tunçbilek	14,73	20,63	74	295	1.461.102	6.185	38.200
Çatalağzı B	25,39	35,55	127	508	2.354.281	5.794	7.852
Orhaneli	11,88	16,63	59	238	1.178.040	3.799	7.947
Çan	18,58	26,01	93	372	1.842.874	805	11.154
Yatağan	34,74	48,64	174	695	3.445.640	4.150	9.046
Yeniköy	22,02	30,82	110	440	2.183.519	2.850	4.650
Kemerköy	30,4	42,56	152	608	3.014.974	5.404	34.527
Bursa	55,33	5,53	277	1.107	3.088.256	4.799	326
Ambarlı	70,54	7,05	353	1.411	3.937.361	6.819	416
Hamitabat	44,35	4,44	222	887	2.475.706	51.311	262
Soma A+B	52,46	73,44	262	1.049	5.202.727	14.217	72.761

### 3. PAREMETRİK VE PAREMETRİK OLMAYAN ETKİNLİK ANALİZLERİ

Parametrik yaklaşım bir sınır yaklaşımı olduğu için, gözlem kümesi içinde en etkin durumun regresyon çizgisi (etkin üretim sınırı) üstünde olduğu varsayılır. Bu sınırdan sapma gösteren üretim bileşenlerinin etkinsiz olduğu kabul edilir. Etkinsizliğe, aynı çıktı düzeyinde daha yüksek maliyet veya aynı girdi düzeyinde daha düşük çıktı düzeyinin neden olduğu ifade edilir. Bu yöntemde rassal bir hatanın olacağı da kabul edilmektedir ki, tam etkin üretim sınırında hatanın sıfır olduğu gözlemlenir. Berger ve Humprey, etkinlik ölçümü için üç temel parametrik sınır yaklaşımı önermişlerdir. Bunlar; stokastik sınır yaklaşımı, serbest dağılım yaklaşımı ve yoğun sınır yaklaşımıdır. Bu yaklaşımlar içinden en yaygın olarak stokastik sınır yaklaşımı kullanılmaktadır [15].

Parametrik olmayan yöntemler, parametrik yöntemlerin eksikliklerini gidermek için uygulamaya konulmuştur ve bu yöntemler matematik programlamayı kullanan genel bir ölçüm yaklaşımıdır. Parametrik olmayan etkinlik ölçülerinin çoğunluğu girdi ve çıktıların ölçü birimlerinden bağımsız olduğu için firmaların değişik boyutlarının aynı anda ölçülebilmesine imkan tanır. Parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemi olarak iki temel analiz olan veri zarflama analizi ve serbest düzenleme zarf modeli yaklaşımından bahsedilmektedir. Ayrıca işletme rekabet edebilirlik değerlendirme analizi olarak isimlendirilen üçüncü bir yaklaşım da önerilmektedir [15].

#### 3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA)

VZA, her bir karar biriminin nispi etkinliğini, gözlenen girdi ve çıktıları kullanarak, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranını hesaplayarak belirler. Geleneksel yöntemlerin çoklu girdi ve çoklu çıktıların değerlendirilmesi için sağlayamadıkları bütünselliği, VZA, toplam faktör etkinliği mantığı ile sağlayabilmektedir. VZA modelleri ölçüğe göre sabit ve değişken getiri durumlarını dikkate alarak analiz yapabilmekte ve her model kendi teorik ve metodolojik gelişim süreci içinde girdi yönelimli, yansız ve çıktı yönelimli olarak farklılaşabilmektedir. Girdi yönelimli modeller, herhangi bir çıktı düzeyi için etkin olmayan karar birimlerinin girdilerini ne derece azaltmaları gerektiğini belirlemeye çalışan modellerdir. Bu modellerde esas amaç kullanılan girdi miktarını minimize edebilmektir. Çıktı yönelimli analizler ise herhangi bir girdi bileşimi için etkin olmayan karar

birimlerinin etkin hale getirilmesi için çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini belirlemeye çalışır. Çıktı yönelimli modellerde amaç, çıktıların maksimize edilmesidir. Temel VZA modelleri; toplamsal model, çarpımsal model, sabit dönüşümlü ölçek (CCR) ve ölçeğe göre değişken getiri sağlayan (BCC) modeller olmak üzere dört ayrı grupta sınıflandırılabilir. CCR modeli sabit dönüşümlü ölçek varsayımı üzerine kurulmuş bir modelken BCC modeli ölçeğe göre değişken getiri karakteristiğine sahip bir modeldir [15].

Veri zarflama analizinde etkinlik, çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı şeklinde bulunur ve aşağıdaki eşitlikle verilir [15].

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n v_i y_{ij}}{\sum_{r=1}^m w_r x_{rj}} \quad 3.1$$

Eşitlik 3.1'deki  $v_i$  i. çıktının ağırlığı,  $y_{ij}$  j biriminden elde edilen i. çıktı,  $w_r$  r. girdinin ağırlığı ve  $x_{rj}$  j birimince kullanılan r. girdidir.

Veri zarflama analizinde kullanılan modelin amaç fonksiyonu, etkinliği en büyük yapmaktır. Kısıtlar ise etkinliğin değerini en fazla 1'e eşit olmasını sağlamak, girdi, çıktı ve ağırlıkların değerlerini sıfırdan büyük tutmaktır. Bu kısıtlar altında, doğrusal matematiksel model eşitlik 3.2 de verildiği gibidir [15].

$$\theta_{\max} = \sum_{i=1}^n v_i y_{ij} \quad 3.2$$

$$\sum_{r=1}^m w_r x_{rj} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^n v_i y_{ij} \leq \sum_{r=1}^m w_r x_{rj} \quad (v_i \geq 0) \quad (w_r \geq 0)$$

### 3.2. Stokastik Sınır Yaklaşımı (SSY)

Stokastik sınır üretim fonksiyonu yaklaşımı bazı birimlerin, kaynaklarını etkin bir biçimde kullanmadıkları varsayımını esas almaktadır. Bu birimler, en iyi üretim teknolojisi ile tanımlanan üretim sınırının altında faaliyet göstermektedirler. Stokastik üretim eğrisi modelleri Aigner, Lowell, Schmidt, Meeusen ve Van den Broeck tarafından geliştirilmiştir. Bu model üretim sınırının tahmininde istatistikî hataları açıkça hesaba katan model olarak karşımıza çıkmaktadır ve aşağıdaki eşitlikte verildiği gibidir [15].

$$Y_i = X_i \beta + (V_i - U_i) \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad 3.3$$

Eşitlik 3.3'de  $Y_i$  i. firmanın çıktı değerinin doğal logaritması,  $X_i$  i. firmanın girdi vektörü,  $\beta$  tahmin edilmesi gereken bilinmeyen parametreler vektörü,  $V_i$  bağımsız rassal değişken ve  $U_i$  negatif değer almayan teknik etkinsizliği ölçen rassal değişkendir.

Battese ve Coelli zaman içinde teknik yetersizliğe ve panel veri kullanımına izin veren aşağıdaki modeli önermiştir [15].

$$Y_{it} = X_{it} \beta + (V_{it} - U_{it}) \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad t \in \{1, 2, \dots, t\} \quad 3.4$$

Eşitlik 3.4’de  $Y_{it}$  i. firmanın t yılındaki çıktı değerinin doğal logaritması,  $X_{it}$  i. firmanın t yılındaki girdi vektörü,  $\beta$  tahmin edilmesi gereken bilinmeyen parametreler vektörü,  $V_{it}$  bağımsız rassal değişken ve  $U_{it}$  negatif değer almayan teknik etkinsizliği ölçen rassal değişkendir.

i. firmanın t yılındaki teknik etkinliği Eşitlik 3.5’deki gibi hesaplanır.

$$TE_{it} = \exp(-U_{it})$$

3.5

#### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, veri zarflama analizi ve stokastik sınır yaklaşımı ile Türkiye’deki termik santrallerin göreceli etkinlik analizi yapılırken iki farklı model kurulmuştur. Modele ait bilgiler Tablo 4.1.’de verilmiştir.

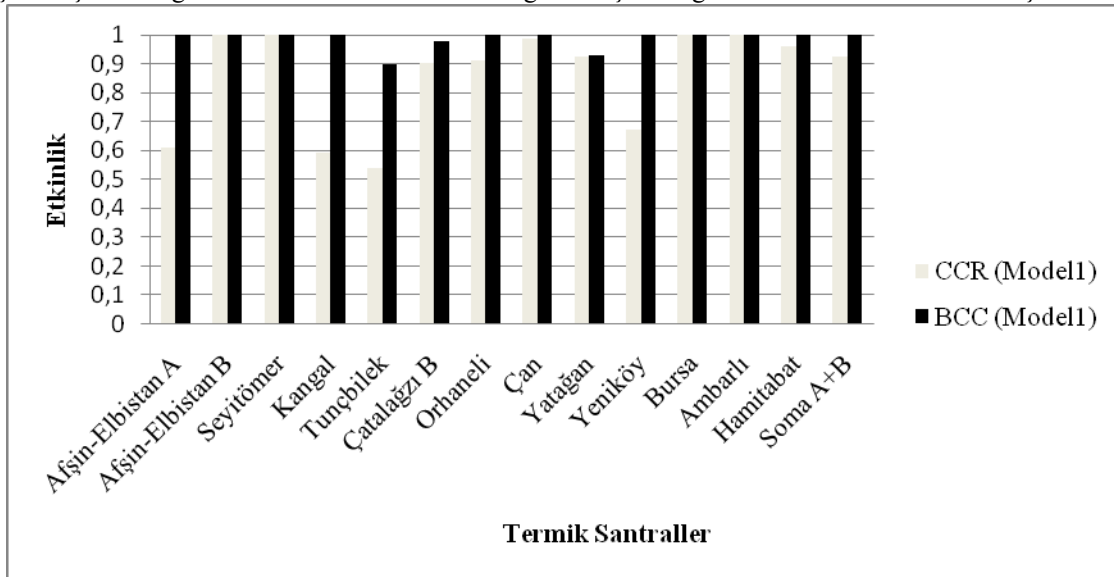
**Tablo 4.1.** Modellere ait genel bilgiler

	Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Planlanan Üretim Kapasitesi (GWh)	Ana Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Toplam CO <sub>2</sub> Emis. (ton)	Toplam SO <sub>2</sub> Emis. (ton)	Toplam NO <sub>x</sub> Emis. (ton)	Diğer Gaz Emisyonları (ton)	Gerçekleşen Üretim (GWh)
Model 1	I	I	I					O
Model 2				I	I	I	I	O

I: Girdi, O: Çıktı

Çalışmada Veri Zarflama Analizi DEAP paket programı ve Stokastik Sınır Yaklaşımını FRONTIER 4.1 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler iki model bazında yapıldı; 1. modelde girdiler; yakıtın alt ısıl değeri, planlanan üretim kapasitesi, ana yakıt tüketimi alınırken 2. modelde girdiler; toplam CO<sub>2</sub> emisyonu, NO<sub>x</sub> emisyonu, SO<sub>2</sub> emisyonu ve diğer gaz emisyonlarıdır. Her iki modelde de çıktı gerçekleşen üretim miktarıdır. VZA, CCR ve BCC yaklaşımına göre yapılmıştır.

Şekil 4.1. incelendiğinde VZA ile 1. modelin girdi odaklı CCR ve BCC yaklaşımına göre en etkin santraller; Afşin-Elbistan B, Seyitömer, Ambarlı ve Bursa olarak belirlenmiştir. Tüm termik santrallerin etkin olarak çalışması için CCR girdi odaklı modelde hedeflenen girdi ve çıktı değerleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Model 1’in CCR ve BCC girdi odaklı sonuçları

**Tablo 4.2.** Girdi odaklı CCR modeline göre hedeflenen girdi ve çıktı değerleri

Termik Santraller	Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Planlanan Üretim Kapasitesi(GWh)	Ana Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Gerçekleşen Üretim (GWh)
Afşin-Elbistan A	579	5.388	1.284	4.198
Afşin-Elbistan B	950	9.360	2.205	7.241
Seyitömer	1.500	3.900	1.412	4.051
Kangal	773	1.739	565	1.811
Tunçbilek	1.406	1.508	34	1.607
Çatalağzı B	1.707	1.763	0,04	1.882
Orhaneli	1.208	1.248	0,03	1.332
Çan	1.988	2.053	0,05	2.191
Yatağan	2.315	3.791	841	3.980
Yeniköy	1.143	1.836	393	1.928
Bursa	8.100	9.500	0,20	8.956
Ambarlı	8.500	8.780	0,22	9.370
Hamitabat	7.253	7.492	0,19	7.995
Soma A+B	2.215	6.202	1.207	5.482

Tablo 4.2.’ye göre etkinliği 1 olmayan santrallerden Afşin-Elbistan-A, Kangal, Tunçbilek, Çatalağzı B, Orhaneli, Çan, Yatağan, Yeniköy, Hamitabat ve Soma A+B’ de yakıtın alt ısıl değeri, kullandıkları yakıtın alt ısıl değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç, daha az yakıt kullanılabilirliğini göstermektedir. Daha az yakıt kullanımı hem kaynakların tüketim seviyesini hem de gaz emisyonlarını azaltacaktır. Planlanan üretim kapasitesi ise EÜAŞ’dan alınan verilere göre düşük çıkmıştır. Bu durum ise santral üretim planlaması yapılırken daha az çalışma süresinin kabul edilebileceğini ve revizyon için daha fazla süre ayrılabilceğini göstermektedir. Tablo 4.3’de yüzde olarak tasarruf edilen yakıt miktarı ve tasarruf edilen ortalama yıllık çalışma saatleri verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Tasarruf edilen yakıt miktarı ve ortalama yıllık çalışma saatleri

Termik Santraller	Tasarruf Edilen Yakıt Miktarı (%)	Tasarruf Edilen Ortalama Yıllık Çalışma Saatleri (%)
Afşin-Elbistan-A	39,05	39,05
Kangal	40,56	40,56
Tunçbilek	45,94	45,94
Çatalağzı B	46,65	9,56
Orhaneli	48,58	8,56
Çan	15,06	1,30
Yatağan	7,41	7,41
Yeniköy	32,76	32,76
Hamitabat	10,02	3,95
Soma A+B	7,71	7,71

BCC girdi odaklı modelde hedeflenen girdi ve çıktı değerlerinin verildiği Tablo 4.4. incelendiğinde; etkin çıkmayan santrallerden; Tunçbilek, Çatalağzı B ve Yatağan’da yakıtın alt ısıl değerinin, kullanılan yakıtın alt ısıl değerinden, planlanan üretim kapasitesinin de EÜAŞ’dan alınan verilere göre daha düşük çıktığı görülmektedir. Bu sonuç ise daha az yakıt kullanılabilirliğini ve üretim planlaması yapılırken daha az çalışma süresinin kabul edilebileceğini ve revizyon için daha fazla süre ayrılabilceğini göstermektedir. Tablo 4.5’de yüzde olarak tasarruf edilen yakıt miktarı ve tasarruf edilen ortalama yıllık çalışma saatleri verilmiştir.



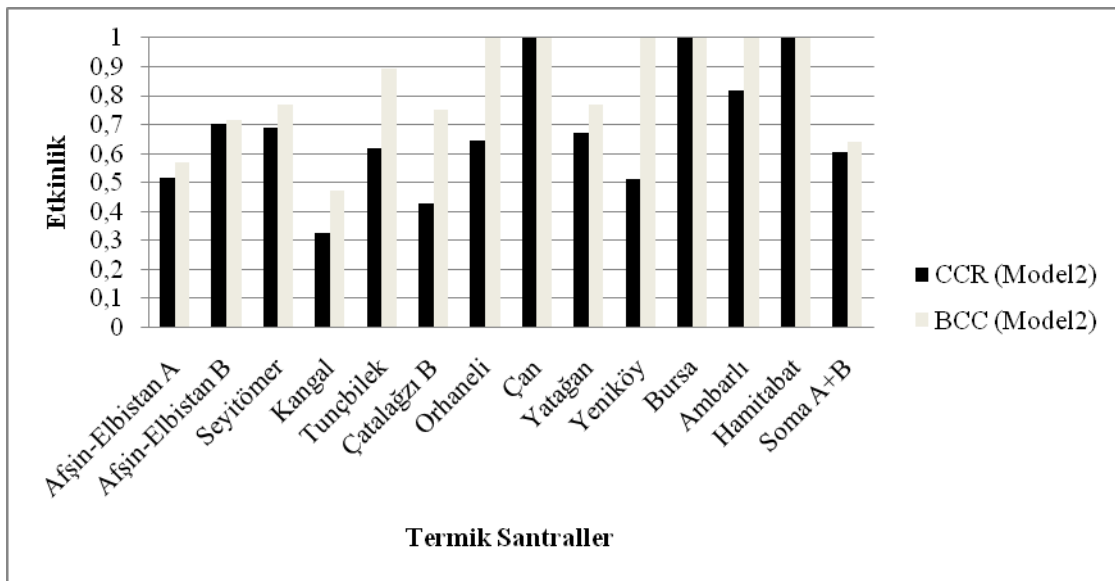
Şekil 4.2.’de verildiği gibi VZA ile 2. modelin girdi odaklı CCR ve BCC yaklaşımına göre en etkin santraller Çan, Bursa ve Hamitabat’tır. Tüm termik santrallerin etkin olarak çalışması için CCR girdi odaklı modelde hedeflenen girdi ve çıktı değerleri Tablo 4.6’da ve BCC girdi odaklı modelde hedeflenen girdi ve çıktı değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** BCC Girdi odaklı modelde hedeflenen girdi ve çıktı değerleri

Termik Santraller	Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	Planlanan Üretim Kapasitesi(GWh)	Ana Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Gerçekleşen Üretim (GWh)
Afşin-Elbistan A	950	8.840	2.637	4.198
Afşin-Elbistan B	950	9.360	2.205	7.241
Seyitömer	1.500	3.900	1.412	4.051
Kangal	1.300	2.925	2.407	1.811
Tunçbilek	2.332	2.087	826	1.607
Çatalağzı B	2.342	1.907	903	1.882
Orhaneli	2.350	1.365	1.157	1.332
Çan	2.340	2.080	823	2.191
Yatağan	2.322	3.803	1.129	3.980
Yeniköy	1.700	2.730	1.086	1.928
Bursa	8.100	9.500	0,20	8.956
Ambarlı	8.500	8.780	0,22	9.370
Hamitabat	8.060	7.800	0,23	7.995
Soma A+B	2.400	6.270	1.308	5.482

**Tablo 4.5.** Tasarruf edilen yakıt miktarı ve ortalama yıllık çalışma saatleri

Termik Santraller	Tasarruf Edilen Yakıt Miktarı (%)	Tasarruf Edilen Ortalama Yıllık Çalışma Saati (%)
Tunçbilek	10,30	25,17
Çatalağzı B	26,80	2,19
Yatağan	7,12	7,12



**Şekil 4.2.** Model 2'nin CCR ve BCC girdi odaklı sonuçları

**Tablo 4.6.** Girdi odaklı CCR modeline göre hedeflenen girdi ve çıktı değerleri

Termik Santraller	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Toplam NO <sub>x</sub> Emisyonu (ton)	Toplam SO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Diğer Gaz Emisyonları (ton)	Gerçekleşen Üretim (GWh)
Afşin-Elbistan A	1.424.587,55	6.094,50	150,44	666,46	4.198
Afşin-Elbistan B	2.487.183,76	5.501,84	262,57	1.163,63	7.241
Seyitömer	1.370.412,97	6.598,65	144,73	641,11	4.051
Kangal	619.503,81	1.802,48	65,41	289,83	1.811
Tunçbilek	536.337,45	3.837,68	56,66	250,90	1.607
Çatalağzı B	640.084,87	2.493,07	67,59	299,45	1.882
Orhaneli	448.920,16	2.451,04	47,41	210,01	1.332
Çan	1.842.874,00	805,00	11.154,00	509,59	2.191
Yatağan	1.368.475,52	2.789,86	144,47	640,24	3.980
Yeniköy	662.242,45	1.464,76	69,91	309,83	1.928
Bursa	3.088.256,00	4.799,00	326,00	1.444,86	8.956
Ambarlı	3.227.602,49	5.591,37	340,72	1.510,05	9.370
Hamitabat	2.475.706,00	51.311,00	262,00	1.157,79	7.995
Soma A+B	1.856.516,29	8.593,37	196,06	868,53	5.482

**Tablo 4.7.** Girdi odaklı BCC modeline göre hedeflenen girdi ve çıktı değerleri

Termik Santraller	Toplam CO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Toplam NO <sub>x</sub> Emisyonu (ton)	Toplam SO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Diğer Gaz Emisyonları (ton)	Gerçekleşen Üretim (GWh)
Afşin-Elbistan A	1.875.592	6.751	5.025	738	4.198
Afşin-Elbistan B	2.650.176	5.625	2.017	1.190	7.241
Seyitömer	1.833.782	7.356	5.159	715	4.051
Kangal	1.479.614	2.607	9.110	419	1.811
Tunçbilek	1.233.543	5.516	7.635	361	1.607
Çatalağzı B	1.766.448	4.347	5.891	522	2.071
Orhaneli	1.178.040	3.799	7.947	325	1.332
Çan	1.842.874	805	11.154	510	2.191
Yatağan	1.979.872	3.190	6.551	732	3.980
Yeniköy	2.183.519	2.850	4.650	603	1.928
Bursa	3.088.256	4.799	326	1.445	8.956
Ambarlı	3.937.361	6.819	416	1.842	9.370
Hamitabat	2.475.706	51.311	262	1.158	7.995
Soma A+B	2.179.903	9.102	3.694	920	5.482

Tablo 4.6.’ya göre gaz emisyonları bakımından en etkin santrallerimiz Çan, Bursa ve Hamitabat’tır. Tablo 4.7.’ye göre Orhaneli, Çan, Yeniköy, Bursa, Ambarlı ve Hamitabat’tır.

**Tablo 4.8.** Etkinlik sonuçları

Termik Santraller	Model 1			Model 2			Ortalama Etkinlik Değeri
	VZA (CCR)	VZA (BCC)	SSY	VZA (CCR)	VZA (BCC)	SSY	
Afşin-Elbistan A	0,609	1,000	0,521	0,515	0,571	0,766	0,664
Afşin-Elbistan B	1,000	1,000	0,852	0,703	0,718	0,841	0,852
Seyitömer	1,000	1,000	1,000	0,688	0,767	0,995	0,908
Kangal	0,594	1,000	0,578	0,326	0,472	0,512	0,580
Tunçbilek	0,541	0,897	0,525	0,62	0,892	0,931	0,734
Çatalağzı B	0,904	0,978	0,836	0,43	0,75	0,562	0,743
Orhaneli	0,914	1,000	0,804	0,645	1,000	0,907	0,878
Çan	0,987	1,000	0,915	1,000	1,000	1,000	0,984
Yatağan	0,926	0,929	0,945	0,672	0,769	0,884	0,854
Yeniköy	0,672	1,000	0,641	0,514	1,000	0,676	0,751
Bursa	1,000	1,000	0,841	1,000	1,000	0,97	0,969
Ambarlı	1,000	1,000	0,944	0,82	1,000	0,788	0,925
Hamitabat	0,960	1,000	0,891	1,000	1,000	1,000	0,975
Soma A+B	0,923	1,000	0,853	0,604	0,64	0,847	0,811

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada veri zarflama analizi ve stokastik sınır yaklaşımı ile Türkiye’deki termik santrallerin etkinliği ölçülmüştür. Analizler iki model altında yapılmıştır. 1. Modelde girdiler yakıtın alt ısıl değeri, planlanan üretim kapasitesi, ana yakıt tüketimi; 2. modeldeki girdiler CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve diğer gaz emisyonları iken her iki modelde de çıktı gerçekleşen üretim miktarıdır.

Tablo 4.8.’de VZA ve SSY etkinlik sonuçları verilmiştir. Parametrik ve parametrik olmayan yöntemlere göre termik santrallerin etkinlik sonuçları ortalamasına bakıldığında etkinliği en yüksek santraller Çan ve Hamitabat’tır. Çan termik santralinde akışkan yataklı kazan kullanılırken Hamitabat termik santrali doğalgaz ile çalışmaktadır. Termik santrallere genel olarak bakıldığında doğalgaz ile çalışan termik santrallerin etkinliği yüksek çıkarken linyit ile çalışan Seyitömer termik santralinin de etkinliği yüksek çıkmıştır.

Yukarıdaki verilerin yanı sıra Çan ve Hamitabat termik santrallerinin modelde kullanmadığımız ısıl verim ve kapasite kullanım oranlarına bakıldığında; termik santraller içerisinde ısıl verimde ilk 3 sırada, kapasite kullanım oranında ilk 2 sırada yer aldığı [10] nolu kaynakta da görülmüştür. Bu durum yapılan analizlerin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] O.Arslan, N. Ceylan, R. Kose, Exergetic evaluation of coal-fired power plant: Seyitomer case study, in: The Second International Exergy, Energy and Environment Symposium(IEEES2), 3-7 July 2005, Kos, Greece.
- [2] O. Kincay, R. Ozturk, Thermal power plants in Turkey, Energy sources 25 (2003) 135-151.
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ağustos 2010, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=elektrik&bn=219&hn=219&nm=384&id=386>.
- [4] Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (EÜAŞ), Ağustos 2010, [http://www.euas.gov.tr/\\_EUAS/WPX/haziran2010-16.pdf](http://www.euas.gov.tr/_EUAS/WPX/haziran2010-16.pdf).

- [5] J. Hu, S. Wang, F. Yeh, Total-factor water efficiency of regions in China Resources Policy 31 (2006) 217–230
- [6] J. Hu, C.Kao, Efficient energy-saving targets for APEC economies, Energy Policy 35 (2007) 373–382
- [7] S. Ömüt, S. Soner, Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey, Energy and Buildings 38 (2006) 964–971.
- [8] David Hawdon, Efficiency, performance and regulation of the international gas industry—a bootstrap DEA approach, Energy Policy 31 (2003) 1167–1178.
- [9] T. Sueyoshi, Stochastic DEA for restructure strategy: an application to a Japanese petroleum company, Omega 28 (2000) 385±398.
- [10] A. Sözen, İ. Alp, A. Özdemir, Assessment of Operational and Environmental Performance of the Thermal Power Plants in Turkey by Using Data Envelopment Analysis, Energy Policy (article in press).
- [11] A. Vaninsky, Prospective National and Regional Environmental Performance: Boundary Estimations Using A Combined Data Envelopment - Stochastic Frontier Analysis Approach, Energy 35 (2010) 3657 - 3665.
- [12] S. Managi, J. J. Opaluch, D. Jin, T. A. Grigalunas, Stochastic frontier analysis of total factor productivity in the offshore oil and gas industry, Ecological Economics 60 (2006) 204 - 215.
- [13] Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (EÜAŞ), Termik Santrallerin 2009 Yıl Sonu Üretimlerinin Türkiye Üretimine Katkısı (%), Ağustos 2010, [http://www.euas.gov.tr/\\_EUAS/WPX/2009-9.pdf](http://www.euas.gov.tr/_EUAS/WPX/2009-9.pdf).
- [14] Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (EÜAŞ), Termik Santrallerin 2009 Yıl Sonu Üretim Programı ve Üretim Bilgileri, Ağustos 2010, [http://www.euas.gov.tr/\\_EUAS/WPX/2009-10.pdf](http://www.euas.gov.tr/_EUAS/WPX/2009-10.pdf)
- [15] F. Bakırcı, Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü Veri Zarflama Analizi, Atlas Yayınları, 2006, sy.121