

Ülkeler Arası CO₂ Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

Yüksek Lisans Öğrencisi Derya AYDIN

Fen Fakültesi

İstatistik Bölümü

E-posta: deryaaydin87@gmail.com

Özet

Yaşadığımız dönemde iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin ortaya çıkması, iklim değişikliği ile mücadelede daha etkin yöntemlerin bulunması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ülkeler küresel ısınmayı azaltmak için uluslar arası iklim değişikliği politikaları geliştirmeye başlamaktadırlar. Küresel ısınmaya neden olan temel etkenin CO₂ olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmektedir. Bu çalışmada, ülkelerin küresel ısınmaya karşı alacağı önlemler arasında CO₂ emisyonlarının kontrolü yer almaktadır. Dünyada sürekli artan nüfus ve gelişen endüstriye bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu çalışmada; veri zarflama analizi tekniklerinden çıktı yönlü CCR ve BCC modelleri kullanılarak, ülkelerin karbondioksit emisyonları miktarlarına göre etkinlikleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde veri zarflama analizi altında, sabit dönüşümlü ölçek ve ölçeğe göre değişken getiri sağlayan çıktı odaklı model kullanılmıştır. Modeldeki girdiler; orman alanları(km²), fosil kaynaklardan ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik miktarları (kWh), kilometre başına düşen araç sayıları, kişi başına düşen gelirleri (US \$) ve sanayi katma değer oranları iken, bunlara ait tek çıktı değişkeni (CO₂ emisyonu) mevcuttur. Sonuç olarak, CCR ve BCC modellerinin ikisinde de en yüksek etkinlik skoru veren ülke Kıbrıs'tır. Bunun dışında sadece BCC modeline göre en yüksek etkinlik skoru veren ülkeler Bulgaristan, Danimarka, Slovenya, Hindistan ve Litvanya ve Letonya'dır.

Anahtar Kelimeler: CO₂ Emisyonu, Veri Zarflama Analizi, Değişen Ölçek Modeli, Sabit Dönüşümlü Ölçek Modeli

An Empirical Work Oriented Towards Reduction of Intercountry Carbon Dioxide Emission

Abstract

Today, the fact that negative influences of the climate change have emerged proves the obligation of finding more effective methods in struggle against the climate change. Therefore, the countries have begun to develop international policies related to climate change in order to reduce the global warming. As a result of the, it has been seen that the key factor which causes to global warming is CO₂. In this works, the control of the emission of CO₂ is among the precautions that will be taken by the countries against the global warming. All over the world, demand for energy also has increased depending on

the increasing population and booming industry. In this work, the efficiencies of the countries with regard to their quantities of CO₂ emission have been evaluated by using output oriented CCR and BCC models of the techniques of data envelopment analysis. In the analysis, the output oriented model providing fixed alternating scale and variable return to scale under data envelopment analysis have been used .While the inputs of the model are forest areas (km²), the electricity quantity generated from fossil resources and renewable resources (kWh), the number of vehicle per kilometre, incomes per capita (US \$) and the ratio of industry value added, only output variable concerning these (CO₂ emission) is available. In conclusion, in both CCR and BCC models, Cyprus is the country scored the top efficiency point. Apart from that, Denmark, Bulgaria, Slovenia, India, Lithuania and Latvia are countries scored the top efficiency point according to just BCC model.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions, Data Envelopments Analysis, Changing Scale Models, Fixed Scale Model.

1.Giriş

Çevre, canlıların ortak yaşam alanı olarak tanımlanabilir. İnsanlar çevredeki kaynakları kullanarak, teknolojiyi geliştirerek, ekonomik etkinliklerde bulunarak çevre içindeki yaşam koşullarını iyileştirmeye çalışırken doğa ile sürekli ilişki içerisindeyler. Teknolojik gelişmelerde ve sanayileşmede duyarsız davranılması, ekolojik dengeyi bozmuş ve sonucunda çevre kirliliğine neden olmuş [Çubuk, Karacaoğlu, 2003; 190].

Çevre sorunları, yaşamla ilgili gereksinimlerin karşılanmasını güçleştiren engellere ilişkin sorunlardır. Hızla artan dünya nüfusu, plansız kentleşme, sanayileşme, fazla enerji tüketimi gibi nedenlerden dolayı çevre kirliliği giderek artmakta ve bu da küresel ısınmaya sebep olmaktadır. [Çubuk, Karacaoğlu, 2003;190]

Son dönemlerde küresel ısınma ve iklim değişikliği tüm ülkelerin ilgilendiği bir sorun haline gelmiştir. Bu konu üzerindeki tartışmalarda, küresel ısınmaya neden olan gazların başında gelen sera gazlarının etkilerinin azaltılmasına odaklanılmıştır. Sera gazları karbondioksit, su buharı, metan ve nitroksit gazlarından oluşmaktadır. Bu gazlar içinde sera etkisini arttıranların başında CO₂ gelmektedir. CO₂ gaz salınımı, çok önemli oranda ekonominin her alanında kullanılan fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğal gaz) kaynaklanmaktadır [Aslan, A,2009;1429].

Doğaya yayılan kirliliğin birçok sebebi vardır. Bunların en başında enerji üretimi gelmektedir. Enerji, üretim sürecinin önemli bir girdisidir. Çok farklı yollarla enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer enerji kaynaklarından enerji üretimi dışında kalan enerji üretim teknikleri zararlı birçok gazın yanında CO₂ gazının ortaya çıkmasına sebep

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

olmaktadır [Doğan, 2005;58]. Atmosferdeki CO₂ miktarını arttıran diğer bir faktörde yollardaki araç sayısının artmasıdır. Dünyadaki birincil enerji kaynaklarının beşte biri, ulaşım sektöründe tüketilmektedir. Gelecek yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler artan ulaşım talebi karşısında motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar da daha kötü bir hal alacaktır [Otgen, Gümüşay,2009;1]. Başta insan faaliyetlerinden, gelişen sanayi, elektrik üretim sistemleri, ulaşım da kullanılan araç sayısı gibi etkenlerden kaynaklanan CO₂ salınımı doğada birikmekte ve havanın ısınmasına neden olmaktadır.

Çevre kirliliğini arttıran ve kalitesini azaltan bir başka etkende gelir seviyesidir. Gelir azaldıkça bizim gibi gelişmemiş ülkelerde ısınma amaçlı kullanılan yakıtların kaliteleri düşmekte bu da çevre kirliliğini tetiklemektedir. Kişilerin ya da ülkelerin gelir seviyesi arttıkça çevreye karşı daha duyarlı ürünler üretilmekte ve tüketilmektedir. Gelir dağılımı çevresel kalite arasındaki ilişkiyi küresel ısınma, CO₂ emisyonu ve fakirliğin azaltılması bağlamında değerlendiren Ravallion vd. (2000); gelir seviyesinin artmasıyla küresel ısınma sorununa çözüm bulunabileceğini önermiştir [Çınar,2011; 71].

Gelişmiş ülkelerde yaratılan karbondioksit emisyonunun dünyanın varlığını tehlikeye düşürdüğünün anlaşılması üzerine çeşitli önlemler alınmaktadır. Uygulanabilirlik açısından kolay ve caydırıcı olması nedeniyle en çok dikkat çeken karbon vergisidir. Başta karbondioksit emisyonu olmak üzere atmosfere salınan zararlı emisyonları engelleyebilmek adına çeşitli önlemler alınmıştır.

- Enerji tasarrufu
- Üretimde ve tüketimde verimlilik
- Sanayi tesislerine kurulan baca gazı arıtma tesisleri
- Alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması
- Toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması ve alternatif kaynakların kullanılması
- Nükleer enerji
- Karbondioksit emisyonunun tutulması ve depolanması olarak sınıflandırılabilir [Öztürk, Özek, Yüksel,2010;2].

Özetlenecek olursa, artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen sanayi, enerji tüketimi, artan taşıt sayısı, orman alanlarının azalması ekolojik dengeyi bozmakta ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu da iklim değişikliği, orman ve bitki çeşitliliğinin azalması gibi birçok olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Avrupa Birliği ülkelerinden bazıları ve içlerinde Türkiye'nin de bulunduğu diğer ülkelerin CO₂ emisyonlarını etkilediği düşünülen değişkenlerin etkinlik analizi açısından değerlendirilmesi ve ülkeler arası kıyaslamasını yaparak bir sonuca varabilmektir. Çalışmada 2005 yılına ait veriler kullanılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde çıktı yönlü veri zarflama analizi modellerinin temel özellikleri ortaya konulmakta, ikinci bölümünde ise

Avrupa Birliği ülkelerinden bazıları, Türkiye ve diğer ülkelere ait verilerin çıktı yönlü VZA modelleri ile çözümleri sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmaktadır.

Türkiye’de ve dünyada karbondioksit emisyonu üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Hinchy vd. (1998) çalışmasında, OECD ülkeleri arasında enerji kullanım yoğunluğunun analizi için çarpanlarına (faktörlerine) ayırma tekniğini uygulamıştır ve makalede görelî etkinliklerinin ölçülmesi için, ülke genelinde endüstri tarafından bir genelleştirilmiş teknik olarak etkinlik sınırının yapılmasına olanak sağlayan parametrik olmayan üretim analizi önerilmiştir. GTAP 1992 üretimi ve Dünyanın 30 farklı bölgeleri için giriş verileri kullanılarak 37 sanayi teknik verimleri hesaplanmıştır. Teknik etkinlik için hesaplanan sonuçlar daha sonra enerji tasarruf potansiyeli hesaplamak ve karbondioksit emisyon azaltımı için kullanılmıştır. Sonuç olarak, 1992’de Avustralya enerji tüketimi, en iyi üretim teknikleri uygulanmış olsaydı %8’den daha yüksek olabileceğini göstermektedir [Hinchy, Trieu, Hanslow,1998: 1].

Greene ve Schafer (2003)’de hazırladıkları raporda ABD’de ulaşımdan üretilen potansiyel CO₂ emisyonunu değerlendirmektedir. Ölçümler, enerji verimliliği iyileştirmeleri, düşük karbonlu alternatif yakıt kullanımı, ulaşım sisteminin işletim verimliliğini arttırmak gerektiğini düşündürmüştür. Sonuç olarak, karayolu taşıtları, toplam taşıma emisyonlarının yüzde 72’sini oluşturmaktadır ve karayolu taşıtları sera gazı emisyonlarını kontrol etmek için oluşturulan politikaların odak noktası olmalıdır. Binek otomobil ve hafif kamyonlar toplam sektörel emisyonun yarısını oluşturmaktadır [Greene, Schafer, 2003:3].

Grubb vd. (2006) çalışmalarında, Kyoto Protokolü’nün onaylanması ile karbondioksit ve gelir emisyonları arasındaki ilişkiyi tekrar gündeme getirmişlerdir. Söz konusu çalışmada karbondioksit emisyonunun kısıtlanmasının ekonomik büyümeye olumsuz yönde etkileme ihtimalleri üzerinde durulmaktadır. Bu yaklaşım kişi başına düşen gelirin artmasıyla birlikte bazı durumlarda yükselen emisyonları bazı durumlarda ise azalan emisyonların miktarını ortaya koymaktadır. Verilerin zaman ve mekândan bağımsız basit bir analizi yapılmıca, kişi başına düşen emisyon ve kişi başına düşen gelir arasında bir ilişki olmadığını görülmüştür. İlişkinin doğası belirli şartlarda ve her ekonomide benimsenen politikaya göre değişmektedir. Say ve Yücel (2006)’ in çalışmasında, toplam enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki regresyon analizi ile incelenmiş ve 2015 tarihine kadar CO₂ emisyonu tahmininde bulunmuştur [Grubb, Butler, Feldman, 2006: 1].

Özcan ve Kayman (2008) çalışmasında, enerji talebinin CO₂ salınımlarına etkisi bağlamında nüfus, Kişi Başı Reel Gelir, GSYİH ve ham petrol fiyatları düzeyinde incelenmiştir. CO₂ salınımlarının nüfus ve Kişi Başı

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

GSYİH ile uzun dönemli ilişki içerisinde olduğu eş bütünleşme analizi sonucunda bulunmuştur. Ekonometrik analiz sonucunda, sadece Türkiye modeli anlamlı çıkmıştır ve nüfusun salınımlar üzerinde etkisi kişi başına reel GSYİH' dan daha fazla çıkmış, enerji fiyatlarının etkisi ise istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır. Ertem ve Akar (2008) , endüstriyel bir işletmenin, küresel ısınmaya karşı alacağı önlemler için emisyonların kontrolünde, yakıt bazlı CO₂ emisyonlarını nasıl hesaplayabileceği, tüketilen kaynaklardan kaynaklanan bu emisyonların şirketin dahili ünitelerine nasıl yayılabileceği, birim üretim başına atmosfere salınan emisyon miktarlarının tayini ve Kyoto Protokolüne paralel hazırlık çalışmalarında emisyon envanterinin izlenmesine yönelik yöntemler incelenmiştir ve bir işletmenin emisyonların takibi için sırasıyla; kaynakların belirlenmesi, her kaynak için spesifik emisyon değerinin tahmin edilmesi, emisyon üretici ünitelerin sınıflandırılması ve nihayetinde toplam mamul üretimi başına emisyon üretiminin analiz edilmesi işlemleri yapılmalıdır.

Bunlardan Kotil, Eryiğit ve Konur (2009) çalışmasında Grey Modeli'ni kullanarak, Türkiye ve Avrupa Birliği'nin bir birim Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GDP) elde edebilmek için ortaya çıkardıkları CO₂ verilerini kullanarak (1968-2003) kısa dönem tahminlerini elde etmektedir. Analizin sonucunda da, emisyon ve büyüme ilişkisi açısından Türkiye ve Avrupa Birliği'nde son 35 yıllık dönemde iki bölge arasında tersine bir büyüme olduğu ortaya çıkmıştır. Aslan (2009) çalışmasında, Afrika, Merkezi ve Güney Amerika, Okyanusya ve Batı Avrupa ülkeleri arasında kişi başına karbondioksit emisyon kalıcılığı ve yakınsaması 1950 – 2004 dönemi için panel birim kök yöntemi uygulanarak incelenmiştir ve karbondioksit emisyonu için birim kökün varlığı hipotezi reddedilememiştir. Ele alınan ülke grupları itibariyle CO₂'nin kalıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Aytaç (2011) çalışmasında, Türkiye için enerji üzerindeki zımnı vergi oranını hesaplanmış ve vergi uygulamalarının enerji etkinliği ve çevresel kirlenme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçta, AB ülkelerinin aksine yüksek olan zımnı vergi oranlarına rağmen vergilerin enerji etkinliği ve çevresel kirlenme üzerinde olumlu etkisinin olmadığı görülmüştür.

Aslanoğlu ve Köksal (2012), 2001-2020 yılları arası mevcut ve planlanan elektrik üretimi ve buna bağlı CO₂ emisyonu bölgesel olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında CO₂ emisyonlarının belirlenmesi için mevcut ve planlanan santrallerin elektrik üretimi ve yakıt tüketim verileri, emisyon faktörler, yakıt alt ısıl değerleri, ortalama termodinamik verimleri ve elektrik talep tahmin değerleri kullanılmıştır. Veriler yıllık ve daha sonra adres verileri kullanılarak bölgesel olarak sınıflandırılmıştır. Öncelikle mevcut santrallere ait yakıt tüketimine bağlı CO₂ emisyonu ve yakıt bazında özel emisyon faktörleri belirlenmiştir. Daha sonra planlanan santrallere ait CO₂

emisyonu belirlenmiştir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye toplam elektrik üretiminin 377 TWh ve buna bağlı CO2 emisyonununun 194 milyon ton olması beklenmektedir. Adapazarı, İkitelli, İzmir, Keban ve Seyhan bölgelerinden kaynaklanan yüksek CO2 ve diğer kirletici emisyonları dolayısıyla bu bölgelerin hassas bölgeler haline gelmesi beklenmektedir.

European environment agency (2012) çalışmasında, AB ülkelerine ait 2009-2010 yıllarına veriler kullanılarak artan sera gazı emisyonuna etkisi olan ana faktörler değerlendirilmiştir. Çalışmada AB ülkelerinin sera gazı emisyonları için genel bir bakış yapılmış, sonrasında üye ülkeler emisyonu etkileyen nüfus, ekonomik çıktılar, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon yoğunluğu gibi ana faktörler açısından tek tek değerlendirilmeye alınmıştır. Sonrasında; AB, Emisyon Ticareti Sistemi kapsamında 2011 yılındaki sera gazı emisyonuna kısa bir bakış yapılmaktadır.

2.Yöntem

Veri zarflama analizi (VZA) tekniği doğrusal programlama tabanlı, parametrik olmayan bir tekniktir [Kayalidere, Kargın,2004;203]. VZA; birden çok girdi-çıkıtının olduğu ve girdi-çıkıtların farklı ölçü birimlerine sahip olduğu durumlarda, KVB' lerin göreceli performansını ölçmeyi amaçlayan, ilk olarak Charnes vd.(CCR-1978) tarafından geliştirilen doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir [Oruç, Güngör, Demiral,2009;281]. VZA' da temel varsayım, tüm KVB' lerin benzer stratejik hedeflere sahip olması ve aynı tür girdi kullanıp aynı tür çıktı üretmesidir [Golany ve Yu, 1997: 28]. VZA' nın uygulama alanları; hastaneler, bankalar, mahkemeler, okullar vb. kurumlardır [Tetik, 2003; 222].

Benzer karar birimlerinin etkinliklerini karşılaştırmaya yönelik olan Veri Zarflama Analizi (VZA) , son yıllarda yöneylem araştırması ve yönetim bilimlerinde en çok yaygın olarak kullanılan bir metottur. VZA, 1957 yılında Farrell tarafından önerilen sınır (frontier) analizine dayanılarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmiştir. Kar amaçlı olan ve olmayan pek çok kuruluş etkinlik analizinde kullanılmıştır. VZA' nin klasik performans değerlendirme yaklaşımlarından en önemli farkı analiz için çok sayıda girdi ve çıktı kullanılabilmesi ve analizcinin bu girdi ve çıktıların ağırlıklarını belirlemesini gerektirmemesidir [Deveci Kocakoç, 2003; 1]. VZA' nin etkinliği ölçme şekli kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- Herhangi bir gözlem kümesi içinde en az girdi bileşimini kullanarak en çok çıktı bileşimini üreten “en iyi” gözlemleri belirler.
- Söz konusu sınır “referans” kabul edilip etkin olmayan karar birimlerinin bu sınıra olan uzaklıklarını “radyal” olarak ölçer.

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

Bu şekilde aynı girdi ve çıktıya sahip Karar Verme Birimleri'nin (KVB) göreceli etkinlikleri ölçülebilir. Her bir KVB için modeller kurulur ve doğrusal programlama tekniği ile çözülür. Çözüm sonuçları ilgili KVB' nin etkinliğini verir. Etkinlik değeri "1" ise o KVB "etkin"dir. 1'den farklı ise "etkin değil" dir. Etkin olmayan KVB' ler referans kümesindeki etkin birimlere göre değerlendirilerek etkin hale getirilebilir [Baysal; Uygur; Toklu, 2004; 438].

Bir etkinlik/performans değerlendirme metodu olan VZA, etkinlik değerlendirmesinde çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı yaklaşımını kullanır.

$$j. \text{ birimin etkinliği} = \frac{\text{çiktuların ağırlıklı toplamı}}{\text{girdilerin ağırlıklı toplamı}} = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}}$$

u_s : s. çıktının ağırlığı

v_m : m. girdinin ağırlığı

y_{sj} : j. birimin s. çıktısının miktarı

x_{mj} : j. birimin m. girdi miktarı

VZA' da pek çok değişik model kullanılmaktadır [Deveci, Kocakoç, 2003; 2].

2.1.CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) Modeli

CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) yöntemi ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanır [Keçek, 2010; 66]. Girdi seviyesini değiştirmeden, bu girdi düzeyi ile işletmeyi etkin hale getirebilmek için çıktı bileşiminin ne kadar artırılması gerektiğini araştıran modeldir. Çıktıya yönelik VZA modelinin girdiye yönelik olandan farkı, ağırlıklandırılmış girdinin ağırlıklandırılmış çıktıya oranının minimize edilmesidir [Oruç, 2008; 27].

Bu model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır: Çıktı yönlü CCR modelinde;

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \\ & - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \geq 0 \\ & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, r = 1, 2, \dots, s; i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

biçiminde tanımlanır ve çarpan modeli olarak adlandırılır. Modelin duali yardımıyla zarflama yöntemi,

$$\begin{aligned} & \max z_k \\ & - \sum_{j=1}^n Y_{rj} \eta_{jk} + Y_{rk} z_k \leq 0 \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \eta_{jk} \leq X_{ik} \\ & \eta_{jk} \geq 0; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Çıktı yönlü CCR modeli için çözüm 1 ve birden büyük olacaktır. Karar verme birimlerinin etkin olabilmesi için, zarflama modelinin optimal çözümünün $z_k^* = 1$ ve tüm gevşek değişkenlerin sıfır olması gerekmektedir. $z_k^* > 1$ ise incelenen KVB etkin olmayan olarak isimlendirilir [Güneş, 2006; 28].

2.2. BCC (Banker, Charnes, Cooper) Modeli

Banker, Charnes, Cooper (1984) tarafından geliştirilen bu model, verilen bir ölçekte saf teknik etkinliğin tahminini verir ve artan, azalan ve ya sabit ölçeğe göre getiri olasılıklarını ortaya koyarak, teknik ve ölçek etkinliğinin ayırımını yapar.

Çıktı yönlü BBC modeli, çıktı yönlü CCR zarflama modeline $\sum_{j=1}^n \eta_{jk}$ konvekslik kısıtının eklenmesi ile;

$$\begin{aligned} & \text{Max } Z_k \\ & - \sum_{j=1}^n Y_{rj} \eta_{nj} + Y_{rk} Z_k \leq 0 \\ & \sum_{j=1}^n X_{ij} \eta_{jk} \leq X_{ik} \\ & \sum_{j=1}^n \eta_{jk} = 1 \\ & n_{jk} \geq 0; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

biçiminde elde edilir. Çıktı yönlü BBC modelin dual modeli, yani çarpan modeli,

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} - v_k \\ & - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - v_k e \geq 0 \\ & - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, v_k: \text{işareti belirtilmemiş.} \end{aligned}$$

biçiminde yazılır. Çıktı yönlü BBC modelinin yorumları diğer modeldeki gibi yapılır. Ancak, bu zarflama modelinden elde edilen etkinlik değeri çıktı yönlü saf teknik etkinliktir.

Çıktı yönlü BBC modelinden elde edilen etkinlik skoru (Z_{BBC}^*) ile çıktı yönlü CCR modelinden elde edilen etkinlik skoru (Z_{CCR}^*) arasında, $Z_{BBC}^* \leq Z_{CCR}^*$ şeklinde bir ilişki vardır. Dolayısıyla, BBC modeli ile etkin bulunan bir KVB, CCR modeli ile de etkin bulunacaktır. Ancak bunun tersi doğru değildir [Güneş, 2006; 34].

3. Veri Seti ve Uygulama

Bu çalışmanın amaçlarından biri, Avrupa Birliği ülkeleri ve bazı ülkelerin CO₂ emisyonunun etkinliklerinin karşılaştırılması ve etkin olmayan ülkelerin performanslarının iyileştirilmesi için referans alınabilecek ülkelerin belirlenmesi ve elde edilebilir hedef değerlerin belirlenmesidir. Çalışmada

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

belirlenen değişkenlere göre homojenliğin de sağlanabildiği ülkelerden 21 ülke değerlendirmeye alınmıştır.

Ülkelerin etkinliklerinin incelenmesinde, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında CCR modeli ile elde edilen toplam etkinlik değerleri ve ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında BCC modeli ile ülkelere ait CO₂ emisyonunun etkinlik değerleri ölçülmüştür. Çıktıya yönelik CCR ve BCC modellerinden faydalanılmıştır. Veriler World Data Bank'tan elde edilmiştir. Elde edilen veri dosyalarında her karar birimi için belirlenen değişkenlere ait 1961- 2012 yılları arası ölçümler mevcuttur. Çalışmadaki, araçlar değişkeni ve orman alanı değişkenine ait ölçümlerin 5'er yıl aralıklarla yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle analiz yaparken eksik değerlerin olmaması için 2005 yılına ait veriler tercih edilmiştir ve belirlenen 21 ülke için CO₂ emisyonunun etkinlik değerleri DEA-Solver yazılımı ile elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Pek çok faktörün etkili olduğu çevre kirliliği alanında etkinlik ölçümüne yönelik yapılan çalışmalarda girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi oldukça güçtür. Belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerine ait verilere ulaşabilmek her zaman mümkün olmamaktadır. Çalışmada girdi ve çıktıların farklı bileşimleri dikkate alınarak, ülkelerin CO₂ emisyonlarının etkinliklerine ait sonuçlar elde edilmiştir.

Girdi ve Çıktı Değişkenleri:

Çalışmada 21 tane karar birimine ait altı adet girdi değişkeni ile bir adet çıktı değişkeni kullanılmıştır.

Tablo 1: Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Değişkenler	Açıklamaları
Girdiler	
X_1	Km ² başına düşen orman alanı
X_2	Toplam elektrik üretimi (kWh)
X_3	Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi (kWh)
X_4	Kilometre başına düşen araç sayısı
X_5	Kişi başına gayri safi yurt içi hasıla (cai US \$)
X_6	Sanayi katma değeri (GSMH%)
Çıktılar	
Y_1	CO ₂ emisyonu (kt)

Dünyadaki 21 ülkeden veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümünde ele alınan girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin 2005 yılına ait veriler Dünya Veri Bankası'ndan elde edilmiştir.

Tablo 2: Karar Birimleri

Türkiye	Hindistan	Fransa
Almanya	İsveç	Slovakya
Bulgaristan	Birleşik Krallık	İtalya
Danimarka	Çin	Kıbrıs
Slovenya	Japonya	Litvanya
Finlandiya	Rusya	Letonya
Hollanda	Polonya	Macaristan

Analizin bu kısmında, karar birimleri olan 21 ülkenin, karbondioksit emisyonlarının ele alınan değişkenlere göre etkinlik analizi Dea- Solver yazılımı ile araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizler çıktı yönlü CCR modeli ve çıktı yönlü BCC modeli olmak üzere iki model bazında yapılmıştır. Her iki modelde de aynı girdi ve çıktı değişkenleri kullanılmıştır.

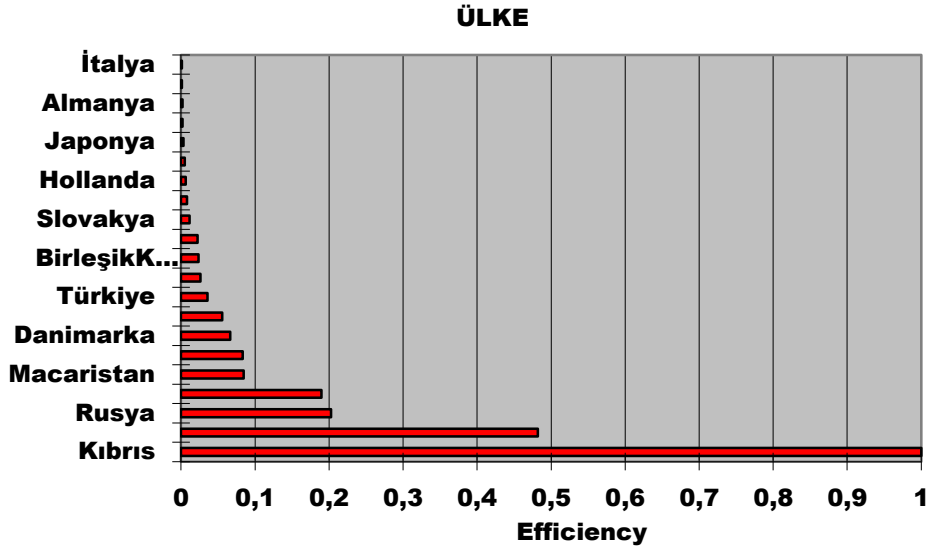
Tablo 3: CCR Modeline Göre Değişkenler Arası Korelasyon

Korelasyon	Orm. A. (km ²)	Elektrik Ürt. (kWh)	Y.K.E. Ürt. (kWh)	Araçlar	K.B. GSYİH (US \$)	Sanayi K.D. (GSMH)	CO2 Emisyonu (kt)
Orman alanı(km²)	1	0,430	0,508	-0,116	-0,063	0,455	-0,049
Elektrik Ürt. (kWh)	0,430	1	0,961	-0,110	-0,032	0,579	-0,176
Yenilenebilir K.E.Ürt. (kWh)	0,508	0,961	1	-0,267	-0,017	0,658	-0,155
Araçlar	-0,116	-0,110	-0,267	1	0,402	-0,295	-0,027
K.B. GSYİH (US \$)	-0,063	-0,032	-0,017	0,402	1	-0,093	-0,075
Sanayi katma değeri (GSMH%)	0,455	0,579	0,658	-0,295	-0,093	1	-0,327
CO2 Emisyonu (kt)	-0,049	-0,176	-0,155	-0,027	-0,075	-0,327	1

Tablo 3.3' te değişkenler arasında korelasyon değerleri incelendiğinde, genel olarak değişkenler arasında güçlü bir ilişki olmadığı görülmüştür. Sadece X_2 ve X_3 değişkenleri arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki söz konusu olmaktadır.

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

Şekil 3.1: Karar Birimlerinin CCR modeline göre etkinlik değerleri



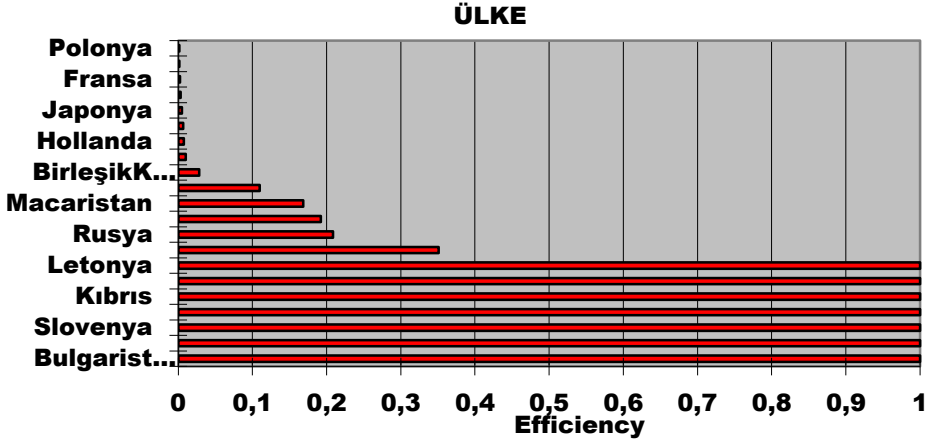
Karar birimlerine ait çıktı yönlü CCR modelinin etkinlik skorlarının gösterildiği Şekil 3.1 incelendiğinde, en etkin karar biriminin Kıbrıs olduğu görülmektedir.

Tablo 4: BCC Modeline Göre Değişkenler Arası Korelasyon

Korelasyon	Orm. A.(km ²)	Elektrik Ürt. (kWh)	Y.K.E. Ürt. (kWh)	Araçlar	K.B. GSYİH (US \$)	Sanayi K.D.(GSMH%)	CO2 Emisyonu (kt)
Orman alanı(km ²)	1	0,430	0,508	-0,116	-0,063	0,455	-0,049
Elektrik Ürt. (kWh)	0,43	1	0,961	-0,110	-0,032	0,579	-0,176
Yenilenebilir K.E.Ürt. (kWh)	0,508	0,961	1	-0,267	-0,017	0,658	-0,155
Araçlar	-0,116	-0,110	-0,267	1	0,402	-0,295	-0,027
K.B. GSYİH (US \$)	-0,063	-0,032	-0,017	0,402	1	-0,093	-0,075
Sanayi katmadeger (GSMH%)	0,455	0,579	0,658	-0,295	-0,093	1	-0,327
CO2 Emisyonu (kt)	-0,049	-0,176	-0,155	-0,027	-0,075	-0,327	1

Çıktı yönlü BCC modeline göre yapılan etkinlik analizine göre de değişkenler arasında genel olarak güçlü bir ilişkinin olmadığı Tablo 3.4' te görülmektedir. CCR modelinde olduğu gibi sadece X_2 ve X_3 değişkenleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir.

Şekil 3.2. Karar Birimlerinin BCC Modeline Göre Etkinlik Değerleri



Aynı verilerin çıktı yönlü BCC modeline göre etkinlik skorları Şekil 3.2'de gösterilmektedir. BCC modeline göre Letonya, Kıbrıs, Slovenya, Bulgaristan, Danimarka, Litvanya ve Hindistan CO₂ emisyonu bakımından etkin karar birimleridir.

Tablo 5: Çıktı Yönlü CCR ve BCC Modelleri Etkinlik Skorları

Karar Birimleri	CCR Etkinlik Skoru	BCC Etkinlik Skoru
Türkiye	0,035683726	0,109910938
Almanya	0,002154938	0,00332427
Bulgaristan	0,004934053	1
Danimarka	0,06657621	1
Slovenya	0,083179024	1
Finlandiya	0,189490362	0,192156197
Hollanda	0,006151	0,007635647
Hindistan	0,48190182	1
İsveç	0,055559319	0,350907319
Birleşik Krallık	0,023576669	0,028421378

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

Çin	0,008287901	0,010325939
Japonya	0,003327919	0,004795538
Rusya	0,202630764	0,208439471
Polonya	0,001310857	0,001310857
Fransa	0,002237088	0,002240579
Slovakya	0,01157809	0,00684118
İtalya	0,001217141	0,001670446
Kıbrıs	1	1
Litvanya	0,026203499	1
Letonya	0,022386104	1
Macaristan	0,08470422	0,168586636

DEA-Solver ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde CCR ve BCC modelleri ile elde edilen etkinlik değerlerinin Bulgaristan, Slovenya, Danimarka, Litvanya ve Letonya'ya ait etkinlik skorları dışında birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. BCC modeli, CCR modeline oranla daha fazla KVB' ni etkin olarak değerlendirmektedir. CCR modeli KVB' ni sabit getirili ölçeye göre değerlendirmekte; buna karşılık BCC modeli, artan veya azalan getirili ölçek durumlarını hesaba kattığı için BCC etkinlik değerleri, CCR etkinlik değerlerinden biraz daha yüksek çıkmıştır. Diğer bir ifadeyle, CCR' ın etkin olabilmesi için hem teknik hem de ölçek etkin olması gerekirken; BCC' nin etkin olabilmesi için sadece teknik etkin olması yeterlidir. Bu nedenle BCC modelinde daha fazla karar biriminin etkin çıktığı görülmektedir.

4.Sonuç

Bu çalışmada, veri zarflama analizi ile içinde Türkiye'nin de yer aldığı seçilmiş 21 ülkede ölçülen karbondioksit emisyon değerleri yardımıyla etkinlikleri ölçülmüştür. Analizler aynı girdi ve çıktı değişkenlerinin kullanıldığı çıktı yönlü CCR ve BCC modeli olmak üzere iki model bazında incelenmiştir.

Dünyada küresel ekonomik büyüme gelişmelerine paralel global elektrik enerjisi talebinin hızlanması temel yük kaynakları içerisinde kömür kullanan termik santraller, petrole dayalı elektrik santralleri kurulmasını zorunlu kılmaktadır. Son zamanlarda petrol ve doğalgaz fiyatlarının yükselmesi ise kömürlü kaynaklı elektrik santralleri yapımlarını ekonomik yönden daha cazip hale getirmektedir. Ülkeler ulusal enerji arz güvenliği zafiyeti içine düşmemek için kömüre dayalı termik santraller kanalıyla elektrik üretimi çaresine başvurmaları, küresel karbon emisyonları ve küresel karbondioksit salınımları oranlarının artmasına sebep teşkil etmektedir. Karbondioksit emisyonu arttıran

ana etkenler arasında enerjinin fosil yakıtlara bağımlı olması, toplu taşımaların az olması, yenilenebilir enerji kullanımının tam olarak uygulanmaması emisyon miktarını bugünkü düzeylere ulaştırmaktadır. Enerji bağımlılığını azaltabilmek için rüzgâr ve güneş enerjilerinin kullanıma teşvik edilmesi karbondioksit emisyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır. Bunun yanında orman alanları çoğaltılarak doğal fotosentez olayı ile atmosferdeki karbondioksit miktarının azaltılması sağlanabilmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında çıkan etkinlik sonuçlarına da bakılırsa sanayileşmeye bağlı olarak enerji üretim ve tüketiminin fazla olduğu ülkelerde karbondioksit emisyon miktarlarının fazla olduğu görülmektedir. Emisyon miktarı fazla olan ülkeler bunu azaltacak yönde önlemler geliştirmelidir. Nüfus ve sanayileşmenin az olduğu ülkelerde ise emisyon miktarının az olduğu görülmektedir.

5.Kaynakça

- Aslan, A. (2009). Kişi Başına Karbondioksit Emisyon Yakınsama Analizi: 1950-2004. Ege Akademik Bakış, 9(4), 1429.
- Aslanoğlu S. Y., Köksal M. A. (2011). Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi Ve Uzun Dönem Tahmini. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 19.
- Aytaç D. (2011). Türkiye’de Enerji Etkinliğini Sağlama ve Çevresel Kirlenmeyi Engellemede Enerji Üzerindeki Zımnı Vergi Oranlarının Etkisi. Maliye Dergisi Sayı 160, 392.
- Banker R.D., Charnes A., Cooper W. W. (1984). Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis. Management Science, September 1078-1092.
- Baysal, M. E ve ark. (2004). Veri Zarflama Analizi İle TCDD Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Üniv. Cilt 19, No 4, 438.
- Çınar, S. (2011). Gelir Ve Co₂ Emisyonu İlişkisi: Panel Birim Kök Ve Eşbütünleşme Testi. Uludağ Üniv. İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt/vol.XXX, Sayı/No, 71.
- Deveci K. İ. (2003). Veri Zarflama Analizi’ndeki Ağırlık Kısıtlamalarının Belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Sürecinin Kullanımı. D.E.Ü.İ.İ.B.F.Dergisi Cilt:18 Sayı:2, 1.
- Doğan, S (2005). Türkiye’nin Küresel İklim Değişiminde Rolü ve Önleyici Küresel Çabaya Katılım Girişimleri. C.U. İktisadi ve idari Bilimler Dergisi, Cilt 6, sayı 2, 58.
- Ertem M. E., Akar G. (2008). Endüstri İçin Pratik Co₂ Emisyonları (Fosil Yakıt Bazlı) Hesaplama Ve İzleme Yöntemleri. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES, 111.

Ülkeler Arası CO2 Emisyonunun Azaltılması Yönde Etkinlik Çalışması

- Golany, B ve Yu ,G. (1997). Theory and Methodology Estimating Returns to Scale in DEA. *European Journal of Operational Research*,103, 28-37.
- Greene D. L. ve Schafer A. (2003). Reducing Greenhouse Gas Emissions From U.S. Transportation. 1 Oak Ridge National Laboratory ;²Massachusetts Institute Of Technology, 3.
- Grubb M., Butler L. ve Feldman O. (2006). Analysis of the Relationship Between Growth in Carbon Dioxide Emissions and Growth in Income. 1. Associated Director of Policy, the UK Carbon Trust; Senior Research Associate, Department of Applied Economics, Cambridge University;Visiting Professor, Imperial College, London. 2. Department of Applied Economics, Cambridge University 3.David Simmonds Consultancy, Cambridge, 1.
- Güneş, T. (2006). Bulanık Veri Zarflama Analizi. Ankara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 28 ve 34.
- Hinchy M., Luan Ho Trieu L.H. ve Hanslow K. (1998). Technical Efficiency And Carbon Dioxide Emissions: An Analysis Of Production Data For 37 Industries In 30 Regions Of The World. Conference of Economists Economic Society of Australia University of Sydney, 1.
- Kayalidere, K ve Kargın, S. (2004). Çimento ve Tekstil Sektörlerinde Etkinlik Çalışması ve Veri Zarflama Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 6, say1, 203.
- Keçek, G. (2010). Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama Örneği. Ankara; 66.
- Kotil E., Eryiğit M., Konur F. (2009). Türkiye Ve Avrupa Birliği'nde CO₂ Emisyonu Ve Gelir İlişkisi. *Ekonomik Yaklaşım*, Cilt: 20, Sayı: 73, 55.
- Oruç, K ve ark. (2009). Üniversitelerin Etkinlik Ölçümünde Bulanık Veri Zarflama Analizi Uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 281.
- Oruç, K. O. (2008). Veri Zarflama Analizi İle Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri Ve Üniversitelerde Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yayınlanmış Doktora Tezi, 27.
- Oruç, K ve ark. (2009). Üniversitelerin Etkinlik Ölçümünde Bulanık Veri Zarflama Analizi Uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 281.
- Özcan E. R. ve Kayman S. (2008). Enerji Tüketimindeki Değişimin Küresel Isınmaya Etkisi Ve ABD, AB Ülkeleri, Japonya, Çin Ve Türkiye Karşılaştırması: 1980-2004, 1.
- Öztürk, M., Özek, N. ve Yüksel Y.E. (2010). Doğalgazdan Hidrojen Üretilmesi Ve Salınan Karbodioksitin Salınması. *V (2), No.2, 2.*

- Tetik, S. (2003). İşletme Performansını Belirlemede Veri Zarflama Analizi. Celal Bayar Üniversitesi, Salihli Meslek Yüksekokulu, İşletme Bölümü Yönetim Ve Ekonomi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 222.
- Say, N.P., Yücel, M. (2006). Energy Consumption and CO₂ Emission in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on Economic Growth. Energy Policy 34, 3870 - 3786.