



## Environmental efficiency analysis to ranking system for all units with undesirable input/output in DEA

Melike Kübra Ekiz Bozdemir<sup>ID</sup>, Selen Avcı Azkeskin<sup>ID</sup>, Gülşen Akman\*<sup>ID</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kocaeli University, 41380, Kocaeli, Türkiye

### Highlights:

- Proposing a new DEA-based approach for environmental efficiency
- Clustering for similar DMUs
- Measuring initial efficiency score and efficiency improvement

### Keywords:

- DEA
- Environmental efficiency
- Undesirable input/output
- Cross dependence
- Context dependent

### Article Info:

Research Article

Received: 15.04.2023

Accepted: 28.09.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1283649

### Correspondence:

Author: Gülşen Akman

e-mail:

akmang@kocaeli.edu.tr

phone: +90 262 303 3325

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a new Data Envelopment Analysis (DEA) based two-stage approach is proposed to evaluate the environmental efficiency of 38 developed and developing countries that have signed the Kyoto Protocol. The proposed approach, firstly, similar Decision-Making Units (DMUs) with specific performance level are clustered by creating efficient frontiers and can change with removing or adding DMU. Secondly, we measured the efficiency improvement which comprise of efficient DMUs in each cluster and inefficient DMUs. We ranked the clusters from smallest to largest while the final efficiency scores of DMUs from largest to smallest. We compared the proposed approach with different DEA models called Super Efficiency (SE), Du et al. as presented in Figure A.

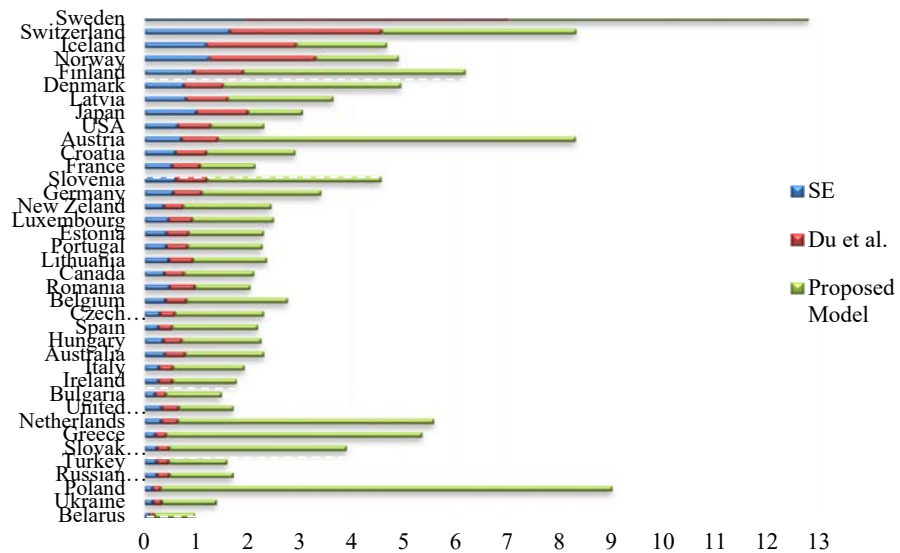


Figure A. Comparison of the Proposed Approach and Other Models

**Purpose:** This study measures the environmental efficiencies of some countries with a new two-stage DEA-based model.

**Theory and Methods:** In this study, similar DMUs are clustered and we measured the efficiency improvement. We handled the final efficiency score which is calculated by the initial efficiency score and the efficiency improvement.

**Results:** In the proposed approach, 38 countries divided into 7 clusters. There are some differences compared to other models in the ranking because of both the initial position and the efficiency improvement of the inefficient DMUs are considered.

**Conclusion:** We have discussed the initial positions of DMUs, their competitors in the dataset, their effects on other DMUs, and their clustering with similar DMUs. In addition, we have handled the undesirable inputs/outputs that are evaluated data transformation with a monotonous decreasing linear function, to measure of environmental efficiency.



## Veri zarflama analizinde istenmeyen girdi/çıktıya sahip tüm birimler için çevresel etkinlik değerlendirilmesine yeni bir model önerisi

Melike Kübra Ekiz Bozdemir<sup>ID</sup>, Selen Avcı Azkeskin<sup>ID</sup>, Gülşen Akman\*<sup>ID</sup>

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 41380, İzmit, Kocaeli, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Çevresel etkinlik için Veri Zarflama Analizi (VZA) tabanlı yeni bir yaklaşım önerisi
- Benzer Karar Verme Birimleri (KVB) için kümeleme
- Başlangıç etkinlik skorunun ve etkinlik iyileşmesinin ölçülmesi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.04.2023

Kabul: 28.09.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1283649

#### Anahtar Kelimeler:

Veri zarflama analizi,  
çevresel etkinlik,  
istenmeyen girdi/çıktı,  
çapraz bağımlılık,  
bağlam bağımlılık

#### ÖZ

Sanayi devrimi sonrasında hızlanan endüstriyel süreçler, artan nüfus, kentleşme, ormansızlaşma gibi etkenler başta küresel ısınma olmak üzere çeşitli çevresel sorunlara yol açmıştır. Bu çalışmada, Kyoto Protokolü'nü imzalamış gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çevresel etkinliklerinin değerlendirilmesi için yeni bir Veri Zarflama Analizi modeli önerilmiştir. Önerilen model ile benzer performansa sahip Karar Verici Birim (KVB)'ler etkin sınırlar oluşturularak kümelenebilir ve her kümede yer alan etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkinlik iyileşmesi ve tüm veri setinde yer alan etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi analiz edilmiştir. Önerilen modelin nihai etkinlik skoru KVB'lerin başlangıç pozisyonunu ifade eden başlangıç etkinlik skoru ile bütün KVB'ler üzerinde etkinlik iyileşmesinin toplamı ile elde edilmektedir. Son olarak kümelerin küçükten büyüğe sıralanması ve küme içerisinde yer alan KVB'lerin nihai etkinlik skorlarının büyükten küçüğe sıralanması ile tam sıralama elde edilmektedir. Çalışmanın uygulama aşamasında ise Kyoto Protokolünü imzalamış ve belirlenen girdi/çıktı bazında verilerine ulaşılabilen 38 ülkenin çevresel etkinliği önerilen model ile değerlendirilmiştir. Çevresel etkinlik değerlendirmesinde karşılaşılan istenmeyen girdi/çıktı sorunu için monoton azalan fonksiyon belirlenerek veri dönüşümü yapılmıştır. Önerilen model ile elde edilen sıralama literatürde var olan üç farklı model ile karşılaştırılmıştır. Önerilen model ile 7 küme tanımlanmış, İsveç, İsviçre, İzlanda ve Norveç etkinlik skoru en yüksek KVB'ler olarak 1.kümede yer almıştır.

## Environmental efficiency analysis to ranking system for all units with undesirable input/output in DEA

### H I G H L I G H T S

- A new approach proposal based on Data Envelopment Analysis (DEA) for environmental efficiency
- Clustering for Similar Decision Making Units (DMU)
- Measuring initial efficiency score and efficiency improvement

#### Article Info

Research Article

Received: 15.04.2023

Accepted: 28.09.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1283649

#### Keywords:

DEA,  
environmental efficiency,  
undesirable input/output,  
cross dependence,  
context dependent

#### ABSTRACT

Following the industrial revolution, factors such as accelerated industrial processes, increased population, urbanization, and deforestation contributed to a variety of environmental issues, particularly global warming. This study proposes a new Data Envelopment Analysis model to assess the environmental activities of developed and developing countries that have signed the Kyoto Protocol. Using the proposed model, Decision Making Units (DMUs) with similar performance were clustered by creating efficient boundaries, and the efficiency improvement of the effective DMUs in each cluster on each other, as well as the efficiency improvement on the ineffective DMUs in the entire data set, were examined. The final efficiency score of the proposed model is calculated by adding the initial efficiency score, which expresses the initial position of the DMUs, and the efficiency improvement over all DMUs. Finally, the full ranking is obtained by sorting the clusters from smallest to largest, as well as the final efficiency scores of the DMUs within each cluster, from largest to smallest. During the study's implementation phase, the environmental effectiveness of 38 countries that signed the Kyoto Protocol and whose data can be accessed based on determined input/output was assessed using the proposed model. The undesirable input/output problem encountered in environmental effectiveness evaluation was addressed by determining a monotonically decreasing function. The ranking obtained with the proposed model was compared to three different models found in the literature. The proposed model defined seven clusters, and Sweden, Switzerland, Iceland and Norway were in the 1st cluster as the DMUs with the highest efficiency scores.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : melike.ekiz@kocaeli.edu.tr, selen.avci@kocaeli.edu.tr, \*akmang@kocaeli.edu.tr /  
Tel: +90 262 303 3325

## 1. Giriş (Introduction)

Sanayi devrimi ile hızlanan endüstriyel süreçler fosil yakıtların tüketim miktarını da hızla arttırmıştır. Bunun yanında; dünyada nüfusun artması, kentleşme, ormansızlaşma ve arazi örtüsündeki tahribatlar atmosfere salınan sera gazı miktarını arttırmıştır. Sera gazı; başta karbondioksit ve karbonmonoksit (CO<sub>2</sub>, CO) olmak üzere nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>), kloroflorokarbonlar (CFC), sülfürik florür, metan, hidrokarbonlar, su buharı vb.'nin bileşiminden oluşur [1]. Sera gazı birikimi, 19. yüzyılın sonlarından itibaren küresel ısınmaya neden olmaya başlamıştır. Küresel ısınma, sera etkisi nedeniyle dünyanın yüzey ve çevre sıcaklığının artması anlamına gelir. 1980'li yıllardan itibaren hemen her yılın bir önceki yıla göre daha sıcak olması "küresel ısınma" kavramını endişe verici boyutlara ulaştırmıştır [2, 3].

İklim değişikliği konusunda uluslararası alanda ilk çözüm arayışları Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü ile başlamıştır. 1988 yılında düzenlenen Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change) ve 1990 yılında gerçekleştirilen İkinci Dünya İklim Konferansı (Second World Climate Conference) ile çözüm arayışı devam etmiştir. 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) konferansında kabul edilen UN Framework Convention on Climate Change (UNCCC) ise günümüze kadar uluslararası düzeyde iklim değişikliği ile ilgili olarak yapılan en kapsamlı sözleşme olmuştur [4].

155 ülke tarafından onaylanan UNCCC'ye göre, küresel sera gazı birikiminde en büyük pay gelişmiş ülkelere aittir. Gelişmekte olan ülkelerde ise kişi başına düşen salınım düşük düzeyde seyretse de ilerleyen yıllarda bunun artması söz konusudur. Sözleşmenin Ek-1 listesinde yer alan ülkeler sera etkisi yaratan gaz salınımlarını 1990 yılındaki düzeye çekmek için çaba gösterecektir. Ek 2'de yer alan ülkeler ise hem söz konusu gazların salınımı azaltacak hem de gelişmekte olan ülkelerin yükümlülüklerini yerine getirmesi için maddi ve teknik destek sağlayacaklardır. UNCCC önemli maddeler içerse de sözleşmede yer alan maddelerin yaptırım gücü yoktu. Bu konferansta alınan bir diğer karar gereği konuya ilişkin düzenli toplantılar devam edecekti. Bu bağlamda; 1995 yılında Birinci, 1996 yılında İkinci ve 1997 yılında Üçüncü Taraflar Konferansı (Conference of the Parties-COP) gerçekleştirildi [5].

Kyoto'da gerçekleştirilen 3. Taraflar Konferansı'nda imzalanan Kyoto Protokolü sera gazları salınımına ilişkin yaptırım gücüne sahip ilk belgedir. Protokolün en dikkat çekici maddesine göre, UNCCC'de Ek 1'de yer alan sanayileşmiş ülkeler 2008-2012 yılları arasında sera gazı

salınımlarını 1990 yılındaki düzeyin en az %5 aşağısına indireceklerdir. Protokolün yürürlüğe girebilmesi için protokolü onaylayan ülkelerin 1990 yılındaki emisyon miktarlarının toplamı yeryüzündeki toplam emisyon miktarının %55'ine ulaşmak durumundaydı. Bu nedenle, 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü ancak 2005 yılında Rusya'nın da katılımı ile yürürlüğe girmiştir [6].

Bu çalışmada, Kyoto Protokolü'nü imzalamış Tablo 1'de gösterilen Ek-1 ve Ek-2 ülkelerinin çevresel etkinliklerinin değerlendirilmesi için yeni bir Veri Zarflama Analizi (VZA) modeli önerilmiştir. VZA, etkinlik değerlendirilmesinde kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir [7]. VZA'da etkinliği değerlendirilen birimlere Karar Verme Birimi (KVB) denilmektedir ve bu KVB'lerin belirli girdiler kullanarak belirli çıktılar elde ettiği durumlar için girdi minimizasyonu ya da çıktı maksimizasyonu hedeflenmektedir [8]. VZA literatürde ilk olarak kâr amacı gütmeyen üniversite, hastane, askeri kurumlar gibi kurum ve kuruluşların etkinliğini ölçmekte kullanılmıştır [9, 10]. Rekabetin artması, etkinlik ve performans gibi kavramların gün geçtikçe önem kazanması sebebiyle zamanla özel kurum ve kuruluşların da VZA'ya olan ilgisi artmıştır [11-14]. Bunların yanı sıra son zamanlarda VZA çevre ile ilgili değerlendirmelerde de sıklıkla kullanılmaktadır [15].

Çevresel etkinlik değerlendirmesinde girdilerinin minimize edilmesi veya çıktıların maksimize edilmesi anlayışının dışına çıkmış ve bazı girdilerin maksimize edilmesi veya bazı çıktıların minimize edilmesi anlayışı ortaya çıkmıştır. Örneğin, atık, kirlenici (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, CFC...) ya da hatalı ürün gibi çıktıların minimizasyonu; hammadde olarak geri dönüştürülecek ürün gibi girdilerin maksimizasyonu. Literatürde istenmeyen (undesirable, bad) girdi/çıktı olarak isimlendirilen bu konu iki şekilde ele alınmıştır. Bunlardan birincisi veri dönüşümü yöntemi diğeri ise istenmeyen girdinin çıktı, istenmeyen çıktının ise girdi olarak ele alınmasıdır. İkinci durum gerçek hayatı yansıtmadığı için önerilmemektedir [16].

Çalışmada önerilen model ile öncelikle birbirine benzer veya yakın performansa sahip KVB'lerin göreceli etkinliklerini değerlendirmek adına farklı etkin sınırlar oluşturularak kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada her bir etkin sınır bir kümeyi ifade etmektedir ve bir KVB herhangi bir etkin sınırdan yer alacağından kendi kümesi içerisinde etkin KVB'dir. Ayrıca çalışmada, etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile hem etkin hem de etkin olmayan KVB'lerin etkinlik skorlarındaki artışı ifade eden etkinlik iyileşmesi kavramı dikkate alınmıştır. Burada etkin KVB'lerin kendi kümeleri içerisinde yer alan diğer etkin KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi ve tüm veri seti içerisinde yer alan etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi analiz edilmiştir. Son olarak her bir

**Tablo 1.** Ek-I ve Ek-II Ülkeleri (Annex-I and Annex-II countries)

| EK-I Ülkeleri   | EK-II Ülkeleri  |
|---|---|
| Sanayileşmiş Ülkeler: Almanya, ABD, AB, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Lüksemburg, Kanada, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan. Türkiye, Lihtenştayn, Monako. | Sanayileşmiş Ülkeler: Almanya, ABD, AB, Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İngiltere, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Lüksemburg, Kanada, Norveç, Portekiz, Yeni Zelanda, Yunanistan. |
| Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecinde Olan Ülkeler: Beyaz Rusya, Bulgaristan, Estonya, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Romanya, Rusya Federasyonu, Ukrayna, Çek Cumhuriyeti, Slovenya, Slovakya, Hırvatistan.   |   |

küme içerisinde yer alan KVB'nin nihai etkinlik skoru, eşit önemde kabul edilen etkinlik iyileşmesi ile başlangıç etkinlik skoru toplamından oluşmaktadır. Böylelikle literatürde önerilen modellerden farklı olarak KVB'ler sadece etkinlik iyileşmesi veya başlangıç etkinlik skoru ile değerlendirilmemiştir. Başlangıç etkinlik skoru ile KVB'nin veri setindeki ilk konumu göz önüne alınırken etkinlik iyileşmesi ile diğer KVB'lere etkisi ve benzer rakipleri ile arasındaki fark analiz edilmektedir. Çalışmanın uygulama kısmında ise Kyoto Protokolünü imzalamış ve verilerine ulaşılabilen 38 ülkenin çevresel etkinliği önerilen model ile değerlendirilmiş ve literatürde var olan 3 model ile karşılaştırılmıştır. Çevresel etkinlik değerlendirmesinde, ülkelerin gelişmişlik düzeyi benzer olmadığı ve Kyoto Protokolü'nde Ek-II ülkelerinin Ek-I ülkelerine teknoloji transferi ve finansal destek sağlaması sorumluluğu olduğundan dolayı ülkeleri hem gelişmişlik hem de teknoloji ve finansal açıdan değerlendirmek adına AR&GE harcamalarını istenmeyen girdi olarak değerlendirilmiştir. Literatür çalışması sonucunda belirlenen değişkenler istenmeyen girdi olarak yenilenebilir enerji tüketimi, çıktı olarak ormanlık alan ve kişi başına gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve istenmeyen çıktı olarak ise CO<sub>2</sub> emisyonudur. İstenmeyen girdi ve çıktılar için monoton azalan doğrusal fonksiyon ile veri dönüşümü sağlanmıştır.

Çalışma şu şekilde ilerlemektedir: Bölüm 2'de literatür taraması sunulmuş, Bölüm 3'te temel VZA modelleri ve önerilen yöntem için temel alınmış modellerden bahsedilmiştir. Bölüm 4'te önerilen model sunulmuştur. Bölüm 5'te ülkelerin çevresel etkinlikleri için belirlenen girdi ve çıktılar ile istenmeyen girdi ve çıktılar için veri dönüşümleri ile bulgular yer almaktadır. Son olarak Bölüm 6'da sonuçlar sunulmuştur.

## 2. Literatür Taraması (Literature Review)

Veri Zarflama Analizi (VZA) benzer girdiler kullanarak benzer çıktılar üreten alternatif birimlerinin göreceli etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan, parametrik olmayan ve doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir [17, 18]. İlk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından bir tez çalışması kapsamında geliştirilen CCR modeli ile literatüre giriş yapmıştır [19, 20]. CCR modelinde KVB etkin ve etkin olmayan olarak birbirinden ayrılabilmekte, etkin KVB'ler etkin sınırı oluştururken etkin olmayan KVB'ler için bir tercih sıralaması sunmaktadır. Fakat klasik modeller olarak adlandırılan, CRS (Constant Return to Scale) varsayımı altında CCR ve bu modele dışbükeylik kısıtının eklenmesi ile oluşan, VRS (Variable Return to Scale) varsayımı altında girdi ve çıktı odaklı çalışan Banker, Charnes ve Cooper tarafından önerilen BCC modeli [21], etkin KVB'ler için sıralama yapamamaktadır. Bundan dolayı zamanla literatürde etkin, etkin olmayan ve hem etkin hem de etkin olmayan KVB'leri ayırtmak ve belirli bir tercih sıralaması elde etmek adına birçok farklı model önerilmiştir [22-25].

Sinuany-Stern vd. [26] tarafından etkin olmayan KVB'ler için geliştirilmiş olan  $D_k$  modelinde etkinlik skoru yerine, KVB'nin etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB sayısı ölçülmektedir.  $n$  değerlendirmeye alınan KVB sayısı olmak üzere, etkin KVB'ler için elde edilen  $D_k$  değeri 0 iken etkin olmayan KVB'ler için bu değer 1 ile  $n-1$  arasındadır. Etkin olmayan KVB'ler için  $D_k$  değerinin düşük olması ilgili KVB'nin daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır.  $D_k$  modelinin en büyük dezavantajı ise veri setindeki kümelenmiş veya ayrık olarak konumlanmış olan KVB'ler için adil bir değerlendirme gerçekleştirememesidir. Etkin olmayan KVB'leri değerlendirmek için önerilen bir diğer model ise AES'tir. Köksalan ve Tuncer [27] tarafından önerilmiş olan AES modelinde, etkin olmayan KVB'nin etkinliği değerlendirilirken veri setinde yer alan diğer KVB'lerin birer birer çıkarılması ile etkinlik değişimi analiz edilmiştir. Etkin KVB'leri değerlendiremeyen AES modelinin

en büyük dezavantajı ise sadece etkin olmayan KVB'lerin etkin hale gelene kadarki etkinlik değişimini ele almasıdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak adına Ekiz ve Tuncer [28], etkin olmayan KVB'lerin etkin duruma gelmesinden sonra da etkinlik değişiminin incelenmesi adına ASES modelini önermişlerdir.

Hem etkin hem de etkin olmayan KVB'leri sıralamak adına Doyle ve Green [29] tarafından Çapraz Etkinlik (Cross Efficiency) modeli önerilmiştir. Çapraz Etkinlik modelinde, KVB'ler sadece kendi ağırlıkları ile değil veri setinde yer alan tüm KVB'lerin ağırlıkları ile değerlendirilmektedir. Tüm KVB'lerin ağırlıkları ile bir etkinlik değerlendirmesi söz konusu olduğundan veri seti içerisinde kümelenmiş olan KVB'ler yüksek etkinlik skorları elde ederken ayrı olarak konumlanmış KVB'ler düşük etkinlik skorları elde etmektedir. Etkin ve etkin olmayan KVB'leri değerlendirmek için Andersen ve Petersen [30] tarafından önerilen Süper Etkinlik (SE) modeli, etkin olmayan KVB'ler için klasik VZA modellerine dönüşmekte ve aynı etkinlik skorunu üretmektedir. Değerlendirme altında olan etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile var olan etkin sınır kırılmakta ve yeni etkin sınır oluşmaktadır. Oluşan yeni etkin sınırın dışında kalan etkin KVB'nin etkinlik skoru ise 1'in üzerine çıkmaktadır.

Jahanshahloo vd. [31] ise etkinlik değişimi kavramını etkin KVB'leri sıralamak için kullanmıştır. Çapraz Bağımlılık (Cross Dependence) olarak adlandırılan model, etkin bir KVB'nin veri setinden çıkarılması sonucunda etkin olmayan KVB'lerin etkinlik skorlarında gerçekleşen değişimi temel almaktadır. Etkin KVB'nin etkin olmayan KVB'lerden elde ettiği ortalama değişim skoru ne kadar yüksek ise ilgili KVB üst sıralarda kendine yer bulmaktadır. Etkin KVB'leri sıralayabilen Çapraz Bağımlılık modelinin dezavantajı ise sadece etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini değerlendirmesidir. Etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkileri veya etkinlik değişimlerini göz ardı etmektedir.

Seiford ve Zhu [32] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise bir KVB'nin diğer KVB'ler ile karşılaştırıldığında göreceli çekiciliğini ölçmek adına Bağlam Bağımlı (Context-Dependent) model önerilmiştir. Bağlam Bağımlı modelin temel mantığı etkin olan KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile başlangıçta etkin olmayan KVB'lerin yeni etkin sınırı (ikinci etkin sınır) oluşturmasıdır. Oluşan ikinci etkin sınırın veri setinden çıkarılması ile üçüncü etkin sınır oluşmaktadır. Veri setinde yeni etkin sınırı oluşturacak KVB kalmayana kadar model çalışmaktadır. Model ile veri seti çeşitli düzeylerde etkin sınırlar ile bölünmektedir. Böylelikle belirli bir seviyede ya da eşit performansla sahip KVB'ler, oluşan birden fazla etkin sınır ile ayrılmış bir diğer ifade ile kümelenmiş olmaktadır.

Çevresel etkinlik ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde girdilerin minimize edilmesi veya çıktılarının maksimize edilmesi klasik anlayışının dışına çıkıldığı görülmektedir. İstenmeyen girdi/çıktı olarak adlandırılan bu anlayışta, girdilerin maksimize edilmesi veya çıktılarının minimize edilmesi söz konusudur. İstenmeyen girdiye örnek olarak atık işleme sürecindeki atık miktarı ve bir işletmedeki enerji tüketiminin yenilenebilir olması verilebilir. İstenmeyen çıktı olarak ise hatalı ürün sayısı, kirletici madde (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) üretimi örnek olarak verilebilir. Çevresel etkinlik değerlendirilmesi için literatüre bakıldığında istenmeyen girdi/çıktı durumu ile ilgili çalışmalar oldukça fazladır. Bu çalışmalarda değerlendirilen girdi, çıktı ve istenmeyen çıktılar Tablo 2'de yer almaktadır.

Yang ve Pollitt [33] ise istenmeyen çıktı olarak CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını belirleyerek kömür ile çalışan enerji santrallerinin etkinliğini ölçmüştür. İstenmeyen çıktı olarak ele alınan CO<sub>2</sub> emisyonunun üretilmeden enerji üretilmeyeceğine değinilmiştir. Bir diğer ifade ile her çıktı üretiminde mutlaka istenmeyen çıktının da

**Tablo 2.** Literatürdeki bazı çalışmalara ait girdi, çıktı ve istenmeyen çıktılar  
(Inputs, outputs and undesirable outputs of some studies in the literature)

| Çalışma | Girdi   | Çıktı   | İstenmeyen çıktı   | Uygulama   |
|---------|---|---|--|--|
| [33]    | - yüklenmiş kapasite<br>- iş gücü<br>- yakıt  | - yıllık üretim                                 | -SO <sub>2</sub> emisyonu<br>-NO <sub>x</sub> emisyonu<br>-CO <sub>2</sub> emisyonu                | Kömür ile çalışan enerji santrallerinin çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi                                    |
| [34]    | - sermaye<br>- işgücü<br>- enerji   | - sanayi üretimi                                | - atıklar (atık gaz, atık su, sanayi artıkları)  | Çin'deki endüstri sektörünün enerji etkinliğinin değerlendirilmesi   |
| [35]    | - enerji tüketimi<br>- sosyal sabit varlık yatırımı   | -gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH)               | - katı, su ve gaz atıkları   | 2001–2010 döneminde Çin'in 30 eyaletindeki çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi                                 |
| [36]    | - işgücü<br>- yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi<br>- üretken sermaye stoku   | - GSYH  | -CO <sub>2</sub> emisyonu  | 20 OECD ülkesinin çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi  |
| [37]    | - jeneratör kapasitesi<br>- operasyon harcaması   | - üretim  | -SO <sub>2</sub> emisyonu  | Kömürle çalışan 23 santralin çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi   |
| [38]    | - tarım ürünlerinin ekildiği alan<br>- kırsal nüfus<br>- tarım makinelerinin toplam gücü<br>- kimyasal gübre tüketimi<br>- pestisit tüketimi<br>- tarımda kullanıma yönelik plastik film tüketimi                                     | - gayri safi tarımsal üretim<br>- tahıl çıktısı | - karbon emisyonları   | Çin'in 31 ilinde ekili arazi kullanım etkinliğinin değerlendirilmesi   |
| [39]    | - etkili sulama alanı<br>- petrol tüketimi<br>- doğal gaz tüketimi<br>- kömür tüketimi  | - kişi başına düşen GSYİH                       | - CO <sub>2</sub> emisyonu   | 29 ülke ve bölgenin enerji etkinliklerinin değerlendirilmesi   |
| [40]    | - sermaye<br>- iş gücü<br>- arazi alanı<br>- enerji<br>- su   | - bölgesel GSYİH                                | - atık su<br>-SO <sub>2</sub> emisyonu<br>- duman (toz) emisyonu                                   | 2003- 2018 döneminde Çin'de 286 eyaletin yeşil ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesi                             |
| [41]    | - çevre kirliliği kontrolü yatırımı<br>- Ar-Ge harcamaları<br>- işçi sayısı<br>- çevre arıtma tesisi sayısı   | - GSYİH   | - kirlilik indeksi   | 2007-2016 döneminde Yangtze Nehri havzasındaki mega şehirlerin ekolojik güvenlik etkinliklerinin değerlendirilmesi |
| [42]    | - rihtim uzunluğu<br>- çalışan sayısı<br>- tüketilen enerji<br>- terminal alanı   | - elleçlenen kargo<br>- gelen gemi sayısı       | - CO <sub>2</sub> emisyonu   | Kore'de bulunan 19 limanın çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi   |
| [43]    | - istihdam<br>- sermaye stoğu<br>- enerji tüketimi  | - kişi başına GSYİH                             | - endüstriyel egzoz emisyonları<br>- endüstriyel atıksu deşarjı<br>- endüstriyel katı atık deşarjı | 2007-2018 döneminde Çin'deki 30 eyaletin yeşil ekonomi etkinliğinin değerlendirilmesi                              |
| [44]    | - iş gücü<br>- yıllık su tüketimi<br>- sermaye stoğu<br>- enerji tüketimi   | - bölgesel GSYİH                                | - atık su<br>- katı atık<br>- CO <sub>2</sub> emisyonu<br>- SO <sub>2</sub> emisyonu               | 2005-2014 döneminde Çin'deki 30 eyaletin bölgesel çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi                          |
| [45]    | - işgücü<br>- sabit varlık yatırımı<br>- enerji tüketimi<br>- su tüketimi   | - bölgesel GSYİH<br>- kentsel yeşil alan        | - SO <sub>2</sub> emisyonu<br>- atıksu<br>- kurum ve toz emisyonu                                  | 2003-2016 döneminde Çin'deki 283 şehrin çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi                                    |
| [46]    | - sermaye stoğu<br>- iş gücü<br>- enerji tüketimi<br>- su tüketimi  | - endüstriyel brüt değer                        | - atık su<br>- atık gaz<br>- katı atık   | 2006-2015 döneminde Çin'deki 22 sektörün çevresel etkinliğinin değerlendirilmesi                                   |
| [47]    | - sabit sermaye<br>- insan sermayesi<br>- enerji tüketimi   | - bölgesel GSYİH                                | - CO <sub>2</sub> emisyonu   | 2007-20017 döneminde Çin'in enerji etkinliğinin değerlendirilmesi  |
| [48]    | -enerji etkinliği Ar-Ge harcaması<br>- fosil yakıt Ar-Ge harcaması<br>- yenilenebilir enerji Ar-Ge harcaması<br>- nükleer enerji Ar-Ge harcaması<br>- hidro ve tam hücreli Ar-Ge harcaması<br>- diğer güç ve depolama Ar-Ge harcaması |   | - CO <sub>2</sub> emisyonu   | 26 OECD ülkesinin enerji Ar-Ge harcamalarının etkinliğinin değerlendirilmesi                                       |

üretileceği vurgulanmıştır. Chen vd. [35], istenmeyen çıktı olarak katı, su ve gaz atıklarını ele alarak Seiford ve Zhu [16] tarafından önerilen monoton azalan dönüşüm fonksiyonunu kullanmıştır. Çin'de yer alan 30 ilin çevresel etkinliklerindeki iyileşmeyi analiz edebilmek adına 2001-2010 yılları arasında dikey farklılıklar incelenmiştir. Wu vd.

[49] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Çin'de yer alan 30 bölgenin etkinliğini değerlendirmek adına iki aşamalı model önerilmiştir. Girdiler ilk aşamada yer alırken istenmeyen çıktılar (katı, sıvı ve gaz atık) ikinci aşamanın girdisi olarak ele alınmıştır. Böylelikle istenmeyen çıktı ilk aşamanın çıktısı ve ikinci aşamanın

girdisi olarak değerlendirilmiştir. Liu vd. [37] tarafından gerçekleştirilen çalışmada SO<sub>2</sub> istenmeyen çıktısı göz önüne alınarak kömürle çalışan 23 santralin etkinliği Çapraz Etkinlik modeli ile değerlendirilmiştir. Apergis vd. [36] ise CO<sub>2</sub> istenmeyen çıktısını göz önüne alarak 20 OECD ülkesinin çevresel etkinliklerini Gevşek Tabanlı Model (Slacks Based Model-SBM) ile değerlendirmiştir. Li ve Shi [34] tarafından gerçekleştirilen çalışmada gaz, su ve endüstriyel atıklardan oluşan bir istenmeyen çıktı ele alınarak Çin'deki endüstri sektörünün enerji etkinliği geliştirilmiş Süper-SBM model ile değerlendirilmiştir. Kuang vd. [38] Çin'in 31 ilinde ekili arazi kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarını istenmeyen çıktı olarak ele almış, Tobit regresyon ve SBM modeli ile değerlendirmiştir. Zhao vd. [40] SO<sub>2</sub> emisyonu, duman ve toz emisyonu ve atık su istenmeyen çıktılarını kullanarak Çin'in yeşil ekonomik büyüme düzeyini yeni bir Metafrontier-Global-SBM süper etkinlik modeli ile analiz etmiştir. Du, Jiang ve Li [50] ise deniz çiftliği ekolojik etkinliğini istenmeyen çıktılar dikkate alan Süper-SBM modeli ile ölçmüştür. Lin vd. [39] bazı ülke ve bölgelerin enerji etkinliklerini analiz etmek için SBM'ye dayalı yeni bir model önermiş ve istenmeyen çıktı olarak CO<sub>2</sub> emisyonunu kullanmıştır. Liu vd. [41] istenmeyen çıktı olarak kirillik indeksini ele alarak Yangtze Nehri havzasındaki mega şehirlerin ekolojik güvenlik etkinliklerini SBM modeli ile değerlendirmiştir.

Sueyoshi ve Yuan [51] tarafından gerçekleştirilen çalışmada çevresel etkinlik değerlendirilmesinde daha önce dikkate alınmamış olan PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> miktarları istenmeyen çıktı olarak ele alınmıştır. Ozkan ve Ulutaş [52] ise Türkiye'de bulunan 11 çimento üretim tesisinin çevresel etkinliğini öncelikle istenmeyen çıktılar göz ardı ederek değerlendirmişlerdir. Daha sonrasında hastaneye uzaklık, okula uzaklık ve CO<sub>2</sub> emisyonu istenmeyen çıktılarını ekleyerek etkinlik değerlendirmesi gerçekleştirmişler ve büyük ölçüde farklılık olduğunu ortaya koymuşlardır.

### 3. VZA Modelleri (DEA Models)

Çalışma kapsamında iki aşamalı çıktı odaklı model önerildiğinden bu bölümde yer alan VZA modelleri çıktı odaklı olarak ifade edilmiştir. Aşağıda öncelikle klasik VZA modelleri için parametre ve karar değişkenleri tanımlanmış ve daha sonrasında ise çıktı odaklı CCR modeline yer verilmiştir [19]. Modelde değerlendirme altında olan KVB<sub>0</sub>'ın etkinlik skoru hesaplanmaktadır. *k* KVB sayısı olmak üzere,  $\theta_k$  etkinlik skorunu ifade etmektedir ve bir KVB'nin etkinlik skoru ne kadar büyük ise KVB o ölçüde tercih edilmektedir. Çıktı odaklı modeller açısından KVB'lerin etkinlik skorunun büyükten küçüğe sıralanabilmesi adına  $\beta_k$  yardımcı değişkeni tanımlanmıştır.

*Parametreler:*

*N* : KVB kümesi  
*M* : girdi kümesi  
*S* : çıktı kümesi  
*x<sub>ik</sub>* : KVB *k*'nin *i*. girdi değeri  
*y<sub>rk</sub>* : KVB *k*'nin *r*. çıktı değeri

*Karar Değişkenleri:*

$\theta_k$  : KVB *k*'nin etkinlik skoru  
 $\beta_k$  : KVB *k*'nin etkinlik skorunu elde etmek için kullanılan yardımcı değişken  
 $\lambda_k$  : KVB *k* için girdi ve çıktıların ağırlıklarını içeren matris

Eş. 1 ile gösterilen CCR modeline dışbükeylik kısıtının ( $\sum_{k \in N} \lambda_k = 1$ ) eklenmesi ile BCC modeli elde edilmektedir [21]. Klasik VZA modelleri olarak adlandırılan CCR ve BCC modelleri, etkin ve etkin

olmayan KVB'leri birbirinden ayırmakta, etkin olmayan KVB'ler için 0-1 arasında etkinlik skoru üretirken etkin KVB'ler için 1 etkinlik skorunu üretmekte ve bundan dolayı sıralama gerçekleştirememektedir.

(CCR Modeli)

$$\begin{aligned} \text{Maks } \theta_0 = 1/\beta_0 \\ \sum_{k \in N} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \quad \forall i \in M \\ \sum_{k \in N} \lambda_k y_{rk} \geq \beta_0 y_{r0} \quad \forall r \in S \\ \lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N \end{aligned} \quad (1)$$

Klasik VZA modellerinin etkin KVB'ler için bir sıralama gerçekleştirememesinden dolayı Andersen ve Petersen tarafından Süper Etkinlik (SE) [30] modeli geliştirilmiştir. SE modelinde, etkin sınırı oluşturan etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin sınırın kırılması ve yeni etkin sınırın oluşması söz konusudur. Etkinliği değerlendirilen KVB oluşan yeni etkin sınırın dışında kalarak etkinlik skorunu 1'in üzerine çıkarmaktadır. Etkin olmayan bir KVB etkin sınırdan yer alamayacağı için etkinlik skoru klasik modeller ile aynı olmaktadır. SE modeli Eş. 2'de gösterilmiştir.

(SE Modeli)

$$\begin{aligned} \text{Maks } \theta'_0 = 1/\beta'_0 \\ \sum_{k \in N - \{0\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \quad \forall i \in M \\ \sum_{k \in N - \{0\}} \lambda_k y_{rk} \geq \beta'_0 y_{r0} \quad \forall r \in S \\ \lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N \end{aligned} \quad (2)$$

SE modelinin en büyük dezavantajı ise değerlendirilen KVB'lerin sadece başlangıç konumlarının dikkate alınması sonucunda göreceli etkinlik skorları ile bir sıralama gerçekleştirmesidir. Bir diğer ifade ile KVB'lerin birbirleri üzerinde etkisi, etkinlik skorlarındaki değişimi veya iyileşmeyi, rakiplerini analiz edememesidir. Ayrıca etkin olmayan KVB'ler için klasik modeller ile aynı etkinlik skorunu üretmektedir.

Jahanshahloo vd. [31] ise etkin KVB'leri sıralamak adına Eş.3 ile gösterilen Çapraz Bağımlılık modelini önermişlerdir. İlgili model aşağıda yer almaktadır. Burada *J<sub>e</sub>* etkin KVB'ler kümesini ifade ederken *J<sub>n</sub>* ise etkin olmayan KVB'ler kümesini ifade etmektedir. Çapraz Bağımlılık modeli, etkin bir KVB'nin (*a* ∈ *J<sub>e</sub>*) veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan herhangi bir KVB'nin (*b* ∈ *J<sub>n</sub>*) etkinlik skorundaki değişimi baz almaktadır.

(Çapraz Bağımlılık Modeli)

$$\begin{aligned} \text{Maks } \delta_{b,a} \\ \sum_{k \in J_e - \{a\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{ib} \quad \forall i \in M \\ \sum_{k \in J_e - \{a\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{b,a} y_{rb} \quad \forall r \in S \\ \lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N - \{a\} \end{aligned} \quad (3)$$

Etkin KVB *a*'nın veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB *b*'nin etkinlik skoru ya yükselecek ya da aynı kalacaktır.  $\tilde{n}$  veri seti içerisinde yer alan etkin olmayan KVB sayısını ifade etmek üzere etkin KVB'leri sıralamak adına oluşturulmuş nihai etkinlik skoru

$\Omega_a$ 'nın ( $\Omega_a = \frac{\sum_{b \in J_n} \delta_{b,a}}{n}$ ) büyük değerler alması tercih sebebidir. Modelin en büyük dezavantajı sadece etkin KVB'leri sıralamanın yanı sıra etkin KVB'lerin birbirleri üzerinde etkilerinin analiz edilememesidir. Ayrıca  $a$ 'nın veri setinden çıkarılması ile  $b$ 'nin alabileceği maksimum etkinlik skoru 1'in üzerine çıkamayacağı için etkin sınıra ulaşan KVB'lerin etkinlik skorlarındaki değişim de tam olarak analiz edilememektedir.

Du vd. [53] ise öncelikle CCR modelini kullanarak etkin ve etkin olmayan KVB'leri birbirinden ayırmıştır. Etkin KVB'lerin etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkisini analiz etmek için Çapraz Bağlılık modelinden yararlanmışlardır. Fakat Jahanshahloo vd. gibi ortalama etkinlik skoru yerine etkinlik iyileşmesini dikkate almışlardır.  $\tau_a$ ,  $a$ 'nın etkinlik iyileşmesi olmak üzere  $\tau_a = \sum_{b \in J_n} \delta_{b,a} - \theta_b$ ,  $a \in J_e$  formülü ile hesaplanmıştır. Son olarak etkin KVB'lerin diğer etkin KVB'ler üzerindeki etkisini analiz edebilmek için Eş. 4'te gösterilen modeli önermişlerdir. Burada etkin bir diğer KVB'nin (c) veri setinden çıkarılması ile  $b$ 'nin etkinlik skoru ölçülmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Maks } \delta_{b,ac} \\ \sum_{k \in J_e - \{a,c\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{ib} \quad \forall i \in M \\ \sum_{k \in J_e - \{a,c\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{b,ac} y_{rb} \quad \forall r \in S \\ \lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in J_e - \{a,c\} \end{aligned} \quad (4)$$

Etkin bir diğer KVB olan  $c$ 'nin veri setinden çıkarılması ile  $a$ 'nın etkinlik iyileşmesi ise  $\tau_{c,a} = \sum_{b \in J_n} \delta_{b,ac} - \delta_{b,a}$  formülü ile hesaplanmaktadır.  $\pi_a$ ,  $a$ 'nın etkin KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesini ifade etmek üzere  $\pi_a = \sum_{c \in J_e - \{a\}} |\tau_{c,a} - \tau_c|$ ,  $a \in J_e$  formülü ile hesaplanmıştır.  $E_a = \tau_a + \pi_a$  etkin KVB'ler için nihai sıralama skoru iken etkin olmayan KVB'ler CCR skoru ile sıralanmaktadır. Du vd. tarafından önerilen modelin dezavantajı ise a çıkarıldıktan sonra  $b$ 'nin etkinlik skorunun 1 değerini alması durumunda,  $c$ 'nin etkinlik iyileşmesinin analiz edilememesidir. Bir diğer dezavantajı da etkin KVB'lerin sıralamasında sadece etkinlik iyileşmesinin dikkate alınmasıdır. Ayrıca modelde etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimine bakılmaksızın bu KVB'ler sadece CCR skoru ile sıralanmaktadır.

Seiford ve Zhu [32] ise var olan etkin sınırın veri setine eklenen veya veri setinden çıkarılan KVB'ler ile değişebileceğini ve bundan dolayı sadece bir etkin sınırın var olmaması gerektiğine değinmişlerdir. Birden fazla etkin sınırın oluşturulması ile benzer performansla sahip KVB'lerin göreceli olarak değerlendirilmesinin daha tutarlı olacağını vurgulamışlardır. Örneğin; orta ölçekli bir daire, küçük dairelerle çevrelendiğinde daha büyük, büyük dairelerle çevrelendiğinde ise daha küçük görünmektedir. Çalışmalarında örendikleri Bağlam Bağımlı model ile birbirine benzer ve daha yakın performansla sahip KVB'leri etkin sınırlar oluşturarak kümelemişlerdir. Öncelikle Eş. 5'te Bağlam Bağımlı model ve sonrasında ise işlem adımlarının daha net görülebilmesi adına algoritma yer almaktadır. Bağlam Bağımlı model,  $T^{l+1} = T^l - E^l$ ,  $E^l = \{k \in T^l | \vartheta_{l,0} = 1\}$  olmak üzere interaktif olarak güncellenmektedir.

(Bağlam Bağımlı Model)

$$\begin{aligned} \text{Maks } \vartheta_{l,0} \\ \sum_{k \in T^l} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \\ \sum_{k \in T^l} \lambda_k y_{rk} \geq \vartheta_{l,0} y_{r0} \\ \lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in T^l \end{aligned} \quad (5)$$

Burada  $l$  veri setinde oluşan her bir etkin sınırı ifade etmek üzere,  $l=1$  olması durumunda model CCR modeline dönüşmektedir.  $l=2$  olması durumunda ise birinci etkin sınıra bulunan KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile ikinci etkin sınır oluşmaktadır. Veri setinde KVB kalmayana kadar bu işlem tekrar edilmektedir. İlgili modele ait algoritma adımları ise şu şekildedir.

1.  $l=1$ , tüm KVB kümesi ( $T^1$ ) için Bağlam Bağımlı model çözülür.  $E^1 = \{k \in T^1 | \vartheta_{1,0} = 1\}$  olmak üzere birinci etkin küme elde edilir.
2.  $T^{l+1} = T^l - E^l$  olmak üzere  $T^{l+1} = \emptyset$  olana kadar iterasyona devam edilir.
3.  $E^{l+1}$  için  $T^{l+1}$  kümesi model ile değerlendirilir.
4.  $l=l+1$  olarak güncellenir ve Adım 2'ye gidilir.

#### 4.Önerilen Yöntem (The Proposed Method)

Çalışma kapsamında ele alınan çevresel etkinlik değerlendirmesi söz konusu olduğunda istenmeyen girdi/çıkıtı sorunu ortaya çıkmaktadır. İstenmeyen girdi/çıkıtı sorunun çözüme kavuşturulması için literatürde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşımları direkt ve dolaylı olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Direkt yaklaşımlardan biri, istenmeyen girdinin çıktı veya istenmeyen çıktının girdi olarak değerlendirilmesidir [54]. Fakat Seiford ve Zhu [16] tarafından gerçekleştirilen çalışmada bu yaklaşımın gerçek üretim sürecini yansıtmayacağına ve dolayısı ile doğru bir değerlendirme gerçekleştirilemeyeceğine değinilmiştir. Dolaylı yaklaşımlar incelendiğinde ise istenmeyen girdi/çıkıtların monoton azalan bir fonksiyon yardımı ile dönüştürüldüğü görülmektedir. Örneğin; Koopmans [55] tarafından gerçekleştirilen çalışmada,  $U$  istenmeyen girdi/çıkıtı değerleri olmak üzere,  $f(U) = -U$  dönüşümü uygulanmıştır. Bu monoton azalan dönüşüm fonksiyonun en büyük dezavantajı, verilerin dönüşüm sonrası negatif değerler almasıdır. Bundan dolayı etkinlik değerlendirmesinde negatif verileri göz önüne alan modeller tercih edilmelidir. Ali ve Seiford [56] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise  $f_i^k(U) = -u_i^k + \beta_i$  dönüşümü önerilmiştir. Burada  $i$  istenmeyen girdi/çıkıtı sorununun çözümü için ilgili dönüşüm fonksiyonunun pozitif değer alabilmesi için  $\beta$ 'nin yeterince büyük bir skaler sayı olması gerekmektedir. Bu dönüşüm fonksiyonun en büyük dezavantajı ise farklı  $\beta$  değerlerine göre KVB'lerin etkinlik skorlarının ve buna bağlı olarak sıralamalarının değişmesidir. Lovell vd. [57] ise OECD ülkelerinin etkinliklerini değerlendirmek adına  $f_i^k(U) = 1/u_i^k$  dönüşümünden yararlanmışlardır. Çalışma kapsamında istenmeyen girdi/çıkıtı sorununun çözümü için önerilen modele daha uygun olduğu düşünülen  $f_i^k(U) = 1/u_i^k$  dönüşüm fonksiyonu tercih edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde çevresel etkinlik değerlendirmesi için önerilen model yer almaktadır. Önerilen modelin detaylı açıklamasına geçilmeden önce bir önceki bölümde verilen modellerin dezavantajları özetlenecek olursa, SE modeli etkin ve etkin olmayan KVB'ler için tam sıralama gerçekleştirilmekte fakat KVB'lerin sadece başlangıç konumlarını dikkate alarak etkinlik değerlendirmesi sunmaktadır. Bir diğer ifade ile KVB'lerin birbirleri üzerinde etkisi, etkinlik skorlarındaki değişimi veya iyileşmeyi, rakiplerini analiz etmemektedir. Ayrıca etkin olmayan KVB'ler için klasik modeller ile aynı etkinlik skorunu üretmektedir. Bir diğer model olan Çapraz Bağlılık ise sadece etkin KVB'ler için sıralama sunmanın yanı sıra etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkilerini de analiz edememektedir. Ayrıca etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin alabileceği maksimum etkinlik skoru 1 ile sınırlandırıldığından dolayı etkinlik değişimi de tam olarak analiz edilememektedir. Son olarak Du vd. tarafından önerilen modelde, etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB maksimum etkinlik skoru olan 1 değerini alabilmekte ve bir diğer etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması sonucunda etkinlik

iyileşmesi analiz edilememektedir. Ayrıca modelde etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimine bakılmaksızın bu KVB'ler sadece CCR skoru ile sıralanmaktadır. Bu çalışmada SE, Çapraz Bağımlık ve Du vd. modellerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak üzere bir model önerilmiştir. Önerilen model ile öncelikle birbirine benzer veya yakın performansa sahip KVB'lerin göreceli etkinliklerini değerlendirmek adına farklı etkin sınırlar oluşturularak kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada Bağlam Bağımlı modelde olduğu gibi her bir etkin sınır bir kümeyi ifade etmektedir ve her bir KVB kendi kümesi içerisinde etkin KVB'dir. Ayrıca önerilen model ile hem etkin KVB'lerin kendi kümeleri içerisinde yer alan diğer etkin KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi hem de etkin KVB'lerin tüm veri seti içerisinde yer alan etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi analiz edilmiştir. Son olarak her bir küme içerisinde yer alan KVB'nin nihai etkinlik skoru, tüm KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi ile başlangıç etkinlik skoru toplamından oluşmaktadır. Böylelikle literatürde önerilen modellerden farklı olarak KVB'ler sadece etkinlik iyileşmesi veya başlangıç etkinlik skoru ile değerlendirilmemiştir. Başlangıç etkinlik skoru ile KVB'nin veri setindeki ilk konumu göz önüne alınırken etkinlik iyileşmesi ile diğer KVB'lere etkisi ve benzer rakipleri ile arasındaki fark analiz edilmektedir.

Eş. 6 ile verilen "önerilen model" Bağlam Bağımlı ve Çapraz Bağımlılık modellerini temel almaktadır. Klasik VZA modellerini baz alan Bağlam Bağımlı ve Çapraz Bağımlılık modelleri etkin olmayan KVB'leri sıralamaktadır. Çalışmamızda önerilen model ise SE anlayışı ile hem etkin hem de etkin olmayan KVB'leri sıralayabilmektedir. Ayrıca etkin ve etkin olmayan KVB'leri benzerliklerine göre kümeleme özelliğine sahiptir. Aşağıda önerilen model yer almaktadır. Burada  $l$  etkin sınır sayısını,  $z$  ise ilgili etkin sınırdaki etkin KVB'yi ifade etmek üzere  $T^{l+1} = T^l - E^l, E^l = \{k \in T^l | \phi'_{l,zk} \geq 1\}$  interaktif olarak güncellenmektedir.

(Önerilen Model)

$$\begin{aligned} \text{Maks } \phi'_{l,zk} &= 1/\rho'_{l,zk} \\ \sum_{k \in T^l - \{z,0\}} \lambda_k x_{ik} &\leq x_{i0} \\ \sum_{k \in T^l - \{z,0\}} \lambda_k y_{rk} &\geq \rho'_{l,zk} y_{r0} \\ \lambda_k &\geq 0 \quad \forall k \in T^l - \{0, z\} \end{aligned} \quad (5)$$

Etkin sınırdaki yer alan  $z$  ve etkinliği değerlendirilen  $KVB_0$ 'ın veri setinden çıkarılması ile var olan etkin sınır kırılmakta ve etkin KVB'ler  $l$ 'in üzerinde etkinlik skoruna sahip olabilmektedirler. Böylelikle hem etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkinlik iyileşmeleri hem de etkin KVB'lerin etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmeleri direkt olarak analiz edilebilmektedir. Bir diğer ifade ile Du vd. [53] tarafından gerçekleştirilen çalışmada olduğu üzere etkin bir diğer KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin etkinlik iyileşmesini analiz etmeye gerek duyulmamaktadır. Ayrıca önerilen model, etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin yeni etkinlik skorunu  $l$ 'in üzerine çıkarabilmekte ve dolayısı ile daha detaylı bir analiz sunmaktadır [31, 53].

Önerilen modele ait algoritma adımları ise şu şekildedir.

1.  $l=1$ , tüm KVB kümesi ( $T^1$ ) için önerilen model çözülür.
  - a.  $E^1 = \{k \in T^1 | \phi'_{1,kk} \geq 1\}$  olmak üzere birinci etkin küme elde edilir. Tüm  $z \in E^1$  için  $\phi'_{1,zk}$  değerleri bulunur.
  - b.  $E^1$  kümesindeki  $z$ 'nin nihai etkinlik skoru  $E_z = \sum_{k=1}^n (\phi'_{1,zk} - \phi'_{1,kk}) + \phi'_{1,zz}$  hesaplanarak büyükten küçüğe sıralanır.

2.  $T^{l+1} = T^l - E^l$  olmak üzere  $T^{l+1} = \emptyset$  olana kadar iterasyona devam edilir.

- a.  $E^l = \{k \in T^l | \phi'_{l,kk} \geq 1\}$  olmak üzere etkin küme elde edilir. Tüm  $z \in E^l$  için  $\phi'_{l,zk}$  değerleri bulunur.
- b.  $E^l$  kümesindeki  $z$ 'nin nihai etkinlik skoru  $E_z = \sum_{k=1}^n (\phi'_{l,zk} - \phi'_{l,kk}) + \phi'_{l,zz}$  hesaplanarak büyükten küçüğe sıralanır.

3.  $l=l+1$  olarak güncellenir ve Adım 2'ye gidilir.

Burada  $l$  veri setinde oluşan her bir etkin sınırı ifade etmek üzere,  $l$ 'yi oluşturan KVB'leri analiz etmek adına model öncelikle  $\phi'_{l,kk}$  olarak çalıştırılmaktadır. Bir diğer ifade ile  $l=1$  değerini aldığı anda etkinliği değerlendirilen her bir KVB'nin veri setinden çıkarılması ile başlangıç etkinlik skorları bulunarak birinci etkin sınır kümesi oluşturulmaktadır ( $E^1 = \{k \in T^1 | \phi'_{1,kk} \geq 1\}$ ). İlgili etkin sınırdaki yer alan  $z$  ve etkinliği değerlendirilen KVB'nin veri setinden çıkarılması ile  $\phi'_{l,zk}$  değerleri bulunur.  $z$ 'nin tüm KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi  $\sum_{k=1}^n (\phi'_{l,zk} - \phi'_{l,kk})$  formülü ile hesaplanır ve başlangıç skoru ( $\phi'_{l,zz}$ ) eklenerek nihai etkinlik skoru elde edilir. Yukarıda yer alan işlem adımlarına veri setinde KVB kalmayana kadar devam edilir. Son olarak her bir küme için nihai etkinlik skoru büyükten küçüğe sıralanır ve küme numarasının ( $l$ ) ise küçükten büyüğe sıralanması ile tam sıralama elde edilmektedir.

## 5. Vaka Çalışması (Case Study)

Çalışmanın bu bölümünde Kyoto Protokolünü imzalamış olan ülkelerin (Ek-1 ve Ek-2) çevresel etkinlikleri önerilen model ile değerlendirilmiştir. Çevresel etkinlik değerlendirmesi söz konusu olduğunda karşılaşılan istenmeyen girdi/çıkıtı sorununun çözümü için bir önceki bölümde belirtilmiş olan monoton azalan dönüşüm fonksiyonu ( $f_i^k(U) = 1/u_i^k$ ) tercih edilmiştir. Ayrıca Ek-1 ve Ek-2 ülkelerinin net bir şekilde ayrılamaması, her iki grupta da yer alan ülkelerin olması, ilgili ülkelerin büyüklüklerinin, gelişmişlik seviyelerinin, üretim miktarlarının ve teknolojilerinin birbirinden oldukça farklı olması sebebi ile önerilen modele kümeleme özelliği entegre edilmiştir. Her bir kümede yer alan etkin KVB'nin diğer etkin KVB'ler ve tüm veri seti içerisinde yer alan etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesi ölçülmüştür. Son olarak nihai etkinlik skoru, KVB'lerin başlangıç konularını ifade eden başlangıç etkinlik skoru ve hem etkin hem de etkin olmayan KVB'ler üzerindeki etkinlik iyileşmesinin toplamından elde edilmiştir. Her bir küme içerisinde yer alan etkin KVB'ler için nihai etkinlik skorunun büyükten küçüğe sıralanması ile tam bir sıralama elde edilmiştir.

Kyoto Protokolünün temel amacı sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğinin en büyük sebeplerinden biri olan artan sıcaklığı düşürmektir. Çalışma kapsamında protokolü imzalamış olan 38 ülkenin çevresel etkinlik değerlendirmesi için Tablo 3'te yer alan girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen istenmeyen girdilerden biri AR&GE harcamalarıdır. Normal şartlar altında etkinlik değerlendirmesi için bir girdi olan harcamanın olabildiğince minimize edilmesi istenmektedir. Fakat AR&GE harcamaları ülkelerin en büyük gelişmişlik göstergelerinden biri olduğundan çevresel etkinlik değerlendirmesinde maksimize edilmek istenmiş ve istenmeyen girdi olarak ele alınmıştır. Bir diğer istenmeyen girdi olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin tüketimine ağırlık verilmesi durumunda sera gazı emisyonu azalmış olacak ve bunun doğal sonucu olarak iklim değişikliği, kuraklık, aşırı yağışlar, doğal afetler gibi olayların azalması sağlanabilecektir. Bir ülkenin yenilenebilir enerji tüketimini artırması durumu maksimize edilmek istenen bir durum olduğundan dolayı bu girdi istenmeyen girdi olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen çıktılar ise ormanlık alan, kişi başına Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) ve CO<sub>2</sub> emisyonudur. Sera gazı emisyonlarının azaltılması istenildiğinde



**Tablo 3.** Çevresel etkinlik değerlendirmesinde belirlenen girdiler/çıktılar (Identified inputs/outputs for environmental efficiency assessment)

| İstenmeye Girdiler            | Çıktılar                        | İstenmeyen Çıktı         |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Ar&Ge harcamaları             | Ormanlık alan Kişi başına GSYİH | CO <sub>2</sub> emisyonu |
| Yenilenebilir enerji tüketimi |                                 |                          |

**Tablo 4.** Önerilen model ile elde edilen kümeler (Clusters obtained from the proposed model)

| Kümeler | Ülkeler   |
|---------|---|
| 1.küme  | İsveç, İsviçre, İzlanda, Norveç   |
| 2.küme  | Finlandiya, Danimarka, Letonya, Japonya, ABD  |
| 3.küme  | Avusturya, Hırvatistan, Fransa  |
| 4.küme  | Slovenya, Almanya, Yeni Zelanda, Lüksemburg, Estonya, Portekiz, Litvanya, Kanada, Romanya                 |
| 5.küme  | Belçika, Çek Cumhuriyeti, İspanya, Macaristan, Avustralya, İtalya, İrlanda, Bulgaristan, Birleşik Krallık |
| 6.küme  | Yunanistan, Hollanda, Slovak Cumhuriyeti, Türkiye, Rusya Federasyonu                                      |
| 7.küme  | Polonya, Ukrayna, Belarus   |

**Tablo 5.** Etkinlik skorları ve sıralamalar (Efficiency scores and rankings)

| Ülke adı           | SE             |          | Çapraz Bağımlılık |          | Du vd.         |          | Önerilen model |          |        |
|--------------------|----------------|----------|-------------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|--------|
|                    | Etkinlik skoru | Sıralama | Etkinlik skoru    | Sıralama | Etkinlik skoru | Sıralama | Etkinlik skoru | Sıralama | Küme   |
| İsveç              | 1,949          | 1        | 0,525             | 1        | 5,066          | 1        | 5,775          | 1        | 1.küme |
| İsviçre            | 1,647          | 2        | 0,492             | 2        | 2,929          | 2        | 3,744          | 2        | 1.küme |
| Norveç             | 1,258          | 3        | 0,433             | 3        | 2,048          | 4        | 1,596          | 4        | 1.küme |
| İzlanda            | 1,195          | 4        | 0,432             | 4        | 1,743          | 3        | 1,737          | 3        | 1.küme |
| Japonya            | 0,999          | 5        | -                 | -        | 0,999          | 5        | 1,050          | 9        | 2.küme |
| Finlandiya         | 0,952          | 6        | -                 | -        | 0,952          | 6        | 4,277          | 5        | 2.küme |
| Letonya            | 0,802          | 7        | -                 | -        | 0,802          | 7        | 2,045          | 7        | 2.küme |
| Danimarka          | 0,759          | 8        | -                 | -        | 0,759          | 8        | 3,427          | 6        | 2.küme |
| Avusturya          | 0,711          | 9        | -                 | -        | 0,711          | 9        | 6,888          | 10       | 3.küme |
| ABD                | 0,641          | 10       | -                 | -        | 0,641          | 10       | 1,022          | 9        | 2.küme |
| Slovenya           | 0,606          | 11       | -                 | -        | 0,606          | 11       | 3,357          | 13       | 4.küme |
| Hırvatistan        | 0,599          | 12       | -                 | -        | 0,599          | 12       | 1,718          | 11       | 3.küme |
| Almanya            | 0,553          | 13       | -                 | -        | 0,553          | 13       | 2,303          | 14       | 4.küme |
| Fransa             | 0,534          | 14       | -                 | -        | 0,534          | 14       | 1,072          | 12       | 3.küme |
| Romanya            | 0,486          | 15       | -                 | -        | 0,486          | 15       | 1,071          | 21       | 4.küme |
| Litvanya           | 0,469          | 16       | -                 | -        | 0,469          | 16       | 1,422          | 19       | 4.küme |
| Lüksemburg         | 0,464          | 17       | -                 | -        | 0,464          | 17       | 1,567          | 16       | 4.küme |
| Estonya            | 0,428          | 18       | -                 | -        | 0,428          | 18       | 1,452          | 17       | 4.küme |
| Portekiz           | 0,420          | 19       | -                 | -        | 0,420          | 19       | 1,437          | 18       | 4.küme |
| Belçika            | 0,407          | 20       | -                 | -        | 0,407          | 20       | 1,948          | 22       | 5.küme |
| Avustralya         | 0,394          | 21       | -                 | -        | 0,394          | 21       | 1,525          | 26       | 5.küme |
| Kanada             | 0,383          | 22       | -                 | -        | 0,383          | 22       | 1,351          | 20       | 4.küme |
| Yeni Zelanda       | 0,375          | 23       | -                 | -        | 0,375          | 23       | 1,698          | 15       | 4.küme |
| Macaristan         | 0,361          | 24       | -                 | -        | 0,361          | 24       | 1,530          | 25       | 5.küme |
| Birleşik Krallık   | 0,333          | 25       | -                 | -        | 0,333          | 25       | 1,056          | 30       | 5.küme |
| Hollanda           | 0,326          | 26       | -                 | -        | 0,326          | 26       | 4,934          | 31       | 6.küme |
| Çek Cumhuriyeti    | 0,297          | 27       | -                 | -        | 0,297          | 27       | 1,716          | 23       | 5.küme |
| İtalya             | 0,278          | 28       | -                 | -        | 0,278          | 28       | 1,372          | 27       | 5.küme |
| İrlanda            | 0,272          | 29       | -                 | -        | 0,272          | 29       | 1,237          | 28       | 5.küme |
| İspanya            | 0,269          | 30       | -                 | -        | 0,269          | 30       | 1,655          | 24       | 5.küme |
| Rusya Federasyonu  | 0,243          | 31       | -                 | -        | 0,243          | 31       | 1,227          | 35       | 6.küme |
| Slovak Cumhuriyeti | 0,242          | 32       | -                 | -        | 0,242          | 32       | 3,421          | 33       | 6.küme |
| Türkiye            | 0,235          | 33       | -                 | -        | 0,235          | 33       | 1,130          | 34       | 6.küme |
| Yunanistan         | 0,212          | 34       | -                 | -        | 0,212          | 34       | 4,934          | 31       | 6.küme |
| Bulgaristan        | 0,208          | 35       | -                 | -        | 0,208          | 35       | 1,073          | 29       | 5.küme |
| Ukrayna            | 0,168          | 36       | -                 | -        | 0,168          | 36       | 1,058          | 37       | 7.küme |
| Polonya            | 0,159          | 37       | -                 | -        | 0,159          | 37       | 8,693          | 36       | 7.küme |
| Belarus            | 0,097          | 38       | -                 | -        | 0,097          | 38       | 0,785          | 38       | 7.küme |

karşımıza çıkan ilk önlemlerden biri ormanlık alanların çoğaltılması uygulamasıdır. Bundan dolayı ülkelerin ormanlık alanlarının toplam arazi alanına göre yüzdesi değerlendirmeye alınarak hem ülkelerin yüz ölçümleri hem de yüz ölçümlerine göre sahip oldukları ormanlık alan değerlendirilmiştir. Bir diğer çıktı olan kişi başına GSYİH (\$/kişi) ise bir ülkenin ekonomik olarak gelişmişliğini ifade etmektedir. İstenmeyen çıktı olarak ele alınan CO<sub>2</sub> emisyonu ise sera

gazı emisyonunun büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Sera gazı emisyonunu azaltmak adına CO<sub>2</sub> emisyonunda olabildiğince azaltılması gerekmektedir.

Tüm girdi ve çıktıların verilerine ulaşılabilen en yakın tarih olan 2015 yılı için değerlendirme gerçekleştirilmiştir. İlgili veriler "World Bank

Open Data” internet sitesinden elde edilmiştir [58]. 38 ülkenin çevresel etkinlik değerlendirmesi SE, Çapraz Bağımlılık, Du vd. ve önerilen model ile değerlendirilmiştir ve önerilen model ile 7 etkin sınır elde edilerek benzer yapıya ve performansa sahip ülkeler kümelendirilmiştir. Kümeler Tablo 4’te, elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar ise Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablolara göre SE, Du vd. ve önerilen model ile etkin ve etkin olmayan KVB’ler sıralanabilirken Çapraz Bağımlılık modeli ile sadece etkin KVB’ler sıralanabilmektedir. Tüm modellerin etkinlik sıralamasında 1. ve 2. sırada sırası ile İsveç ve İsviçre yer almaktadır. SE ve Çapraz Bağımlılık modelinde 3.sırada Norveç ve 4.sırada İzlanda yer alırken etkin KVB’ler üzerinde etkinlik iyileşmesini dikkate alan Du vd. ve önerilen modelde sıralama tam tersidir. SE ve Du vd. modelinde 5.sırada yer alan Japonya yüksek başlangıç etkinlik skoruna sahip olmasına rağmen etkinlik iyileşmesi az olduğundan dolayı önerilen modelde 9.sırada yer almıştır. 2.kümede yer alan Danimarka’nın ise başlangıç etkinlik skoru ve etkinlik iyileşmesi tam tersidir. Benzer durumlar Romanya, Avustralya, Yeni Zelanda, Birleşik Krallık, Hollanda, İspanya, Bulgaristan için de geçerlidir. Önerilen model ile Romanya, Avustralya, Birleşik Krallık (İngiltere), İskoçya, Galler ve Kuzey İrlanda) ve Hollanda daha geri sıralarda; Yeni Zelanda, İspanya ve Bulgaristan daha ön sıralarda yer almıştır. Ayrıca tüm modellerde Belarus son sırada yer almaktadır. Etkin ve etkin olmayan KVB’leri sıralayabilen SE, Du vd. ve önerilen model ile elde edilen sıralamalar arasındaki sıralı ilişkiyi ölçmek için Kendall’s Tau sıra korelasyon katsayısından yararlanılmıştır. SE ve önerilen model arasındaki Kendall’s Tau sıra korelasyon katsayısı 0,845 iken Du vd. ve önerilen model arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,848 olarak bulunmuştur.

## 6. Sonuçlar (Conclusions)

Kyoto Protokolü çevresel etkinliğin artırılması ve çevreye salınan zararlı gaz miktarlarının azaltılması ile küresel ısınma, doğal afet, kuraklık ve bu durumlara bağlı olarak gerçekleşen göçlerin önüne geçmek adına imzalanmış uluslararası geçerliliği olan bir anlaşmadır. Çevre sorunları ile başarılı bir şekilde mücadele etmek için Dünya ülkelerinin bir bütün olarak iş birliği yapması gerekmektedir. Sadece belirli ülkelerin etkin olması veya etkinliklerini sürdürmesi yeterli değildir. Bunun yanı sıra bu ülkelerin gelişmeye ihtiyacı olan ülkelere daha fazla teknoloji transferi ve maddi destek sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Kyoto Protokolü’nü imzalamış ülkelerin çevresel etkinliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Kyoto Protokolü’nü imzalamış ülkeler Ek-1 ve Ek-2 olarak birbirinden ayrılmaktadır. Ek-1 grubunda yer alan ülkeler gelişmekte olan ülkeler; Ek-2 grubunda yer alan ülkeler ise gelişmiş ve sanayileşmiş ülkeler olarak adlandırılmaktadır. Protokole göre Ek-2 grubunda yer alan ülkeler Ek-1 grubunda yer alan ülkelere maddi olarak da destek olmakla yükümlü tutulmaktadır. Ülkeler gelişmişlik düzeyi, sanayiye verilen önem, üretim teknolojileri vb. farklılıklarından dolayı heterojen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle önerilen modele benzer KVB’lerin birlikte değerlendirilmesi adına kümeleme özelliği entegre edilmiştir. Kümeleme sonuçlarına göre daha üst kümelere yer alan ülkelerin düşük kümelere yer alan ülkelere destek sağlaması gerektiği söylenebilir. Ayrıca önerilen model ile etkin sınırlar oluşturularak kümelenen etkin KVB’lerin hem birbirleri üzerindeki hem de tüm veri seti içerisinde yer alan etkin olmayan KVB’ler üzerindeki etkisi veya etkinlik iyileşmesi değerlendirilmektedir. Etkin KVB’lerin birbirleri üzerindeki etkinlik iyileşmesi veya etkin olmayan KVB’nin etkin duruma geldikten sonraki etkinlik değişimi önerilen modele SE anlayışının entegre edilmesi ile analiz edilebilmiştir. Kümeleme özelliğinin yanı sıra bu özelliği ile de literatürde var olan modellerden farklılık göstermektedir. Ayrıca nihai

etkinlik skorunda hem başlangıç etkinlik skorunu hem de toplam etkinlik iyileşmesini dikkate almaktadır. Böylelikle önerilen model ile KVB’lerin başlangıç pozisyonları, veri seti içerisindeki rakipleri, diğer KVB’lere etkileri, benzer KVB’ler ile kümelendirmeleri birlikte ele alınmıştır. Ayrıca çevresel etkinlik ölçümünde karşımıza çıkan istenmeyen girdi/çıkıtları için uygulanan yöntemler sunularak, monoton azalan doğrusal fonksiyon ile veri dönüşümü sağlanmıştır.

## Kaynaklar (References)

1. Koçoğlu E., Gökçalp L., Türkiye’de küresel ısınma alanında yapılan lisansüstü tezlerin analizi: Bir meta sentez çalışması, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26 (56), 129-142, 2021.
2. Aizebeokhai A. P., Global warming and climate change: Realities, uncertainties and measures, *International Journal of Physical Sciences*, 4 (13), 868-879, 2009.
3. Gülsoy E., Korkmaz M., Üniversite öğrencilerinin sosyo-ekonomik özelliklerinin küresel ısınma ve iklim değişikliği algıları üzerine etkileri, *Turkish Journal of Forestry*, 21 (4), 428-437, 2020.
4. World Meteorological Organization, *World Climate Conference-3, Bulletin*, 58 (3), 2009.
5. MacKenzie S., Stenport A. W., Visualizing climate change in the Arctic and beyond: Participatory media and the United Nations Conference of the Parties (COP), and interactive Indigenous Arctic media, *Journal of Environmental Media*, 1 (1), 79-99, 2020.
6. Barrett S., Political economy of the Kyoto protocol, *Oxford Review of Economic Policy*, 14(4), 20-39, 1998.
7. Erhan B., Çerçioğlu H., The productive efficiency of the Turkish health care sector based on provincial panel data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 929-944, 2018.
8. Çakır S., Efficiency measurement in caykur factories with fuzzy data envelopment analysis, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 369-381, 2016.
9. Jia T., Yuan H., The application of DEA (Data Envelopment Analysis) window analysis in the assessment of influence on operational efficiencies after the establishment of branched hospitals, *BMC Health Services Research*, 17 (265), 1-8, 2017.
10. López-Torres L., Prior D., Centralized allocation of human resources. An application to public schools, *Computers & Operations Research*, 73 (1), 104-114, 2016.
11. Gattoufi S., Amin G. R., Emrouznejad A., A new inverse DEA method for merging banks, *IMA Journal of Management Mathematics*, 25 (1), 73-87, 2014.
12. Hsiao B., Chern C.-C., Chiu Y. H., Chiu C.R., Using fuzzy super-efficiency slack-based measure data envelopment analysis to evaluate Taiwan’s commercial bank efficiency, *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 9147-9156, 2011.
13. Ekiz M.K., Tuncer Şakar C., A new DEA approach to fully rank DMUs with an application to MBA programs, *International Transactions in Operational Research*, 27, 1886-1910, 2020.
14. Ekiz Bozdemir, M. K., Avcı S., Aladağ, Z., Assessment of the Turkish Health Transformation Program with Data Envelopment Analysis, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70 (8), 2800 - 2808, 2023.
15. Matsumoto K. I., Makridou G., Doumpos M., Evaluating environmental performance using data envelopment analysis: The case of European countries, *Journal of Cleaner Production*, 272, 122637, 2020.
16. Seiford L. M., Zhu J., Modeling undesirable factors in efficiency evaluation, *European Journal of Operational Research*, 142 (1), 16-20, 2002.
17. Kazancıoğlu F., Performance assessment of Turkish state railways enterprise, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (1), 219-227, 2012.
18. Tone K., Toloo M., Izadikhah M., A modified slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 287 (2), 560-571, 2020.
19. Charnes A., Cooper W., Rhodes E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444, 1978.
20. Kaffash S., Azizi R., Huang Y., Zhu J., A survey of data envelopment analysis applications in the insurance industry, *European Journal of Operational Research*, 284 (3), 801-813, 2020.

21. Banker R., Charnes A., Cooper W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30, 1078-1092, 1984.
22. Aldamak A., Zolfaghari S., Review of efficiency ranking methods in data envelopment analysis, *Measurement*, 106, 161-172, 2017.
23. Pelone F., Kringos D. S., Romaniello A., Archibugi M., Salsiri C., Ricciardi W., Primary care efficiency measurement using data envelopment analysis: a systematic review, *Journal of Medical Systems*, 39, 1-14, 2015.
24. Mardani A., Zavadskas E. K., Streimikiene D., Jusoh A., Khoshnoudi, A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1298-1322, 2017.
25. Mariano E. B., Sobreiro V. A., Rebelatto D. A. D. N., Human development and data envelopment analysis: A structured literature review, *Omega*, 54, p. 33-49, 2015.
26. Sinuany-Stern Z., Mehrez A., Barboy A., Academic departments efficiency via DEA, *Comput. Oper. Res.*, 21 (5), 543-556, 1994.
27. Köksalan M., Tuncer C., A dea-based approach to ranking multi-criteria alternatives, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 8, 29-54, 2009.
28. Ekiz M.K., Tuncer Şakar C., A new approach to rank all alternatives in data envelopment analysis: ASES, A new approach to rank all alternatives in data envelopment analysis: ASES, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 683-695, 2020.
29. Doyle J., Green R., Strategic choice and data envelopment analysis: comparing computers across many attributes, *Journal of Information Technology*, 9 (1), 61-69, 1994.
30. Andersen P., Petersen N. C., A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 39, 1261-1264, 1993.
31. Jahanshahloo G. R., Junior H. V., Lotfi F. H., Akbarian D., A new DEA ranking system based on changing the reference set, *European Journal of Operational Research*, 181, 331-337, 2007.
32. Seiford L. M., Zhu J., Context-dependent data envelopment analysis- Measuring attractiveness and progress, *Omega*, 31 (5), 397-408, 2003.
33. Yang H., Pollitt M., The necessity of distinguishing weak and strong disposability among undesirable outputs in DEA: Environmental performance of Chinese coal-fired power plants, *Energy Policy*, 38 (8), 4440-4444, 2010.
34. Li H., Shi J. F., Energy efficiency analysis on Chinese industrial sectors: an improved Super-SBM model with undesirable outputs, *Journal of Cleaner Production*, 65, 97-107, 2014.
35. Chen J., Song M., Xu L., Evaluation of environmental efficiency in China using data envelopment analysis, *Ecological Indicators*, 52, 577-583, 2015.
36. Apergis N., Aye G. C., Barros C. P., Gupta R., Wanke P., Energy efficiency of selected OECD countries: A slacks based model with undesirable outputs, *Energy Economics*, 51, 45-53, 2015.
37. X. Liu, Chu J., Yin P., Sun J., DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: a case study of eco-efficiency analysis of coal-fired power plants, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2), 877-885, 2017.
38. Kuang B., Lu X., Zhou M., Chen D., Provincial cultivated land use efficiency in China: Empirical analysis based on the SBM-DEA model with carbon emissions considered, *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119874, 2020.
39. X. Lin, X. Zhu, Y. Han, Z. Geng, L. Liu, Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA model, *Science of The Total Environment*, 729, 138947, 2020.
40. Zhao X., Ma X., Shang Y., Yang Z., Shahzad U., Green economic growth and its inherent driving factors in Chinese cities: Based on the Metafrontier-global-SBM super-efficiency DEA model, *Gondwana Research*, 106, 315-328, 2022.
41. Liu Y., Qu Y., Cang Y., Ding X., Ecological security assessment for megacities in the Yangtze River basin: Applying improved emergy-ecological footprint and DEA-SBM model, *Ecological Indicators*, 134, 108481, 2022.
42. M. Taleb, R. Khalid, A. Emrouznejad, R. Ramli, Environmental efficiency under weak disposability: an improved super efficiency data envelopment analysis model with application for assessment of port operations considering NetZero, *Environment, Development and Sustainability*, 25, 6627-6656, 2023.
43. S. Shuai, Z. Fan, Modeling the role of environmental regulations in regional green economy efficiency of China: Empirical evidence from super efficiency DEA-Tobit model, *Journal of Environmental Management*, 261, 110227, 2020.
44. S.-R. Piao, J. Li, C.-J. Ting, Assessing regional environmental efficiency in China with distinguishing weak and strong disposability of undesirable outputs, *Journal of Cleaner Production*, 227, 748-759, 2019.
45. Y. Zhang, L. Shen, C. Shuai, J. Bian, M. Zhu, Y. Tan, G. Ye, How is the environmental efficiency in the process of dramatic economic development in the Chinese cities?, *Ecological Indicators*, 98, 349-362, 2019.
46. X. Wang, H. Ding, L. Liu, Eco-efficiency measurement of industrial sectors in China: A hybrid super-efficiency DEA analysis, *Journal of Cleaner Production*, 229, 53-64, 2019.
47. M. Song, Q. Xie, Z. Shen, Impact of green credit on high-efficiency utilization of energy in China considering environmental constraints, *Energy Policy*, 153, 112267, 2021.
48. E. Koçak, H. Kınacı, K. Shehzad, Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: a bootstrap DEA approach, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19381-19390, 2021.
49. Wu J., Q. Zhu, X. Ji, J. Chu, L. Liang, Two-stage network processes with shared resources and resources recovered from undesirable outputs, *European Journal of Operational Research*, 251, 1, 82-197, 2016.
50. Du Y. W., Jiang J., Li C. H., Ecological efficiency evaluation of marine ranching based on the Super-SBM model: A case study of Shandong, *Ecological Indicators*, 131, 108174, 2021.
51. Sueyoshi T., Yuan Y., China's regional sustainability and diversified resource allocation: DEA environmental assessment on economic development and air pollution, *Energy Economics*, 49 (1), 239-256, 2015.
52. Ozkan N. F., Haktanirlar Ulutas B., Efficiency analysis of cement manufacturing facilities in Turkey considering undesirable outputs, *Journal of Cleaner Production*, 156 (1), 932-938, 2017.
53. Du J., Liang L., Yang F., Bi G., Yu X., A new DEA-based method for fully ranking all decision-making units, *Expert Systems*, 27 (5), 363-373, 2010.
54. Liu W., Sharp J., *DEA Models Via Goal Programming, Data Envelopment Analysis in the Service Sector*, Springer, Wiesbaden, 79-101, 1999.
55. Koopmans T., *An Analysis of Production as an Efficient Combination Of Activities, Activity Analysis of Production and Allocation*, Wiley, Newyork, 33-97, 1951.
56. Ali A. I., Seiford L. M., Translation invariance in data envelopment analysis, *Operations Research Letters*, 9 (6), 403-405, 1990.
57. Lovell C., Pastor J. T., Turner J. A., Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries, *European Journal of Operational Research*, 87 (3), 507-518, 1995.
58. World Bank Open Data. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/>. Erişim tarihi Mayıs 4, 2021.

