

ASYA-PASİFİK ÜLKELERİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE MALMQUIST TFV ENDEKSİNE DAYALI ENERJİ VERİMLİLİĞİ DEĞERLENDİRME MODELİ

ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT MODEL IN ASIAN-PACIFIC COUNTRIES BASED ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AND MALMQUIST TFP INDEX

Dr. Güller ŞAHİN

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı,
guller.sahin@ksbu.edu.tr
Kütahya / Türkiye
ORCID: 0000-0002-5987-359X

Özet

Bu araştırmanın amacı, Asya-Pasifik ülkelerinin 2000-2020 dönemindeki enerji verimliliğinin çevre kirliliği ve ekonomik büyüme açısından incelenmesidir. Amaç doğrultusunda araştırmada, enerji verimliliğini değerlendirmek için güvenilir bir araç olan ve giderek daha geniş uygulama alanı bulan Veri Zarflama Analizi ve Malmquist TFV Endeksi yaklaşımları kullanılmaktadır. Girdi yönelimli ölçeğe göre sabit getirili model bulguları, Avustralya, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda ve Singapur'un tüm yıllarda, Sri Lanka'nın 2010 ve 2015 yıllarında; girdi yönelimli ölçeğe göre değişken getirili model bulguları ise Avustralya, Bangladeş, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda, Pakistan, Singapur ve Sri Lanka'nın tüm yıllarda, Malezya ve Filipinler'in 2000, 2005 ve 2010 yıllarında, Güney Kore'nin 2020 yılında enerji verimliliğine sahip etkin ülkeler olduğunu açıklamaktadır. Bununla birlikte girdi yönelimli ölçeğe göre sabit ve değişken getirili modellerin karşılaştırması, sabit getirili modelin değişken getirili modele göre esnek olduğunu doğrulamaktadır. Malmquist TFV Endeksi bulguları, ülkelerin en yüksek etkinlik oranının öncelikle ölçek etkinliğinde ardılı teknik etkinlikte olduğunu göstermektedir. Saf teknik etkinlik değeri, ülkelerin yönetsel etkinliğinin yetersizliğine; teknolojik etkinlik değeri ise üretim sınırının aşağı eğimli olduğuna işaret etmektedir. Bulgular bir bütün olarak incelendiğinde, Asya-Pasifik ülkelerinde enerji verimliliğinin ve çevresel performansın düşük olduğuna ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Çevre Kirliliği, Ekonomik Büyüme, Veri Zarflama Analizi, Asya-Pasifik Ülkeleri

Abstract

The purpose of this research is to examine the energy efficiency of the Asia-Pacific countries in terms of environmental pollution and economic growth in the period 2000-2020. In line with this purpose, Data Envelopment Analysis and Malmquist TFV index approaches, which are reliable tools to evaluate energy efficiency and find wider application area, are used in the research.

The findings of the input-oriented constant returns to scale model, Australia, China, Hong Kong, Japan, New Zealand and Singapore's in all years, Sri Lanka's in 2010 and 2015; the findings of the input-oriented variable returns to scale model, Australia, Bangladesh, China, Hong Kong, Japan, New Zealand, Pakistan, Singapore and Sri Lanka' in all years, Malaysia and the Philippines's in 2000, 2005 and 2010, South Korea's in 2020 explains that there are efficient countries with energy efficiency. At the same time, a comparison of constant and variable models according to the input-oriented scale confirms that the constant model is more flexible than the variable model. Malmquist TFP Index findings show that the highest efficiency rate of countries is primarily in scale efficiency and successive technical efficiency. The pure technical efficiency value is due to the inadequacy of the administrative efficiency of the countries; the technological efficiency value indicates that the production frontier is downward sloping. When the findings are examined as a whole, it is reached that energy efficiency and environmental performance are low in Asia-Pacific countries.

Keywords: Energy Efficiency, Environmental Pollution, Economic Growth, Data Envelopment Analysis, Asia-Pacific Countries

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik büyümenin temel bir bileşenidir ve sürdürülebilir yaşam standartları için hayati bir faktördür. Bununla birlikte önemli bir çevresel kirlilik kaynağıdır. Sera gazı emisyonları başta olmak üzere büyük miktarlarda enerji tüketimine eşlik eden çevre sorunları giderek daha fazla aciliyet içermektedir. Dolayısıyla ülkelerin sürdürülebilir ekonomik büyüme amaçları için enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı konularının enerji, ekonomi ve iklim politikaları içerisindeki önemi her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda enerji verimliliğini artırmak ve karbon emisyonlarını azaltmak, sürdürülebilir ekonomik büyümenin önemli bir hedefidir (Ali vd., 2021, s. 1; Wang vd., 2016, s. 475; Zheng, 2021, ss. 397-398).

Enerji verimliliği, üretim kalitesinde düşüşe yol açmadan aynı enerji girdisi için daha fazla çıktı veya aynı çıktı düzeyi için daha az enerji girdisi anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda enerji israfını ortadan kaldırmanın ve enerji maliyetlerini düşürmenin en basit yollarından birisidir. Dolayısıyla enerji verimliliği ile enerji tüketimini yönetmek ve kısıtlamak açıklanmaktadır (Fathi vd., 2021, s. 588).

Enerji verimliliği, emisyonları azaltmanın ve ekonomik performansı iyileştirmenin çok uygun maliyetli bir yolu olarak kabul edilir. Enerji tüketimini azaltmaya, maliyetleri düşürmeye ve emisyonları azaltmaya yönelik geleneksel faydaların ötesinde, enerji verimliliğini artırmaya yönelik politikaların birden fazla ekonomik ve sosyal faydası vardır. Enerji arzı açısından bakıldığında, enerji verimliliği ithal enerjiye olan bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunur. Ayrıca artan verimlilik yoluyla enerji tüketimini azaltmak enerji hammaddelerinin uluslararası fiyatlarındaki artışın neden olduğu enflasyonist eğilimleri azaltır. Operasyonel ve süreç güvenilirliğini artırarak ekonomik sektörler düzeyindeki verimlilik kazanımları, hem ekonomik aktiviteleri artırmaya hem de daha fazla istihdam yaratmaya, ayrıca sağlık ve refah üzerinde olumlu etkilere sahip olmaya kadar pek çok makroekonomik katkı sağlayabilir (García-Quevedo ve Jové-Llopis, 2021, s. 1).

Enerji verimliliği konusunun enerji politikaları içerisinde yerini alması, 1970'li yıllarda meydana gelen petrol fiyatı şoklarının neden olduğu piyasa değişiklikleri sonucunda ortaya çıkmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren enerji talebindeki büyümeyi kontrol etme ve emisyonları azaltma konularında iklim politikaları içerisinde önemi artmıştır. Günümüzde ise tüm ülkelerin kamu politikası gündemlerinde ilk sıralardaki yerini almıştır. Politika hedeflerinde enerji verimliliğinin başlıca önemi, endüstriyel rekabet gücü sağlama, enerji güvenliğini artırma ve çevresel etkilerle bağlantılıdır. Bununla birlikte enerjinin daha verimli kullanımının diğer faydaları, enerji altyapısına yapılan yatırımların azaltılması; daha düşük konvansiyonel enerji (fosil yakıt) bağımlılığı; artan rekabet gücü ve tüketici refahını içermektedir. Ayrıca verimlilik kazanımları, küresel sera gazı emisyonlarını ve yerel hava kirliliğini azaltarak çevresel faydalar da sağlamaktadır (Patterson, 1996,

s. 377; Taylor vd., 2010, s. 6473). Dolayısıyla enerji verimliliği, enerji sisteminin farklı yönlerini etkileyerek ülkelerin nihai enerji arz ve talebi eğilimlerini belirlemektedir. Bireysel karbon ayak izlerini en aza indirirken, enerji talebini de minimize etmektedir.

Bu araştırmanın amacı, Asya-Pasifik ülkelerinde 2000-2020 dönemindeki enerji verimliliği etkinliğinin çevre kirliliği ve ekonomik büyüme açısından incelenmesidir. Amaç kapsamında araştırma, giriş bölümü ile birlikte altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde enerji, çevre ve ekonomi arasındaki döngüsel ilişki açıklanmakta, ardından güncel literatür seçkisi gözden geçirilmektedir. Ampirik analize temel oluşturan metodoloji ile girdi ve çıktı kümesi dördüncü bölümde belirtilmekte, bulgular ise beşinci bölümde ele alınmaktadır. Ulaşılan sonuçlar ve değerlendirme kısmı ise çalışmanın son başlığı altında yer almaktadır.

2. ENERJİ, ÇEVRE VE EKONOMİ ARASINDAKİ DÖNGÜSEL İLİŞKİ

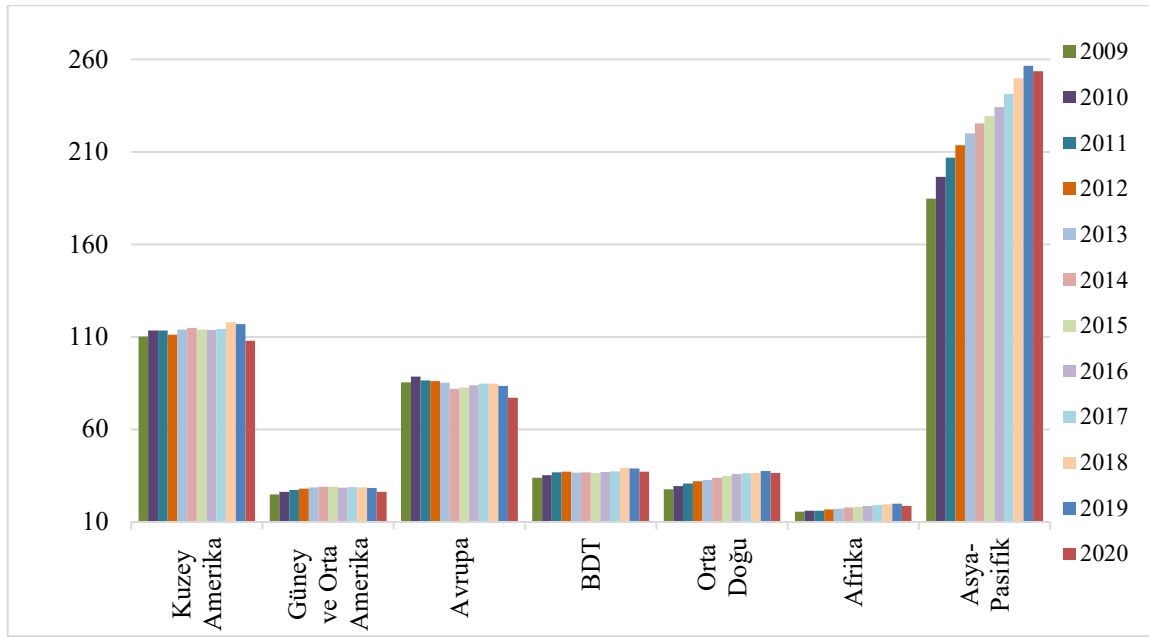
Enerji, çevre ve ekonomi arasındaki ilişki oldukça önemli ve karmaşık bir konudur. Enerji, üretim sürecinin tüm aşamalarında gerekli bir faktördür ve enerji olmadan üretimin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Enerjinin üretimi, tüketimi ve dağıtımının farklı aşamalarında çevreye zarar verildiği için enerji, doğrudan ve dolaylı olarak çevreyi etkilemektedir. Bu bağlamda zamanla artan küresel ısınma eğilimleri ile birlikte, daha fazla ülke iklim değişikliği sorunsalı ile mücadele etmek için önlemler almıştır (Fathi vd., 2016, ss. 588-589).

Hem ekonomik büyümenin hem de enerji tüketiminin çevresel bozulmanın temel faktörleri olduğu kabul edildiğinden, artan karbon emisyonlarının ekonomik büyüme ve enerji ile ilişkisi iklim değişikliği tartışmalarında çok önemlidir. Bu nedenle, büyüme ve çevre arasındaki uyumlaştırma çabaları politika yapımcıların ekonomik büyüme için dengeli bir strateji geliştirmeleri için ciddi bir zorluk alanıdır. Konvansiyonel enerji, karbon emisyonlarının ana kaynağı olduğu için enerji talebi sıfır karbonlu bir ekonomi geliştirmek, büyük mali taahhütler ve sosyal sorumluluklar gerektirmektedir (Zhang vd., 2021, ss. 1-2). Bu bağlamda enerji verimliliği, sürdürülebilir bir büyüme ve gelişmeye yönelik önemli bir stratejidir.

Dünyadaki birçok ülke, enerji sistemini yeşil enerji ekonomisine dönüştürmek için bir strateji başlatmıştır. Bu dönüşümün başlıca hedefleri, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve enerji ithalatına olan yüksek bağımlılığı azaltmaktır. Enerji verimliliği politikası önlemleri seti, 1970'lerde ilk kez uygulanmaya başladığından bu yana önemli ölçüde genişletilmiştir. Verimli ve ekonomik enerji tasarrufu potansiyellerinden yararlanmak, bu önlemlerin ana odak noktasıdır ve bu nedenle enerji tasarrufuna ekonomik bir bakış açısı kazandırmaktadır (Ringel vd., 2016, ss. 1293-1295). Dolayısıyla enerji verimliliği ile ilgili politikalar, sürdürülebilir bir enerji sistemine dönüşümdeki kritik rolü vurgulamaktadır. Enerjinin verimli kullanımı, kıt kaynakların korunmasını, küresel ısınmayı azaltmayı ve ekonomik çıktıların gerçek maliyetlerinin azaltılması ile sonuçlanabilir.

Ekonomilerin hızla gelişmesi sürecinde enerjiye olan bağımlılığın ve enerji talebinin artacağı, dolayısıyla enerji tüketiminin çevre üzerindeki baskılarının artacağı öngörülmektedir. Çevresel bozulmanın ise ekonomik büyümeyi kısıtlayarak, enerji tüketimini etkileyeceği varsayılmaktadır. Belirtilen nedenlere bağlı olarak enerjinin verimli kullanılması ve çevreye özen gösterilmesi, ekonomilerdeki sürdürülebilir kalkınmanın ön koşuludur. Ekonomik gelişme ve çevresel konular, enerji verimliliğini etkileyen temel faktörlerdir. Bununla birlikte enerji verimliliğinin ekonomi ve çevre üzerinde etkisi vardır. Sonuç olarak enerji, çevre ve ekonomi karşılıklı ve döngüsel olarak birbirini etkilemektedir. Dolayısıyla söz konusu ilişkideki kilit nokta, enerji, ekonomi ve çevresel konuların aynı anda nasıl birleştirileceğidir. Ekonomik büyümeye, doğal kaynakların ve çevrenin korunması eşlik etmelidir. Bunun için enerji talebi, çevresel performans ve ekonomik büyümenin aynı anda araştırılması gerekmektedir (Fathi vd., 2021, ss. 588-589).

Şekil 1 bölgelere göre küresel enerji tüketimini göstermektedir. Bu bağlamda 2020 yılında yaklaşık (~) olarak 557 Exajoules (Ej) olan kümülatif enerjinin, sırasıyla, %45,5'i Asya-Pasifik (~254 Ej), %19,4'ü Kuzey Amerika (~108 Ej), %13,9'u Avrupa (~77 Ej), %6,7'si Bağımsız Devletler Topluluğu (~37 Ej), %6,5'i Orta Doğu (~36 Ej), %4,7'si Güney ve Orta Amerika (~26 Ej), %3,3'ü Afrika (~19 Ej) bölgelerinde tüketilmektedir. 2009-2019 dönemi içerisinde enerji talebi sadece Avrupa bölgesinde (%0,2) azalırken, Asya-Pasifik bölgesinde (%3,3) ise en büyük artış kaydedilmiştir. Covid-19 pandemisine bağlı olarak 2020 yılında kümülatif enerji talebi, belirtilen tüm bölgelerde küresel olarak %4,5 oranında düşmüştür. Bununla birlikte enerji talebinin en fazla düştüğü bölge Kuzey Amerika (%8), en az düştüğü bölge ise Asya-Pasifik (%1,4) bölgesi olmuştur (BP, 2021, s. 10). Bu araştırmanın örneklem kümesinin Asya-Pasifik bölgesi seçilmesinin birincil nedeni, bölge ülkelerinin yüksek miktardaki enerji talebidir.



Şekil 1. Bölgelere göre birincil enerji tüketimi (Ej): 2009-2020

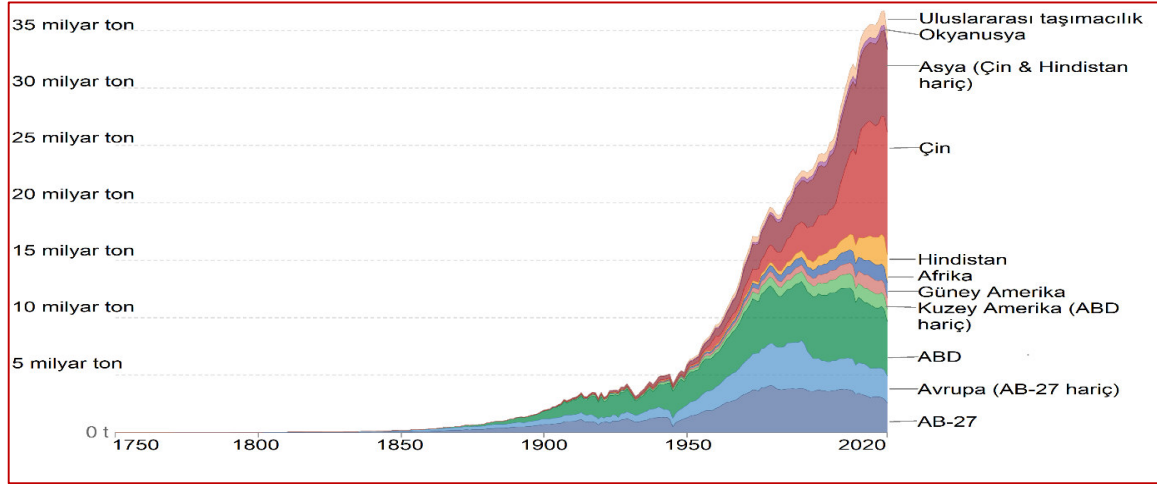
Kaynak: BP, 2021, s. 10'da yer alan tablo veri alınarak araştırmacı tarafından çizilmiştir.

Küresel enerji verimliliği iyileştirmeleri için derin endişeler bulunmaktadır. Ekonominin enerji verimliliğinin önemli bir göstergesi olan küresel enerji yoğunluğu, 2018 yılında yaklaşık %1,2 artmıştır. Bu oran 2010 yılından sonra görülen ortalama oranın yaklaşık yarısıdır (Fathi vd., 2021, s. 589). 2020 yılı enerji talebi ve fiyatlarının düştüğü, teknik verimlilik artışlarının yavaşladığı, ekonomik aktivitelerin dengesinin konaklama ve turizm gibi daha az enerji yoğun hizmetlerden uzaklaştığı için verimlilik iyileştirmesi açısından oldukça kötü bir yıl olmuştur. 2021 yılında ise küresel enerji talebinin artması ve ekonomik aktivitelerin yeniden canlanması ile birlikte pandemi öncesi seviyelere geri dönülmesi beklenmektedir. Enerji verimliliği eğilimlerinin, son on yıllık ortalamalarına yaklaşacağı öngörülmektedir. Enerji verimliliğindeki ilerlemenin 2021 yılında toparlandığı, ancak 2050 yılına kadar net sıfır emisyonlarında belirtilen kazanımla eşleşmesi için iyileştirme oranının mevcut seviyelerin iki katına çıkması gerektiği gerekmektedir. 2020 ve 2021 yıllarında küresel enerji ve ekonomik eğilimleri şekillendiren Covid-19'un neden olduğu sorunlarla birlikte, 2021 yılında iyileştirilmiş enerji yoğunluğunun sürdürülebilir bir toparlanmanın başlangıcına işaret edip etmeyeceği ise belirsizliğini sürdürmektedir. Ancak artan yatırım eğilimleri, büyük ölçüde pandemiye bağlı olarak yürürlüğe giren stratejiler nedeniyle artan hükümet harcamaları, daha yüksek iklim hedeflerine ilişkin yeni politikalar ve diğer politika önlemleri cesaret verici sinyaller sunmaktadır (IEA, 2021).

Küresel enerji tüketimi tahminleri, 2050 yılının sonuna kadar enerji talebinde %50 oranında bir artış görüleceğini ve bu oranın büyük kısmının Asya bölgesinde gerçekleşeceğini göstermektedir. Petrol talebinde yıllık %0,6, kömür talebinde %0,4 ve doğal gaz talebinde ise %1,1'lik bir artış beklenmektedir. CO₂ emisyonları için katı bir üst sınır belirlenirse, büyük olasılıkla enerji tüketimine yeni kısıtlamalar getirilecektir. Küresel karbon emisyonlarındaki hızlı yükseliş trendinin yeni enerji kaynakları ve teknolojilerine olan ilginin artmasıyla sonuçlanacağı varsayılmaktadır. Küresel yenilenebilir enerjinin, enerjinin artan bir bölümünü yılda %3,1'lik bir oranla oluşturacağı öngörülmektedir. Bu durum, enerji yapısını konvansiyonel enerjiye dayalı olmaktan optimize edilmiş enerji ve yenilenebilir enerjiye dönüştürmek için olumlu yönler sağlayabilir ve farklı yakıt karışımı kullanılarak enerjiyi dönüştürebilir. Artan enerji gereksinimini karşılamak amacıyla yönelik olarak yeni teknolojilerin oluşturulması için daha fazla çaba ve maliyet gerekebilir. Fosil yakıtları azaltmak için yenilenebilir teknolojiler oluşturmaya önemli miktarda finansman ihtiyacı olabilir (Zhang vd., 2021, s. 1). Enerji verimliliği iyileştirmelerine yapılan harcamaların, ekonomik büyüme ve strateji programlarının ilk etkilerine yanıt olarak 2021 yılında yaklaşık %10 oranında artacağı varsayılmaktadır. 2021 yılında dünya çapında temiz enerji teknolojilerine ve verimliliğine harcanan olası 750 milyar ABD doları, iklim odaklı senaryolarda ihtiyaç olanın oldukça altında kalmaktadır (IEA, 2021a, ss. 8-9).

Enerji verimliliğinde yaşanan gelişmelere rağmen küresel emisyonlar artma eğilimindedir. Emisyonlara ilişkin tarihsel izlek, konvansiyonel enerji tüketiminden kaynaklı emisyonların son 30 yılda iki kat, son 60 yılda dört kat ve 20. yüzyılda ise yaklaşık on iki kat arttığının bilgisini içermektedir. 1850 yılında 0,2 Gigaton (Gt) olan CO₂ emisyon miktarı, 2021 yılındaki yaklaşık 37 Gt CO₂ emisyon miktarının oldukça küçük bir yüzdesidir. CO₂ emisyonlarının büyük çoğunluğu fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmakla birlikte, arazi kullanımı, arazi kullanımındaki değişiklikler ve ormansızlaştırma benzeri insan faaliyetleri de kümülatif toplama önemli katkı sağlamıştır. Arazi kullanımındaki değişiklikler ve ormancılık, 1850-2021 yılları arasında kümülatif CO₂ emisyonlarını yaklaşık 1/3 oranında, fosil yakıtlar ise yaklaşık 2/3 oranında artırmıştır (Evans, 2021).

Kümülatif CO₂ emisyonları, 2009-2019 döneminde dünya çapında %1,4 oranında artmış, ancak pandemi nedeniyle 2020 yılında büyük bir düşüşle %6,2 oranında azalmıştır. Bununla birlikte emisyonlar, pandemi öncesi seviyelerine geri dönmekte, dolayısıyla atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları artmaya devam etmektedir. 2020 yılındaki yaklaşık 32 319 milyon ton kümülatif CO₂ emisyonunun, yaklaşık 16 813 milyon tonu Asya-Pasifik bölgesi kaynaklıdır. Emisyonlara en düşük katkıyı sağlayan bölge ise, 1 158 milyon tonla Güney ve Orta Amerika bölgesidir (BP, 2021, s. 15). Fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarının seyrinin gösterildiği Şekil 2 incelendiğinde; Çin'in en büyük emisyon kaynağı olduğu, ardılı Amerika Birleşik Devletleri'nin geldiği görülmektedir. Bölgesel bir değerlendirme bu araştırmanın örneklem kümesinin Asya-Pasifik bölgesi seçilmesinin enerji tüketiminden sonraki diğer bir nedenidir.

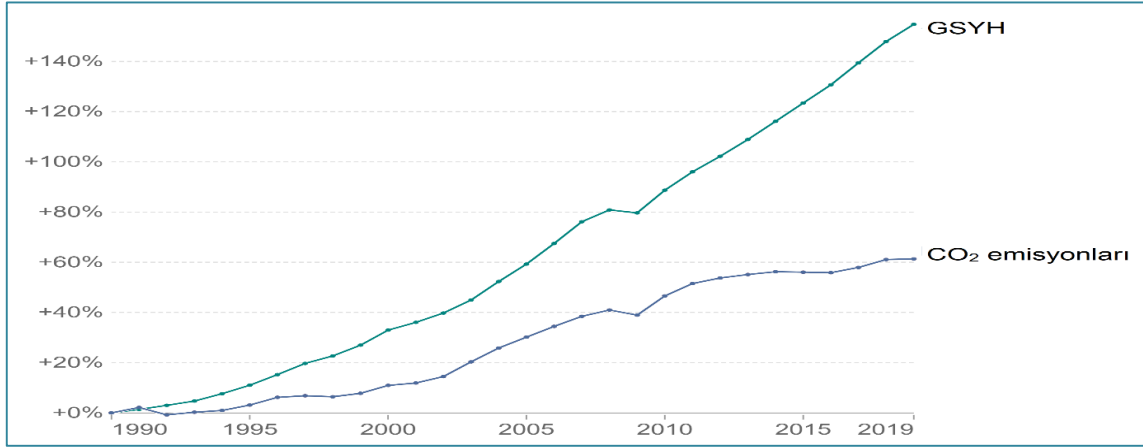


Şekil 2. Fosil yakıt kaynaklı yıllık CO₂ emisyonları: 1750-2020
Kaynak: Ritchie ve Roser, 2020

Fosil yakıt kullanımından kaynaklı hava kirliliğinin ekonomik maliyeti, fosil yakıtları yakmanın dünyadaki hava kirlenme seviyelerine etkisini ve hava kirliliğinin sağlık üzerine yansıyan etkilerini açıklamaktadır. Bu bağlamda fosil yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin küresel ekonomik maliyeti, 2018 yılında 2,9 trilyon ABD doları veya küresel GSYH'nin %3,3'üdür. Söz konusu maliyetlerin fosil yakıt kullanımındaki hızlı düşüşlerin olası maliyetlerini çok aştığı tahmin edilmektedir (Myllyvirta, 2020, s. 2). Bu maliyetler, fosil yakıt kullanımından kaynaklanan hava kirlenme emisyonlarının ortadan kaldırılmasıyla elde edilebilecek ekonomik büyümeyi ve emeğin üretkenliğini etkileyerek refah artışını göstermektedir. Dolayısıyla hava kirliliği, sağlık bakım maliyetlerini, ekonomik üretkenliği ve refahı etkileyen diğer sağlık etkilerinin yanı sıra işsizliğe kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir.

CO₂ emisyonları ile refah ve yaşam standartları arasında güçlü bağlantılar söz konusudur. Bu nedenle, ülkelerin salınımları azaltma hedefinde ilerleme kaydedebilmeleri ekonomik büyümeye bağlıdır. İyi yaşam standartlarına ve yüksek emisyon seviyelerine sahip zengin ülkeler ile kötü yaşam standartlarına ve düşük emisyon seviyelerine sahip fakir ülkelerin çoğunlukta olmasına karşın, son yıllarda bazı ülkeler emisyon miktarlarını azaltırken aynı zamanda GSYH'yi artırmanın da mümkün olduğunu göstermiştir (Ritchie ve Roser, 2020).

Şekil 3, GSYH ile CO₂ emisyonlarındaki eğilimin aynı yönlü olduğunu bilgisini sunmaktadır. Bu kapsamda ekonomik büyümenin emisyonların nedenlerinden birisi olduğu argümanı desteklenmektedir. Bununla birlikte iki parametre arasındaki iraksamanın 2010 yılından sonra arttığı, dolayısıyla ekonomik büyümedeki artışın emisyonlardaki artıştan daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Emisyonlar ve GSYH'deki küresel değişim (%): 1990-2019

Kaynak: Ritchie ve Roser, 2020

Enerji verimliliği, CO₂ emisyonlarını azaltmak için en hızlı ve en uygun maliyetli eylemlerden bazılarını sunmaktadır. 2050 Emisyonlar Senaryosu'na göre, küresel ekonominin enerji yoğunluğunun 2030 yılına kadar %35 azalacağı beklenmektedir. Bu durum, elektrifikasyon ve davranış değişikliği gibi önlemlerle birlikte enerji verimliliğinden kaynaklanabilir. Rüzgâr ve güneş enerjisi üretimi gibi temiz enerji kaynaklarındaki büyüme, konvansiyonel enerjiye yönelik talebi geçebilir. Böyle bir senaryoda, küresel ekonomi, daha yüksek nüfus ve gelir düzeyleri nedeniyle 2030 yılına kadar %40 büyüyebilir ve %7 daha az enerji talep edilebilir (IEA, 2021, s. 13).

Küresel enerji verimliliği bu araştırmanın örneklem kümesi açısından değerlendirildiğinde Asya Kalkınma Bankasının Asya-Pasifik Enerji İzleme Raporu'nda, Asya-Pasifik bölgesi için enerji verimliliğinin 2035 yılına kadar pahalı yenilenebilir enerji yatırımlarından ziyade birinci öncelik olduğu iddia edilmektedir. Enerji verimliliğinin, Çin'in sıfır net emisyon hedefine ulaşmasına yardımcı olmada kilit rol oynaması beklenmektedir (Zheng, 2021, s. 398). Çin'in, dünyanın en yüksek miktarda karbon salınımı yayan ülkesi olduğu dikkate alındığında, enerji verimliliğinin iklim politikaları içerisindeki rolü artmaktadır.

Asya-Pasifik ülkelerinin 2020 yılı Çevresel Performans Endeks sıralaması dağılımı, geniş bir ekonomik kalkınma ve siyasi çeşitlilik yelpazesini yansıtmakta ve bu çeşitliliğin, diğer tüm bölgelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Japonya, iklim değişikliği, hava kalitesi, sanitasyon ve içme suyu konularında bölgenin lideri olarak Asya-Pasifik ülkeleri arasında 1., dünyada ise 12. sırada yer almaktadır. Güney Kore, Singapur ve Tayvan iklim değişikliği yönetimi de dâhil olmak üzere bir dizi konuda güçlü performans sergilemektedir. Bu ülkeler, hızlı ekonomik büyüme ve gelişmiş üretkenlik dönemleri yaşadıkları için bu etkenler daha yüksek insani gelişme ve çevresel performans seviyelerine dönüşmüştür. Bununla birlikte bir dizi konuda hala iyileştirmeye gerek vardır. Mevcut durumda hiçbir ülke, Paris İklim Değişikliği Anlaşması'nın hedeflerini karşılayacak kadar hızlı bir şekilde karbon nötr olma yolunda görünmemektedir (Wendling vd., 2020, s. 30).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Enerjinin etkin kullanımı, çevrenin korunması ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler çok sayıda araştırmacı tarafından farklı zaman dilimlerinde birçok ülke örneklem kümesi kapsamında incelenmiştir. Yapılan bu araştırmaların bir kategorisi, gelir düzeyi ve çevresel bozulma; diğer bir kategorisi ise, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkilere odaklanmıştır. Günümüzde ise genellikle her iki bağlantının geçerliliğini benzer çerçevede inceleyen bu iki kategorinin birleşik bir yaklaşımı ortaya çıkmıştır (Fathi vd., 2021, ss. 589-590).

Veri Zarflama Analizi (VZA), son yıllarda karar verme birimlerinin performans değerlendirilmesi için yaygın olarak uygulanmıştır. Son zamanlarda, giderek artan sayıda VZA ampirik araştırmalarında, enerji verimliliğinin değerlendirilmesine odaklanılmıştır (Sueyoshi vd., 2017, s. 440; Zheng, 2021, s. 398). Enerji verimliliğinin geleneksel değerlendirme modelleri genellikle yalnızca enerji tüketimini ve ekonomik çıktıları içermekte, enerjinin çevresel etkisini ve enerji ile ilgili faktörler arasındaki ikame etkisini ihmal etmektedir. VZA modelinin enerji verimliliğini araştırmak için yaygın bir yöntem olduğu görülmektedir. Ancak VZA modellerinde, çoğunlukla GSYH gibi yalnızca arzu edilen çıktıya odaklanıldığı, çevresel bozulmayı açıklayan istenmeyen çıktının ihmal edildiği görülmektedir (Wang vd., 2009, ss. 1542-1543). VZA yöntemi kullanılarak yapılan enerji verimliliği ile ilgili araştırmaların çoğunun modelleme çerçevelerinde CO₂ emisyonları gibi istenmeyen çıktılar dikkate alınmaması, yanlış enerji verimliliği değerlerine yol açabilir (Wu vd., 2012, s. 164). Son yıllarda çevresel temaların (emisyonlar gibi) incelenmesi, VZA ile giderek daha fazla içselleştirilmiş negatif dışsallıklara sahiptir ve bu nedenle istenmeyen çıktılar, arzu edilen çıktılarla birlikte üretilir (Lu vd., 2013, s. 130). Enerji verimliliği performansını ölçmek için önerilen geleneksel VZA modellerinin ortak bir özelliği, istenmeyen çıktılar dikkate alınmadan enerji tüketimini üretim çerçevesinde bir girdi olarak ele almalarıdır. Bununla birlikte enerji tüketimi, arzu edilen çıktılar üretilmesinin yan ürünleri olarak istenmeyen çıktılar üretilmesiyle sonuçlanır (Zhou ve Ang, 2008, s. 2911).

Enerji, ekonomik büyüme için gerekli olduğu gibi, aynı zamanda çevresel bozulmaya da neden olur ve bu nedenle enerji veya çevresel verimliliği değerlendirirken, VZA yaklaşımında çıktı genellikle istenen (ekonomik gösterge) ve istenmeyen (çevresel kirlilik kaynağı) biçimlere bölünür. Bu kapsamda enerji verimliliği, çevresel kirlilik ve ekonomik büyüme ilişkisinde güncel literatür, VZA analizlerinde istenen ve istenmeyen çıktılar dikkate alan araştırmalar arasından seçilmiştir.

Zhou ve Ang (2008) araştırmalarında, 21 OECD ülkesinde hem istenen hem de istenmeyen çıktılar ortak bir üretim çerçevesi içinde, enerji verimliliği performansını ölçmek için farklı VZA tipi doğrusal programlama modelleri sunmaktadır. Ayrıca modellerde farklı enerji kaynakları farklı girdiler şeklinde ele alınmakta, böylece enerji verimliliği değerlendirilirken enerji karışımındaki değişiklikler hesaba katılabilmektedir. Çevresel VZA teknolojisi kavramını kullanarak, üç farklı alternatif enerji verimliliği performans endeksi geliştirilmektedir. Sonuçlarda, ilk endeksin enerji girdilerini en iyi uygulamanın sınırına orantılı olarak azaltmaya çalıştığı; enerji verimliliğini değerlendirmede enerji karışımı etkilerini hesaba katmak için, radyal olmayan bir VZA tipi modeline dayalı ikinci endeks ve gevşeklik temelli bir VZA tipi modele dayalı üçüncü endeksin geliştirildiği ifade edilmektedir.

Wang vd. (2009) tarafından Çin'in 33 şehri üzerine yapılan araştırmanın ampirik kanıtları, enerji verimliliğinin genel olarak düşük olduğunu ve belirli bir seviyeyi koruduktan sonra yavaş bir düşüş eğilimi sergilediğini, enerji verimliliğine ilişkin önemli bölgesel farklılıklar bulunduğunu göstermektedir.

Zhou vd. (2010) CO₂ salınımına sahip en yüksek 18 ülke örneğinde yaptıkları araştırmalarının sonuçlarında, ülkelerin bir bütün olarak toplam faktör karbon emisyon performansının incelenen dönem boyunca %24 oranında arttığına ve bunun temel olarak teknolojik ilerlemeden kaynaklandığına ulaşılmaktadır.

Wu vd. (2012) araştırmalarında, Çin'deki 28 eyalet için çevresel VZA modellerini kullanarak endüstriyel enerji verimliliği performansını ölçmek için statik ve dinamik enerji verimliliği performans endeksleri oluşturmaktadır. Araştırmanın sonuçları, sanayi sektöründeki enerji verimliliğindeki iyileşmenin temel olarak teknolojik gelişmeden kaynaklandığını açıklamaktadır.

Lu vd. (2013) OECD'ye üye 32 ülke için kurdukları modele, orantısız olarak değişen radyal olmayan çıktı değişkenlerini ve orantılı olarak değiştirilebilen radyal girdi/çıktı değişkenlerini çözmek için hem istenmeyen hem de orantısız değişkenleri dâhil etmektedir. Sonuçlar, ülkelerin CO₂ emisyonlarını kontrol ederken verimlilik sıralamalarının daha fazla oynaklık içerdiğini göstermektedir. Çoğunlukla Avrupa ülkeleri en verimli ülkeler olurken, Japonya etkinlik puanı 1'e

yakın olan tek Asya ülkesidir. Ayrıca Almanya ve Yeni Zelanda'nın zaman içerisinde daha verimli ülkeler haline geldiği, tüm OECD ülkelerinin önümüzdeki birkaç yıl içinde CO₂ emisyonlarını %6,66-7,49 bandında azaltması gerektiği ulaşılan diğer sonuçlar arasındadır. Song vd. (2013) BRICS ülkelerinin enerji verimliliğini ölçmek ve hesaplamak için öncelikle gevşeklik temelli VZA modelini kullanmakta, ardından ülkelerin mevcut durumlarını ve gelişme eğilimlerini analiz etmektedirler. Sonuçlar, genel olarak model içerisine dâhil edilen ülkelerin enerji verimliliğinin düşük olduğunu ancak hızla artan bir eğilime sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca enerji verimliliği ve karbon emisyonları arasındaki ilişki, farklı enerji yapıları nedeniyle ülkeden ülkeye değişmektedir. Wang vd. (2013) tarafından Çin'deki 30 bölge üzerine yapılan araştırmanın başlıca sonuçları, Pekin, Şanghay ve Guangdong'un Çin'in en yüksek entegre enerji ve çevre verimliliğine sahip bölgeleri olduğunu; Doğu Çin'in doğal atılabilirlikte Batı Çin'in ise yönetsel atılabilirlikte en yüksek entegre verimliliğe sahip olduğunu; Çin'in ortalama üretim verimliliğinin azaldığını, ortalama emisyon verimliliğinin ise arttığını; 30 bölgeden dört bölgenin ölçeğe göre artan getiri, 19 bölgenin ölçeğe göre azalan getiri, yedi bölgenin ise ölçeğe göre karışık getiri sergilediğini ortaya koymaktadır.

Cui vd. (2014) Çin, Hindistan, Japonya, ABD, Brezilya, Fransa, Almanya, Rusya ve Birleşik Krallık ülkelerinde enerji verimliliğinin girdi ve çıktılarını ekonomik katma değer yöntemi ile incelemektedir. Sonuçlar, teknoloji endeksleri ve yönetim endekslerinin enerji verimliliğinin ana faktörleri olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda teknoloji endekslerinin enerji verimliliği endeksi üzerindeki etkisi, başlıca teknik ilerleme değişim endeksi üzerinden; yönetim endekslerinin enerji verimliliği endeksi üzerindeki etkisi ise, başlıca saf teknik verimlilik değişim endeksi üzerinden gerçekleşmektedir. Xie vd. (2014) araştırmalarında, 26 OECD ülkesi ve BRIC ülkelerinin elektrik enerjisi endüstrilerinde emisyon azaltma çabalarını belirlemek için dinamik çevresel verimliliğin ve toplam faktör verimliliğinin iyi bir bakış açısı sağladığını bildirmektedir. Ayrıca yakıt yapısı değişikliği ve teknolojik ilerlemenin, dinamik çevresel verimliliği teşvik eden ana itici güçler olduğu; ekonomik yapı ve enerji fiyatlarındaki değişimlerin de dinamik çevre verimliliğini önemli ölçüde etkilediği ifade edilmektedir.

Apergis vd. (2015) çalışmalarında, OECD'ye üye 20 ülkenin etkinlik değerlendirmesini sunmaktadır. Sonuçlar, ekonomik bloklar ve sermaye-emek oranı gibi bağlamsal değişkenlerin enerji verimliliği seviyeleri üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymaktadır. Wang ve Feng (2015) Çin'de enerji, çevre ve ekonomi arasındaki üretkenlik değişiminin temel faktörlerini inceledikleri araştırmalarında, teknik ilerleme, üretim ölçeği ve yönetim düzeyine odaklanmaktadır. Sonuçlar, ekonomik performansın iyi, enerji ve çevresel performansların ise kötü olduğunu; enerji ve çevre verimliliğinin son yıllarda kademeli olarak iyileştiğini; üretkenlik eğiliminin yükselen bir yol izlemeye başladığını; teknik ilerlemenin, üretkenlik artışına en güçlü katkıyı sağladığını; düşen ölçek ve yönetim verimliliklerinin üretkenlikte iyileşmenin önündeki iki ana engel olduğunu göstermektedir. Woo vd. (2015) yenilenebilir enerjinin dinamik çevresel verimliliğini 31 OECD ülkesi için ölçtükleri araştırmalarında, çevresel verimlilikte coğrafi farklılıkların söz konusu olduğu; Avrupa'daki ülkelerin en büyük standart sapma gösterdiği; Amerika'daki ülkelerin en yüksek ortalama çevresel verimliliğe sahip olduğu; dinamik verimliliğin ABD'de tetiklenen küresel mali krizden etkilendiği sonuçlarına ulaşmaktadır.

Chen vd. (2017) Çin'deki 30 eyalette elektrik enerjisi verimliliğini ölçtükleri araştırmalarında, verimliliğin önemli ölçüde gelişmediği; özellikle Batı Çin'de verimlilik değerlerinin oynaklığa sahip olduğu; Doğu Çin'in elektrik enerjisi verimliliğinin, Orta ve Batı Çin'den önemli ölçüde yüksek olduğu; son yıllarda, Batı Çin'in elektrik enerjisi verimliliğinin önemli dalgalanmalarla birlikte büyük ölçüde iyileştirildiği ve çevreye duyarlı olduğu sonuçlarını bildirmektedir. Feng ve Wang (2017) araştırmalarında, Çin'de 30 eyaletin sanayi sektörlerindeki toplam faktör enerji verimliliği ve enerji tasarrufu potansiyelini teknoloji boşluğu, yönetim ve ölçek olmak üzere üç perspektiften analiz etmektedir. Sonuçlar, teknolojik ilerlemenin yönlendirdiği enerji verimliliğinin

büyük ölçüde iyileştirdiğini; endüstriyel sektörlerdeki mevcut enerji verimliliğinin, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve enerji tasarrufu için düşük kaldığını; sanayi sektörlerindeki enerji verimsizliği kaynakları ve enerji tasarrufu potansiyelinin, mekânsal olarak farklı özellikler sergilediğini göstermektedir. Guo vd. (2017) tarafından yapılan araştırmanın diğer araştırmalardan önemli bir farkı, farklı terimleri birbirine bağlayan bir devir aracı olarak tanımlanan enerji stoku varsayımdır. Ayrıca operasyonel verimsizliğin kaynaklarını bulmak için modeldeki çıktı ve girdi verimsizliği göstergeleri araştırılmaktadır. Sonuçlarda, 26 OECD ülkesinde ve Çin'deki ortalama verimlilik oranının 0,78 olduğu; enerji stokundaki ayarlama oranının, çoğu ülkenin verimlilik artışı yaşadığını gösterdiği; devretme aracısının verimsizlik oranının, ortalama %5,29 bulunduğu; ülkelerin verimliliklerini artırmak için enerji stoklarının sayısını artırmaları gerektiği görülmektedir. Sueyoshi vd. (2017) araştırmalarında, Çin'in 30 eyaletindeki ekonomik refah ve çevre koruma konusundaki eşzamanlı başarı düzeyini incelemek ve böylece sürdürülebilirlik gelişiminin derecesini ölçmek için tasarlanmış çevresel değerlendirme için üç farklı VZA yaklaşımını karşılaştırmaktadır. Ara yaklaşım, radyal ve radyal olmayan yaklaşımlarla karşılaştırılarak analitik özellikler tartışılmaktadır. Metodolojik karşılaştırma, VZA'nın önemli bir metodoloji olduğunu, ancak mükemmel olmadığını göstermektedir.

Guo vd. (2018) araştırmalarında Çin'deki altı enerji yoğun alt sanayinin kömür tüketim verimliliğini analiz etmektedir. Kömürün ekonomik verimliliğinin, çevresel verimliliğinden daha büyük olduğu; düşük çevresel verimliliğin temelde saf teknik verimlilik ve ölçek verimliliğinin ortak etkilerinden kaynaklandığı; saf teknolojik etkinlik elde edemeyen, kömür çevre verimliliği ile karakterize edilen enerji yoğun endüstrilerin tümünün, enerji tasarrufu ve emisyon azaltma potansiyeli gösterirken, değişen derecelerde girdi fazlalığı veya çıktı yetersizliği sergilediği sonuçlarına ulaşılmaktadır. Xie vd. (2018) tarafından üretim sektörünün çevresel verimliliklerinin Çin'in 30 eyaleti özelinde değerlendirildiği araştırmanın sonuçlarında, bölgeler arasında önemli verimlilik farklılıklarının bulunduğu; bölgesel GSYH ve kapasite kullanım oranının çevresel verimliliği artıran olumlu unsurlar olduğu görülmektedir. Yang vd. (2018) tarafından Çin'in 30 şehri örneğinde bölgesel enerji verimliliği ölçülmektedir. Sonuçlarda, istenmeyen çıktılar dikkate alındığında genel enerji verimliliğinin düştüğü; Doğu Çin'in en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğu; Batı Çin'in ise enerji verimliliğinin nispeten düşük olduğu; Çin'in eyaletleri arasındaki enerji verimliliği farkının büyüklüğü açıklanmaktadır.

Mavi ve Mavi (2019) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarında, OECD'ye üye 34 ülkeden İsviçre'nin en yüksek enerji ve çevre verimliliğine sahip olmasına rağmen, İrlanda ve ABD'nin enerji ve çevresel verimliliklerini sürekli olarak iyileştirdikleri belirtmektedir. Yang ve Wei (2019) Çin'deki 26 şehir için yaptıkları analizin sonuçlarında, rekabet ilişkisi dikkate alındığında kentsel enerji verimliliğinin geleneksel olarak hesaplanan verimlilikten daha düşük olduğunu ve araştırma döneminde iyileşmediğini ifade etmektedir.

Long vd. (2020) tarafından yapılan araştırmada, Çin'in Yangtze nehri ekonomik yolu üzerindeki 11 şehir örneklem kümesi olarak seçilmiştir. Araştırmanın ampirik sonuçları, ekonomik olarak az gelişmiş alanlarla karşılaştırıldığında, Yangtze nehrinin yukarı havza bölgelerinin daha yüksek lojistik ekolojik verimlilik sergilediğini; genel olarak, teknik değişikliklerin olumlu etkilerinin daha güçlü olduğunu ve lojistik ekolojik verimliliğin büyümesinin başlıca teknolojik ilerlemeden kaynaklandığını; nehrin lojistik ekolojik verimliliği arasında önemli mekânsal korelasyonun mevcut olduğunu, yukarı havza bölgelerinin daha verimli bulunduğunu ve komşu iller üzerinde olumlu bir yayılma etkisine sahip olma eğiliminde olduğunu; doğrudan yabancı yatırımlar, devlet müdahalesi, ekonomik gelişme düzeyi ve beşeri sermayenin lojistik ekolojik verimlilik üzerinde olumlu etkilere sahipken, endüstriyel yapı, çevre düzenlemesi ve lojistik enerji yoğunluğunun olumsuz etkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Fathi vd. (2021) fosil yakıt ihraç eden 25 ülke örneklem kümesi üzerine yaptıkları araştırmada enerji, ekonomik ve çevresel verimlilik değerlerinin sırasıyla 0,77; 0,8 ve 0,26'ya eşit olduğu sonuçlarına ulaşmaktadır. Ayrıca verimlilik performanslarının her ülkede farklı olduğu ve belirtilen her üç ölçü dikkate alınarak denge noktalarının doğru bir şekilde belirlenmesinin mümkün olmadığı ifade edilmektedir. Zhang vd. (2021) araştırmalarında Orta ve Batı Avrupa'daki 9 ülke arasında Birleşik Krallık'ın enerji ve çevresel verimlilik açısından en üst sırada olduğunu; ardından İrlanda'nın geldiğini ve iki ülkenin etkinlik skorlarının sırasıyla 0,99 ve 0,89 olduğunu açıklamaktadır. Zheng (2021) araştırmasında Çin'in 23 şehrindeki toplam faktör enerji verimliliğinin değişim eğiliminin inceleme dönemi boyunca büyük ölçüde değiştiği; genel olarak verimliliğin, yaklaşık %11,2'lik ortalama düşüşle azalma eğilimi gösterdiği; toplam faktör verimliliğindeki düşüşün temel nedeninin teknolojik yenilik eksikliği olduğu; Çin'in çoğu şehrinde toplam faktör enerji verimliliğinin gelişme durumunun zayıf ve mutlak değer seviyesinin çok düşük bulunduğu sonuçlarına ulaşmaktadır.

Hsieh (2022) tarafından yapılan araştırmada Avrupa ve Amerika'da yer alan 35 ülke, Orta Doğu, Afrika ve Asya'da ise yer alan 30 ülke örneklem kümesi olarak belirlenmiştir. Ampirik kanıtlar, GSYH ve CO₂ emisyonlarının diğer değişkenlerle yüksek bir eğim değerine sahip olduğunu ve önemli bir ilişkiyi paylaştığını göstermiş; enerji tüketiminin ekonomik kalkınma ve çevre kirliliği ile yakın ilişkisini doğrulamış; girdi ve çıktı değişkenlerinin yüksek oranda birbirleri ile ilişkili ve istatistiksel normlarla uyumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca Amerika ve Orta Doğu'nun enerji ve çevresel verimliliğinin Avrupa, Afrika ve Asya'dan daha iyi olduğunu açıklamıştır.

Tablo 1. Enerji verimliliğine ilişkin literatür özeti

Araştırmacı/lar	Dönem	Girdiler	Çıktılar
Zhou ve Ang (2008)	1997-2001	Sermaye stoku, iş gücü, kömür tüketimi, petrol tüketimi, doğal gaz tüketimi, diğer enerji tüketimi	GSYH, CO ₂ emisyonları
Wang vd. (2009)	1995-2005	Birincil enerji tüketimi, sermaye stoku, iş gücü	GSYH, CO ₂ emisyonları
Zhou vd. (2010)	1997-2004	Sermaye stoku, iş gücü, birincil enerji tüketimi	GSYH, CO ₂ emisyonları
Wu vd. (2012)	1997-2008	Sanayi sermaye stoku, endüstriyel iş gücü, endüstriyel enerji tüketimi	Sanayi katma değeri, endüstriyel CO ₂ emisyonları
Lu vd. (2013)	2005-2007	Sanayi, nüfus	GSYH, fosil yakıt kaynaklı CO ₂ emisyonları
Song vd. (2013)	2009-2010	Enerji tüketimi, ekonomik olarak aktif nüfus sayısı, sermaye oluşum oranı	GSYH
Wang vd. (2013)	2006-2010	Enerji tüketimi, iş gücü, sermaye stoku	GSYH, CO ₂ emisyonları
Cui vd. (2014)	2008-2012	Enerji sektöründe çalışan sayısı, enerji tüketim miktarı, enerji hizmet miktarı	Sanayi kâr miktarı, CO ₂ emisyonları
Xie vd. (2014)	1996-2010	İş gücü, kurulu kapasite, yakıt tüketimi, nükleer enerji tüketimi	Elektrik gücü, CO ₂ emisyonları
Apergis vd. (2015)	1985-2011	Sermaye stoğu, iş gücü, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemeyen enerji tüketimi	GSYH, CO ₂ emisyonları

Wang ve Feng (2015)	2002-2011	Sermaye stoku, emek, enerji tüketimi	GSYH, CO ₂ ve SO ₂ emisyonları, kimyasal oksijen talebi
Woo vd. (2015)	2004-2011	İş gücü, sermaye, yenilenebilir enerji arzı	GSYH, CO ₂ emisyonları
Chen vd. (2017)	2005-2014	Güç tüketimi, istihdam edilen nüfus, sabit sermaye yatırımları	Bölgesel hâsıla, SO ₂ , kimyasal oksijen talebi, amonyak emisyonları
Feng ve Wang (2017)	2000-2014	İş gücü, sermaye stoku, enerji tüketimi	Endüstriyel üretim, CO ₂ emisyonları
Guo vd. (2017)	2000-2010	Arazi alanı, enerji tüketimi, nüfus	GSYH, CO ₂ emisyonları
Sueyoshi vd. (2017)	2014	Sermaye, iş gücü, enerji	Bölgesel ürün, CO ₂ , SO ₂ , duman ve toz, atık su, kimyasal oksijen talebi, amonyum nitrojen emisyonları
Guo vd. (2018)	2015	Kömür tüketimi, sabit kıymetler, çalışanların yıllık ortalama sayısı	Endüstri satışlarının değeri, endüstriyel SO ₂ , endüstriyel NO _x , endüstriyel duman, toz, is
Xie vd. (2018)	2003-2013	İş gücü, üretim kapasitesi, fosil yakıt tüketimi	Elektrik üretimi, CO ₂ emisyonları
Yang vd. (2018)	2013-2014	Enerji tüketimi, istihdam, sabit sermaye yatırımı	GSYH, SO ₂ , NO _x , is
Mavi ve Mavi (2019)	2012-2015	İş gücü, enerji tüketimi	GSYH, yenilenebilir enerji, sera gazı emisyonları, atık
Yang ve Wei (2019)	2005-2015	Sermaye, iş gücü, enerji tüketimi	GSYH, atık su, SO ₂ , duman, toz
Long vd. (2020)	2004-2016	Sermaye stokları, istihdam, enerji tüketimi, altyapı	Çıktı katma değeri, navlun cirosu, CO ₂ emisyonları
Fathi vd. (2021)	2015-2017	Sermaye, iş gücü, enerji tüketimi	GSYH, CO ₂ emisyonları
Zhang vd. (2021)	2010-2014	Enerji tüketimi, iş gücü	GSYH, CO ₂ emisyonları
Zheng (2021)	2012-2018	Sermaye stoku, çalışan nüfus, enerji tüketimi	GSYH, endüstriyel SO ₂ , duman, atık su, PM2.5, endüstriyel enerji terminal tüketimi
Hsieh (2022)	2015-2019	Nüfus, petrol tüketimi, doğal gaz tüketimi, kömür tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi	Petrol üretimi, doğal gaz üretimi, kömür üretimi, yenilenebilir enerji üretimi, GSYH, CO ₂ emisyonları

Yukarıda belirtilen literatür araştırmalarının ışığında, bu araştırmada çevresel kalite ve ekonomik büyümeden ödün vermeden enerji verimliliği ölçülmektedir.

4. AMPİRİK ANALİZ

4.1. Metodoloji

Veri Zarflama Analizi, karar verme birimlerinin performansını değerlendirmek için matematiksel programlama tekniklerini kullanan bağıl etkinlik kavramına dayalı bir etkinlik değerlendirme yöntemidir (Fathi vd., 2021, s. 590; Zheng, 2021, s. 400). Diğer bir ifadeyle, karar verme birimlerinin girdi ve çıktılarına dayalı verimli üretim sınırlarının oluşturulmasını sağlayan ve parametrik olmayan, doğrusal programlama tabanlı bir yaklaşımdır (Song vd., 2013, s. 1050).

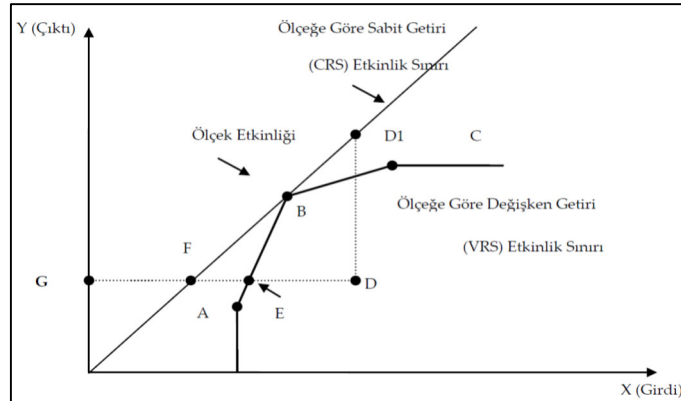
VZA'da her bir karar verme birimi (KVB) ile KVB'ler tarafından oluşturulan en iyi uygulama sınırı arasındaki mesafeyi hesaplamak için, matematiksel programlama modelleri kullanılır ve her bir KVB'nin verimlilik puanı hesaplanır (Wu vd., 2012, s. 165).

VZA yöntemi, öznel faktörlerden kaçınma, algoritmaları basitleştirme, hataları azaltma gibi konularda güçlü avantajlara sahiptir (Zheng, 2021, s. 398). Bu bağlamda VZA metodolojik ilerlemeleri ile enerji verimliliği ölçümünün VZA'nın önemli bir uygulama alanı olarak belirlendiği enerji ve çevre çalışmalarında güvenilir bir araçtır ve araştırmacılar tarafından uygulama alanı artan bir yöntemdir (Hsieh, 2022, s. 1399; Wu vd., 2012, s. 165).

VZA ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımı altında oluşturulmuş ve CCR modeli olarak açıklanmıştır. Banker, Charnes ve Cooper (1984) ise modeli ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımını içerecek şekilde genişleterek BCC modelini geliştirmişlerdir (Çakmak ve Örkücü, 2016, s. 36). CCR modelleri ile karar verme birimlerinin toplam yani hem teknik hem de ölçek etkinlik değerleri, BCC modelleri ile teknik etkinlik değerleri ölçülmektedir. Bununla birlikte BCC modellerde, teknik anlamda etkin olan bir karar biriminin eğer ölçekten kaynaklanan bir etkinsizliği varsa CCR modellerde toplam etkinlik sağlanamamaktadır.

Etkinlik değerinin %100 olması KVB'lerin, gözlemlenen performansı ile potansiyel performansının eşit olduğu anlamını taşır ve etkinliğin sağlandığı sonucuna ulaşılır. Değerin %100'ün altında olması ise, KVB'lerin gözlemlenen performansının, potansiyel performansından düşük olduğuna işaret eder ve etkin olmayan karar verme birimini belirtir (Yıldız, 2007, s. 94).

CCR ve BCC modelleri arasındaki ayırım, tek girdi ve tek çıktı durumu için Şekil 4 içerisinde görselleştirilen etkinlik sınırı sayesinde daha iyi gözlemlenmektedir. CCR modelinde etkinlik sınırının şekli, CRS varsayımı altında orijinden geçen bir doğru biçimini alır. BCC modelinde ise VRS varsayımından dolayı parçalı doğrusal ve iç bükey olur. BCC modelindeki uygun bölge, CCR modelindeki uygun bölgenin bir alt kümesini içerdiği için CCR modeline göre etkin olarak belirlenen bir karar verme birimi, BCC modeline göre de etkin olur (Çakmak ve Örkücü, 2016, s. 34). Dolayısıyla BCC modelinin esnekliği CCR modeline göre daha yüksektir.



Şekil 4. CCR ve BCC modellerinde etkinlik sınırları
Kaynak: Çakmak ve Örkücü, 2016, s. 35

CCR ve BCC modelleri girdi ya da çıktı yönelimli olmak üzere başlıca iki farklı şekilde kurulmaktadır. Karar verme birimlerinin girdiler üzerindeki kontrolü az olduğunda çıktı yönelimli bir modelin; çıktılar üzerindeki kontrolü az olduğunda ise girdi yönelimli bir modelin kurulması önerilir. Girdi yönelimli modellerde, istenilen çıktı miktarının üretilmesi için en az girdi miktarının kullanılmasına; çıktı yönelimli modellerde ise arzu edilen girdi ile en fazla çıktı miktarının üretilmesine odaklanılır (Özden, 2008, ss. 169-170).

4.1.1. Veri Zarflama Analizi

Bu araştırmada, ülkelerin en az girdi değişkenlerini kullanma dolayısıyla enerji tüketimlerini azaltma amacına yönelik olarak girdi minimizasyonu modeli tercih edildiği için girdi odaklı modellerin yapısı açıklanmaktadır.

Eşitlik (1) ve eşitlik (2), sırasıyla, girdi yönelimli CCR ve BCC modellerinin matematiksel yapısını ifade etmektedir (Woo vd., 2015, s. 369):

Minimum θ

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_j x_j + s^- &= \theta x_0, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n z_j x_j - s^+ &= y_0, j = 1, 2, \dots, n \\ z_0 &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

Model BCC ise,

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1 \text{ ilave edilir.} \quad (2)$$

4.1.2. Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi

VZA modelleri ile KVB'lerin görelisi etkinliği analiz edilirken, Malmquist Toplam Faktör Verimlilik (TFV) Endeksi ile t ve $t+1$ dönemleri arasındaki etkinlik değişimi incelenmektedir. Endeks, KVB'lerin üretkenliklerini ölçmek için iki uzaklık fonksiyonunun oranını ifade etmektedir. Denklem (3), Malmquist verimlilik endeksinin, teknik etkinlik değişimi ve etkin sınır değişimi olmak üzere iki bileşene ayrılabilceğini belirtir (Woo vd., 2015, s. 370):

$$M_t^{t+1} = \left[\frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{Teknik etkinlik değişimi} = \frac{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^t(x_0^t, y_0^t)} \quad (4)$$

$$\text{Etkin sınır değişimi} = \left[\frac{D_0^t(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})} \frac{D_0^t(x_0^t, y_0^t)}{D_0^{t+1}(x_0^t, y_0^t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Eşitlik (3)'teki M_t^{t+1} , t ve $t+1$ dönemleri arasındaki endeks iken, $D_0^t(x_0^t, y_0^t)$ ve $D_0^{t+1}(x_0^{t+1}, y_0^{t+1})$, sırasıyla t ve $t+1$ dönemleri arasındaki girdi ve çıktıların uzaklık fonksiyonlarıdır. $M_t^{t+1} > 1$ verimlilik artışı, $M_t^{t+1} = 1$ verimliliğin sabit olduğunu, $M_t^{t+1} < 1$ ise verimlilik azalışını belirtir. Teknik etkinlik değişimi, 'yakalama' etkisini yani bir KVB'nin t ve $t+1$ dönemlerinde üretim sınırına yakınlığını ya da uzaklığını ler. Etkin sınır değişimi ise, KVB'lerin t ve $t+1$ dönemleri arasındaki teknolojik ilerlemelerini veya gerilemelerini ölçen 'sınır kayması' etkisi olarak bilinir.

4.2. Girdi ve ıktı Kümesi

Girdi ve çıktı değişkenlerine ait tercih işlemleri Fathi vd. (2021), Wang vd. (2009), Wang vd. (2013), Wang vd. (2016), Wang ve Feng (2015), Zhou vd. (2010) tarafından yapılan araştırmalara dayanmaktadır. Değişkenlere ait ayrıntılı bilgiler Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Girdi ve çıktı kümesi

Toplam endeks	Birinci düzey endeks	İkinci düzey endeks	Birim
Enerji verimliliği	Enerji verimliliği girdisi	C: Gayri safi sabit sermaye	GSYH'nin %si
		L: İş gücü	Toplam
	İstenen çıktı	E: Kişi başına birincil enerji tüketimi	Gigajoule
		GSYH: Kişi başına GSYH	Sabit, 2015 ABD Doları
İstenmeyen çıktı	CO ₂ : Kişi başına CO ₂ emisyonları	Metrik ton	

Modellere göre, KVB setinin KVB(k) üzerinde yer aldığı varsayılır. $k = 1, 2, \dots, K$. $x_{nk} = (x_{1k}x_{2k} \dots x_{Nk})$, $e_{lk} = (e_{1k}e_{2k} \dots e_{Lk})$, $y_{mk} = (y_{1k}y_{2k} \dots y_{Mk})$ ve $u_{jk} = (u_{1k}u_{2k} \dots u_{Jk})$ sırasıyla enerji dışı girdilerin, enerji girdilerinin, istenen ve istenmeyen çıktılarının vektörleridir. KVB_i 'nin verimlilik puanı şu şekilde tanımlanabilir (Yao vd., 2021, ss. 3-4):

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^K z_k x_{nk} &\leq x_{ni}, n = 1, 2, \dots, N \\
 \sum_{k=1}^K z_k e_{lk} &\leq \theta_i l_i, l = 1, 2, \dots, L \\
 \sum_{k=1}^K z_k y_{mk} &\geq y_{mi}, m = 1, 2, \dots, M \\
 \sum_{k=1}^K z_k u_{jk} &= u_{ji}, j = 1, 2, \dots, J \quad z_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K
 \end{aligned} \quad (6)$$

Görelî enerji verimliliğini ölçerken istenmeyen çıktının (CO₂ emisyonları) modele dahil edilmesi, enerjinin çevre üzerindeki ekolojik etkisini yansıtmaktadır.

Tablo 3, veri setini özetleyen temel göstergelerin katsayılarının tanımlayıcı istatistiklerini göstermektedir. Bu bağlamda değişkenlerin minimum, maksimum, ortalama, standart hata, basıklık, çarpıklık ve Jarque-Bera değerlerini göstermekte; verilerin model içindeki dağılımının anlaşılmasını sağlamaktadır. Normallik sınavasını açıklayan Jarque-Bera değerleri, değişkenlerin normal dağılmadığının bilgisini vermektedir. Ancak VZA non-parametrik bir yöntem olduğu için normal dağılım varsayımı dikkate alınmamaktadır.

Tablo 3. Tanımlayıcı istatistikler

İstatistikler	C	L	E	GDP	CO ₂
Minimum	13,72762	1944777	3,834870	653,8086	10,56744
Maksimum	43,92930	7,95E+08	599,4821	58056,81	9899,335
Ortalama	25,37086	38489634	69,32116	5405,328	199,4239
Standart hata	5,939304	2,02E+08	132,7776	18497,04	1864,630
Basıklık	4,265843	8,157746	7,023089	2,267522	16,77789
Çarpıklık	0,703790	2,531355	1,931326	0,864316	3,768804
Jarque-Bera	11,94548	174,1113	103,6844	11,74897	822,1526
Olasılık	0,0025	0,0000	0,0000	0,0028	0,0000
Gözlem sayısı	80	80	80	80	80

Küresel CO₂ emisyonlarının %52'sini üreten Asya-Pasifik bölgesindeki 16 ülke karar verme birimi için sermaye, iş gücü, enerji, ekonomik büyüme ve CO₂ değişkenlerini içeren veriler, Dünya Bankası'nın dünya gelişme göstergelerinden alınmıştır. Çözümleme işlemleri Eviews ve EMS paket programları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR

Korelasyon matrisi, değişkenler kümesi arasındaki olası ilişkinin yapısını belirlemeye yönelik birincil adımdır. Bu bağlamda korelasyon katsayısı pozitif ise, bağımlı değişken bağımsız değişkenle aynı yönde; katsayı negatif ise, bağımlı değişken bağımsız değişkenin tersi yönde hareket etmektedir. Korelasyon katsayısı $|r| = 1$ olduğunda korelasyon düzeyi doğrusal, $|r| \geq 0,80$ olduğunda korelasyon düzeyi güçlü, $|r| < 0,80$ olduğunda ise korelasyon düzeyi zayıftır (Wang vd., 2018, s. 9). Tablo 4, değişkenler arasındaki korelasyon matrisini sunmaktadır. Buna göre çıktı değişkenlerinden GSYH değişkeni, enerji değişkeni ile; CO₂ değişkeni ise iş gücü değişkeni ile pozitif yönlü ve güçlü korelasyon düzeylerine sahiptir. Değişkenlerden GSYH ile sermaye, CO₂ ile enerji arasındaki negatif yönlü korelasyon düzeyinin en zayıf olduğu değişkenlerdir.

Tablo 4. Korelasyon matrisi bulguları

Değişkenler	C	L	E	GSYH	CO ₂
C	1,0000				
L	0,6631	1,0000			
E	0,0233	-0,2346	1,0000		
GSYH	-0,0797	-0,3067	0,8424	1,0000	
CO ₂	0,6938	0,8922	-0,0700	-0,1219	1,0000

Girdi yönelimli CCR modelin bulgularını içeren Tablo 5 incelendiğinde, Avustralya, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda ve Singapur'un incelenen tüm dönemlerde; Sri Lanka'nın ise 2010 ve 2015 yıllarında enerji verimliliğine sahip olan etkin karar verme birimleri olduğu görülmektedir. Dolayısıyla belirtilen ülkelerin gözlemlenen performansları ile potansiyel performansları eşittir. Bununla birlikte Bangladeş, Hindistan, Endonezya, Malezya, Pakistan, Filipinler, Güney Kore, Tayland ve Vietnam ülkeleri etkin olmayan karar verme birimleridir ve gözlemlenen performansları, potansiyel performanslarından düşüktür. Etkinlik skorunun en düşük olduğu ülke ise Vietnam'dır.

Tablo 5. Girdi yönelimli CCR model bulguları

Karar Verme Birimleri	2000	2005	2010	2015	2020	Ortalama
Avustralya	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Bangladeş	%72,28	%74,27	%67,96	%59,67	%57,62	%66,36
Çin	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Hong Kong	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Hindistan	%65,68	%60,30	%60,65	%67,38	%70,83	%64,97
Endonezya	%53,98	%47,41	%46,00	%46,03	%42,73	%47,23
Japonya	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Malezya	%57,26	%65,71	%71,88	%72,28	%78,50	%69,13
Yeni Zelanda	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Pakistan	%44,09	%41,83	%41,04	%41,41	%36,13	%40,90
Filipinler	%56,23	%74,21	%79,07	%74,67	%63,64	%69,56
Singapur	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Güney Kore	%84,46	%84,46	%96,83	%93,67	%99,39	%91,76
Sri Lanka	%81,21	%94,61	%100,00	%100,00	%79,74	%91,11
Tayland	%46,15	%41,70	%41,09	%42,73	%47,63	%43,86
Vietnam	%43,96	%40,00	%34,71	%29,53	%38,05	%37,25

Tablo 6, girdi yönelimli BCC modelin bulgularını içermektedir. Bulgulara göre Avustralya, Bangladeş, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda, Pakistan, Singapur ve Sri Lanka incelenen dönemlerin tümünde; Malezya ve Filipinler 2000, 2005 ve 2010 yıllarında; Güney Kore 2020 yılında enerji verimliliğine sahip, etkin karar verme birimleridir. Hindistan, Endonezya, Tayland ve Vietnam ülkeleri ise etkin olmayan karar verme birimleridir ve etkinlik skorunun en düşük olduğu ülke, Endonezya'dır.

Tablo 6. Girdi yönelimli BCC model bulguları

Karar Verme Birimleri	2000	2005	2010	2015	2020	Ortalama
Avustralya	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Bangladeş	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Çin	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Hong Kong	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Hindistan	%79,56	%73,16	%76,59	%85,46	%90,45	%81,04
Endonezya	%86,00	%71,97	%60,07	%59,61	%60,25	%67,58
Japonya	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Malezya	%100,00	%100,00	%100,00	%95,57	%98,26	%98,77
Yeni Zelanda	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Pakistan	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Filipinler	%100,00	%100,00	%100,00	%95,63	%98,09	%98,74
Singapur	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Güney Kore	%92,19	%90,36	%97,63	%94,09	%100,00	%94,85
Sri Lanka	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00	%100,00
Tayland	%92,48	%75,80	%83,79	%88,36	%87,16	%85,52
Vietnam	%84,95	%70,24	%62,40	%79,20	%82,51	%75,86

CCR modelinin bulgularına göre etkin olan KVB sayısı 6 iken, BCC modeline göre etkin olan KVB sayısı 9 tanedir. Ölçeğe göre sabit ve değişken getirili model bulgularının karşılaştırılması, ülkelerin teknik ve toplam etkinliklerinin farklı olduğunu göstermektedir. CCR modelinde etkin bulunan Avustralya, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda ve Singapur ülkeleri hem teknik hem de ölçek etkindir, dolayısıyla toplam etkinliğe olan ülkelerdir. BCC modelinde etkin ancak CCR modelinde etkin bulunmayan Bangladeş, Pakistan ve Sri Lanka ülkeleri ise sadece teknik etkinliğe sahip olan ülkeler olup, uygun ölçekte üretim yapamayan ülkelere işaret etmektedir. Bulgular, BCC modelin CCR modele göre esnek olduğunu doğrulamaktadır.

Etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri, teknik ve ölçek etkinlik değerlerinin toplamını veren CCR modelin bulgularına göre tercih edilmiş ve bulgular Tablo 7 içerisine aktarılmıştır. Bu bağlamda Çin, en yüksek sıklıkta referans olan ülkeye işaret etmektedir. Ardılı, sırasıyla, Hong Kong, Japonya, Avustralya ve Sri Lanka gelmektedir. Bununla birlikte Yeni Zelanda ve Singapur, etkin olmayan karar verme birimleri için herhangi bir dönemde referans olamayan ülkelerdir.

Tablo 7. Etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri

Karar Verme Birimleri	2000	2005	2010	2015	2020
Bangladeş	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong	Çin, Sri Lanka	Çin, Sri Lanka	Çin, Hong Kong
Hindistan	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong	Çin, Sri Lanka	Çin	Çin
Endonezya	Çin, Hong Kong	Çin, Japonya	Çin, Hong Kong	Çin, Japonya	Çin, Hong Kong
Malezya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya
Pakistan	Çin, Hong Kong, Japonya	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Hong Kong
Filipinler	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Hong Kong
Güney Kore	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya	Avustralya, Japonya
Sri Lanka	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong	-	-	Çin, Hong Kong
Tayland	Çin, Hong Kong	Çin, Japonya	Çin, Japonya	Çin, Japonya	Çin, Japonya
Vietnam	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Hong Kong, Sri Lanka	Çin, Japonya

Tablo 8, CCR modeline göre etkin olmayan karar verme birimlerinin girdi değişkenlerinde yapılacak potansiyel iyileştirme değerlerini belirtmekte, dolayısıyla söz konusu değerlerle etkin hale geleceklerinin bilgisini sunmaktadır. Bu doğrultuda sermaye ve iş gücü değişkenlerine ait yeni değerlerle ülkelerin gözlemlenen performansları ile potansiyel performanslarının eşitliği sağlanacaktır.

Tablo 8. Etkin olmayan KVB'ler için potansiyel iyileştirme değerleri

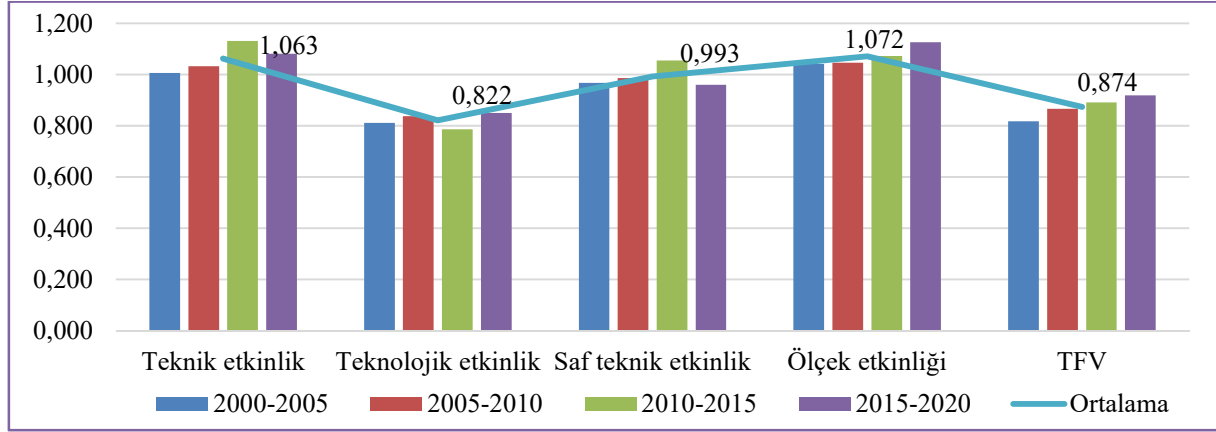
Karar Verme Birimleri	2000		2005		2010		2015		2020	
	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L
Bangladeş	16,36	23,01	18,47	98,34	10,02	61,63	8,98	03,27	16,51	91,58
Hindistan	10,98	06,69	20,43	21,87	19,20	06,30	17,61	37,29	17,50	73,82
Endonezya	6,82	1,95	10,49	24,38	13,39	31,51	15,78	11,09	12,56	62,55
Malezya	8,21	-	6,11	0,01	6,19	-	7,32	-	4,86	-
Pakistan	5,34	0,33	5,25	48,54	-	73,26	-	53,05	3,61	49,12
Filipinler	8,52	86,19	11,72	56,60	-	78,50	-	68,72	11,72	52,54
Güney Kore	9,61	0,11	6,66	0,11	4,46	0,10	1,05	0,04	4,54	0,00
Sri Lanka	20,81	64,33	20,58	17,44	-	-	-	-	18,57	03,37
Tayland	6,36	0,31	7,76	0,04	5,93	0,01	4,93	-	4,40	0,11
Vietnam	10,80	25,01	11,15	31,90	-	30,19	3,70	0,04	5,84	-

Tablo 9'a göre KVB'lerin Malmquist TFV Endeksindeki en yüksek etkinliği 1,077 oranıyla ölçek etkinliğindedir ve bu kapsamda ülkelerin uygun ölçekte üretim yapma başarılarını göstermektedir. Ardılı teknik etkinlik değeri (1,069), KVB'lerin en iyi üretim sınırını yakalama etkisini açıklamaktadır. Bu kapsamda enerji verimliliğinin ana faktörleri olarak, ölçek etkinlik ve teknik etkinlik endeksleri görülmektedir. 0,993 olan saf teknik etkinlik değeri, KVB'lerin yönetsel etkinliğine işaret etmektedir ve değerin 1'in altında olması yönetsel etkinliğin kötü olduğunu belirtmektedir. Toplam faktör verimliliğinin 1'in altında olması KVB'lerin teknik ve teknolojik etkinliklerinin başarısızlığını ifade etmektedir. Tüm KVB'lerin teknolojik etkinlik değerinin 1'den küçük olması ise, üretim sınırının aşağıya doğru eğimli olduğunu söylemektedir. Ülkeler özelinde değerlendirme, sadece Japonya, Pakistan ve Yeni Zelanda ülkelerinin toplam faktör verimliliğine göre verimli olduklarının bilgisini sunmaktadır.

Tablo 9. Malmquist TFV Endeksi bulguları: 2000-2020

Karar Verme Birimleri	Teknik etkinlik	Teknolojik etkinlik	Saf teknik etkinlik	Ölçek etkinliği	TFV	Rank
Japonya	1,314	0,804	0,970	1,355	1,057	1
Pakistan	1,202	0,846	1,128	1,066	1,017	2
Yeni Zelanda	1,218	0,827	1,052	1,158	1,008	3
Avustralya	1,193	0,812	0,977	1,221	0,968	4
Endonezya	1,073	0,843	1,075	0,999	0,905	5
Tayland	1,099	0,814	0,994	1,105	0,895	6
Güney Kore	1,132	0,785	0,992	1,141	0,889	7
Filipinler	1,142	0,773	1,007	1,134	0,883	8
Hindistan	1,000	0,848	1,000	1,000	0,848	9
Hong Kong	1,012	0,827	0,899	1,126	0,837	10
Sri Lanka	1,000	0,833	1,000	1,000	0,833	11
Malezya	1,055	0,780	0,946	1,116	0,823	12
Bangladeş	1,000	0,809	1,000	1,000	0,809	13
Singapur	0,918	0,827	0,911	1,008	0,760	14
Çin	0,861	0,879	1,000	0,861	0,757	15
Vietnam	0,888	0,840	0,940	0,945	0,746	16
Ortalama	1,069	0,822	0,993	1,077	0,877	

Teknik etkinlik, teknolojik etkinlik, saf teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve toplam faktör verimliliğindeki 2000-2020 dönem aralığı içerisindeki değişimin seyri Şekil 5 içerisine aktarılmıştır. Bu kapsamda değişimin en yüksek olduğu etkinlik düzeyinin ölçek etkinliği olduğu, ardılı teknik etkinlik olduğu görülmektedir. Ulaşılan bulgu, analizin örneklem kümesini oluşturan ülkelerin girdi-çıkıtı kombinasyonunda uygun ölçekte ve üretim sınırında olduklarını belirtmektedir. En düşük etkinlik düzeyi olan teknolojik etkinlik ise ülkelerin teknolojik yeniliklerinin yetersiz olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 5. Malmquist TFV Endeksi değişimi

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Enerji verimliliği konusu, küresel bir sorundur ve enerji talebi, ekonomik gelişmeye bağlı olarak artma eğilimindedir. Enerji talebinin artması ise dünya çapında ciddi çevresel bozulmaya neden olmaktadır. 2020 yılında 254 EJ birincil enerji tüketimi olan Asya-Pasifik ülkelerinin enerji yapısına konvansiyonel enerji (%48 kömür, %26 petrol ve %12 doğal gaz) hâkimdir. Bu durum ise bölge ülkelerinin yüksek miktarda CO₂ emisyonu salınımına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu araştırmanın örneklem kümesi olarak seçilen Asya-Pasifik ülkelerinde, çevresel kalite ve ekonomik büyümeden ödün vermeden enerji verimliliğinin göreceli etkinliğini ve performansını belirlemek önemli bir araştırma sorusudur. Asya-Pasifik bölgesinin yüksek enerji talebi (küresel toplamın %45'i, 2020 yılı) ve artan emisyon salınımları (küresel toplamın %52'si, 2020 yılı) ile karakterize olması, çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Literatür incelemesinde kullanılan değişkenler ve yöntem kapsamında, söz konusu ülkeler üzerine yapılan herhangi bir araştırmaya rastlanmamış olması ise araştırmanın özgünlüğüne atfedilmektedir.

Bu çalışmada, 2000-2020 döneminde Asya-Pasifik ülkelerinin enerji verimliliği konusu, çevre kirliliği ve ekonomik büyüme açısından VZA ve Malmquist TFV Endeksi aracılığıyla bütünlük bir yaklaşımla incelenmiştir. Literatür araştırmaları doğrultusunda analiz işlemleri, sermaye, iş gücü ve enerji tüketimi girdi değişkenleri ile GSYH (istenen) ve CO₂ emisyonları (istenmeyen) çıktı değişkenleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Girdi yönelimli ölçeğe göre sabit getirili model sonuçları, Asya-Pasifik bölgesindeki ülkelere Avustralya, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda ve Singapur'un 2000-2020 döneminde; Sri Lanka'nın ise 2010 ve 2015 yıllarında enerji verimliliğine sahip, etkin karar verme birimleri olduğunu göstermiştir. Bangladeş, Hindistan, Endonezya, Malezya, Pakistan, Filipinler, Güney Kore, Tayland ve Vietnam ülkelerinin etkin olmayan karar verme birimleri olduğu görülmüştür. Belirtilen ülkeler arasında ise etkinlik skorunun en düşük olduğu ülke, Vietnam'dır. Girdi yönelimli ölçeğe göre değişken getirili modelin sonuçlarına göre, Avustralya, Bangladeş, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda, Pakistan, Singapur ve Sri Lanka'nın 2000-2020 döneminde; Malezya ve Filipinler 2000, 2005 ve 2010 yıllarında; Güney Kore 2020 yılında enerji verimliliğine sahip, etkin karar verme birimleridir. Hindistan, Endonezya, Tayland ve Vietnam ülkeleri ise etkin olmayan karar verme birimleridir ve etkinlik skorunun en düşük olduğu ülke, Endonezya'dır.

2000-2020 döneminde ölçeğe göre sabit getirili model sonuçlarına göre etkin olan ülke sayısı 6, ölçeğe göre değişken getirili model sonuçlarına göre etkin olan ülke sayısı 9 olarak bulunmuştur. Her iki model sonuçlarının karşılaştırılması, ülkelerin teknik ve toplam etkinliklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Ölçeğe göre sabit getirili modelde etkin bulunan Avustralya, Çin, Hong Kong, Japonya, Yeni Zelanda ve Singapur ülkeleri hem teknik hem de ölçek etkinidir, dolayısıyla toplam etkin olan ülkelerdir. Ölçeğe göre sabit getirili modelde etkin, ancak ölçeğe göre değişken getirili modelde etkin olmayan Bangladeş, Pakistan ve Sri Lanka ülkeleri ise sadece teknik etkinliğe

sahip olan ülkeler olup, uygun ölçekte üretim yapamayan ülkelerdir. Dolayısıyla model karşılaştırmaları, sabit getirili modelin değişken getirili modele göre esnek olduğunu doğrulamıştır. Etkin olmayan ülkeler için oluşturulan referans kümeleri, hem teknik hem de ölçek etkinliğini gösteren toplam etkinlik sonuçlarına göre sabit getirili modele göre belirlenmiştir. Bu kapsamda Çin, etkin olmayan karar verme birimleri için en yüksek referans sıklığı olan ülke olarak bulunmuştur. Ardılı, sabit getirili modele göre etkin olmayan karar verme birimleri için girdi değişkenlerinde yapılması gereken olası potansiyel iyileştirme değerleri verilmiştir.

Malmquist TFV Endeksi sonuçları, en yüksek etkinlik skorunun ölçek etkinliğinde sonrasında ise teknik etkinlik skorunda olduğuna işaret etmiştir. Ölçek etkinlik sonuçları, ülkelerin uygun ölçekte üretim yaptığını; teknik etkinlik skoru ise ülkelerin en iyi üretim sınırını yakalama etkisini açıklamıştır. Bununla birlikte saf teknik etkinlik skoru, ülkelerin yönetsel etkinlik alanında başarısız olduğunu; toplam faktör verimliliği skoru ise teknik ve teknolojik etkinlik düzeylerinde kötü olduğunu belirtmiştir. Tüm ülkelerin en kötü skor sergilediği teknolojik etkinlik sonuçları ise, üretim sınırının aşağıya doğru eğimli olduğunu göstermiştir. Ülkeler açısından bir değerlendirme, sadece Japonya, Pakistan ve Yeni Zelanda ülkelerinin Malmquist TFV Endeksine göre verimli olduğunun bilgisini sunmuştur.

Asya-Pasifik ülkelerinin mevcut durumdaki yüksek enerji talebi ve CO₂ emisyon miktarı, genellikle ülkelerin düşük enerji verimliliğine ve çevresel performanslarına işaret etmektedir. Söz konusu durum, ulaşılan sonuçlar tarafından da desteklenmektedir. Karar vericilerin, enerji yapısında konvansiyonel enerjinin payını azaltmak ve karbondan arındırılmış bir ekonomi için temiz ve verimli enerji teknolojilerine odaklanmaları salık verilmektedir. Ülkelerin enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik olarak teknolojik yeniliklere yatırım yapmaları önerilmektedir. Temiz üretim teknolojileri için yapılacak olan yatırımlar sayesinde, hem ekonomik büyüme gerçekleştirilirken hem de enerji sektörünün karbon yoğunluğu azaltılabilir. Ayrıca enerji ve çevre konularında sürdürülebilir bir büyümenin tüm yönlerini içerecek şekilde politika yaklaşımlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

Ali, Q., Yaseen, M. R., Anwar, S., Makhdom, M. S. A. ve Khan, M. T. I. (2021). The impact of tourism, renewable energy, and economic growth on ecological footprint and natural resources: A panel data analysis. *Resources Policy*, 74, 1-17. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102365

Apergis, N., Aye, G. C., Barros, C. P., Gupta, R. ve Wanke, P. (2015). Energy efficiency of selected OECD countries: A slacks based model with undesirable outputs. *Energy Economics*, 51, 45-53. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.05.022

BP, (2021). *Statistical review of world energy*. Erişim, 23 Nisan 2022, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

Chen, W., Zhou, K. ve Yang, S. (2017). Evaluation of China's electric energy efficiency under environmental constraints: A DEA cross efficiency model based on game relationship. *Journal of Cleaner Production*, 164, 38-44. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.178

Cui, Q., Kuang, H. B., Wu, C. Y. ve Li, Y. (2014). The changing trend and influencing factors of energy efficiency: The case of nine countries. *Energy*, 64, 1026-1034. DOI: 10.1016/j.energy.2013.11.060

Çakmak, E. ve Örkücü, H. H. (2016). Türkiye'deki illerin etkinliklerinin sosyo-ekonomik temel göstergelerle veri zarflama analizi kullanarak incelenmesi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 30-48. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/joiss/issue/30778/323570>

Evans, S. (2021). Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?. Erişim, 23 Nisan 2022, <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>.

Fathi, B., Ashena, M. ve Bahari, A. R. (2021). Energy, environmental, and economic efficiency in fossil fuel exporting countries: A modified data envelopment analysis approach. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 588-596. DOI: 10.1016/j.spc.2020.12.030

Feng, C. ve Wang, M. (2017). Analysis of energy efficiency and energy savings potential in China's provincial industrial sectors. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1531-1541. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.081

García-Quevedo, J. ve Jové-Llopis, E. (2021). Environmental policies and energy efficiency investments. An industry-level analysis. *Energy Policy*, 156, 1-9. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112461

Guo, P., Qi, X., Zhou, X. ve Li, W. (2018). Total-factor energy efficiency of coal consumption: An empirical analysis of China's energy intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2618-2624. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.149

Guo, X., Lu, C. C., Lee, J. H. ve Chiu, Y. H. (2017). Applying the dynamic DEA model to evaluate the energy efficiency of OECD countries and China. *Energy*, 134, 392-399. DOI: 10.1016/j.energy.2017.06.040

Hsieh, J. C. (2022). Study of energy strategy by evaluating energy-environmental efficiency. *Energy Reports*, 8, 1397-1409. DOI: 10.1016/j.egy.2021.12.061

IEA, (2021). *Energy efficiency 2021*. Erişim, 2 Mart 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9c30109f-38a7-4a0b-b159-47f00d65e5be/EnergyEfficiency2021.pdf>

IEA, (2021a). *World energy investment 2021*. Erişim, 19 Mart 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5e6b3821-bb8f-4df4-a88b-e891cd8251e3/WorldEnergyInvestment2021.pdf>

Long, R., Ouyang, H. ve Guo, H. (2020). Super-slack-based measuring data envelopment analysis on the spatial-temporal patterns of logistics ecological efficiency using global Malmquist Index model. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 1-14. DOI: 10.1016/j.eti.2020.100770

Lu, C. C., Chiu, Y. H., Shyu, M. K. ve Lee, J. H. (2013). Measuring CO₂ emission efficiency in OECD countries: Application of the Hybrid Efficiency model. *Economic Modelling*, 32, 130-135. DOI: 10.1016/j.econmod.2013.01.047

Mavi, N. K. ve Mavi, R. K. (2019). Energy and environmental efficiency of OECD countries in the context of the circular economy: Common weight analysis for malmquist productivity index. *Journal of Environmental Management*, 247, 651-661. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.069

Myllyvirta, L. (2020). *Quantifying the economic costs of air pollution from fossil fuels*. Erişim, 19 Mart 2022, <https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/02/Cost-of-fossil-fuels-briefing.pdf>

Özden, H. Ü. (2008). Veri zarflama analizi ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/98116>

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377-390. DOI: 10.1016/0301-4215(96)00017-1

Ringel, M., Schlomann, B., Krail, M. ve Rohde, C. (2016). Towards a green economy in Germany? The role of energy efficiency policies. *Applied Energy*, 179, 1293-1303. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.063

Ritchie, H. ve Roser, M. (2020). *CO₂ and greenhouse gas emissions*. Erişim, 23 Nisan 2022, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

Song, M. L., Zhang, L. L., Liu, W. ve Fisher, R. (2013). Bootstrap-DEA analysis of BRICS' energy efficiency based on small sample data. *Applied Energy*, 112, 1049-1055. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.02.064

Sueyoshi, T., Yuan, Y., Li, A. ve Wang, D. (2017). Methodological comparison among radial, non-radial and intermediate approaches for DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 67, 439-453. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.07.018

Taylor, P. G., d'Ortigue, O. L., Francoeur, M. ve Trudeau, N. (2010). Final energy use in IEA countries: The role of energy efficiency. *Energy Policy*, 38(11), 6463-6474. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.05.009

Wang, D., Liu, Y., Wu, Z., Fu, H., Shi, Y. ve Guo, H. (2018). Scenario analysis of natural gas consumption in China based on wavelet neural network optimized by particle swarm optimization algorithm. *Energies*, 11(4), 1-16. DOI: 10.3390/en11040825

Wang, Q., Su, B., Zhou, P. ve Chiu, C. R. (2016). Measuring total-factor CO₂ emission performance and technology gaps using a non-radial directional distance function: A modified approach. *Energy Econs*, 56, 475-482. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.04.005

Wang, Q., Wang, S. ve Wang, X. (2009). Research on total factor energy efficiency in China based on super efficiency grey DEA model. *2009 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS 2009)*, 1542-1547. DOI: 10.1109/GSIS.2009.5408159

Wang, K., Lu, B. ve Wei, Y. M. (2013). China's regional energy and environmental efficiency: A Range-Adjusted Measure based analysis. *Applied Energy*, 112, 1403-1415. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.04.021

Wang, Z. ve Feng, C. (2015). A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: An application of global data envelopment analysis. *Applied Energy*, 147, 617-626. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.108

Wendling, Z. A., Emerson, J. W., de Sherbinin, A. ve Esty, D. C. (2020). *2020 Environmental performance index*. Erişim, 8 Mart 2022, <https://epi.yale.edu/downloads/epi2020report20210112.pdf>.

Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H. ve Hong, S. (2015). The static and dynamic environmental efficiency of renewable energy: A Malmquist index analysis of OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 367-376. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.070

Wu, F., Fan, L. W., Zhou, P. ve Zhou, D. Q. (2012). Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China: A nonparametric analysis. *Energy Policy*, 49, 164-172. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.05.035

Xie, B. C., Gao, J., Zhang, S., Pang, R. Z. ve Zhang, Z. X. (2018). The environmental efficiency analysis of China's power generation sector based on game cross-efficiency approach. *Structural Change and Economic Dynamics*, 5, 1-10. DOI: 10.1016/j.strueco.2018.05.002

Xie, B. C., Shang, L. F., Yang, S. B. ve Yi, B. W. (2014). Dynamic environmental efficiency evaluation of electric power industries: Evidence from OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and BRIC (Brazil, Russia, India and China) Countries. *Energy*, 74, 147-157. DOI: 10.1016/j.energy.2014.04.109

Yang, T., Chen, W., Zhou, K. ve Ren, M. (2018). Regional energy efficiency evaluation in China: A super efficiency slack-based measure model with undesirable outputs. *Journal of Cleaner Production*, 198, 859-866. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.098

Yang, Z. ve Wei, X. (2019). The measurement and influences of China's urban total factor energy efficiency under environmental pollution: Based on the game cross-efficiency DEA. *Journal of Cleaner Production*, 209, 439-450. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.271

Yao, X., Yasmineen, R., Hussain, J. ve Shah, W. U. H. (2021). The repercussions of financial development and corruption on energy efficiency and ecological footprint: Evidence from BRICS and next 11 Countries. *Energy*, 223, 1-14. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120063

Yıldız, A. (2007). İmalat sanayi şirketlerinin etkinliklerinin ölçülmesi. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 91-103. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gaziuiibfd/issue/28332/301093>

Zheng, Z. (2021). Energy efficiency evaluation model based on DEA-SBM-Malmquist index. *Energy Reports*, 7, 397-409. DOI: 10.1016/j.egy.2021.10.020

Zhang, J., Patwary, A. K., Sun, H., Raza, M., Taghizadeh-Hesary, F. ve Iram, R. (2021). Measuring energy and environmental efficiency interactions towards CO₂ emissions reduction without slowing economic growth in Central and Western Europe. *Journal of Environmental Management*, 279, 1-7. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111704

Zhou, P. ve Ang, B. W. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energ Policy*, 36(8), 2911-2916. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.03.041

Zhou, P., Ang, B. W. ve Han, J. Y. (2010). Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis. *Energy Economics*, 32(1), 194-201. DOI: 10.1016/j.eneco.2009.10.003