

Kömür Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Tahminine Yönelik Model Geliştirilmesi: BRICS-T Ülkeleri Örneği

İzzet KARAKURT^{1*}, Gökhan AYDIN²

^{1,2}Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

*Sorumlu Yazar: karakurt@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.08.2019

Kabul Tarihi: 14.06.2020

Öz

Bu çalışmada BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarının tahminine yönelik istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Gruptaki ülkelerin ekonomik ve demografik verileri kullanılarak çoklu regresyon yöntemi ile kömür kaynaklı CO₂ emisyonları modellenmiştir. 1971–2016 dönemine ait verilerin kullanıldığı çalışmada, seçilen dönemlere ait veriler iki gruba ayrılmıştır. 1971–2010 yılları arasındaki ilk grup istatistiksel modellerin geliştirilmesinde kullanılırken, 2011–2016 yılları arasındaki ikinci grup ise geliştirilen modellerin performans ölçümlerinin yapılmasında kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen modellerin istatistiksel geçerliliği, çeşitli yaklaşımlar ile test edilmiştir. Ek olarak, kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının istatistiksel olarak etkileyen en önemli değişkenler de tespit edilmiştir. Modelleme çalışmalarının yanı sıra, BRICS-T ülkelerinin enerji ve CO₂ emisyonlarına yönelik bir değerlendirme de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kömür, CO₂ Emisyonu, Regresyon Analizi, BRICS-T Ülkeleri.

Development of Models for the Estimation of Coal-related CO₂ Emissions: The Case of BRICS-T Countries

Abstract

Statistical models were developed for the estimation of coal-related carbon dioxide (CO₂) emissions from the BRICS-T countries in this study. Coal-related CO₂ emissions were modeled by multiple regression method using the economic and demographic data of the countries in the group. In the study in which the annual data over the period of 1971-2016 was used, the selected data was divided into two groups. While the first group from 1971 to 2010 was used for developing the models, the second group from 2011 to 2016 was used for performance measurement of the developed models. Additionally, the proposed models were statistically verified by various approaches. Furthermore, the significant variables statistically affecting the coal-related CO₂ emissions were determined. Besides modelling studies, an assessment of energy and CO₂ emissions from the BRICS-T countries was also presented.

Keywords: Coal, CO₂ emission, Regression Analysis, BRICS-T Countries.

1. Giriş

Gelişen ve gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir bir yaşam standardına sahip olmaları ve istikrarlı bir büyümeyi sağlamaları için enerjiye ve bu enerjiyi sağlayacak kaynaklara ihtiyaçları vardır. Ülkelerin büyümelerinde etkin rol oynayan enerji, fosil (kömür, petrol ve doğalgaz) kaynaklar başta olmak üzere yenilenebilir (odun, rüzgâr ve güneş gibi), hidroelektrik ve nükleer gibi farklı kaynaklardan elde edilmektedir. Fosil yakıtlar, mevcut durumda dünya enerji ihtiyacının % 80'inden fazlasını karşılamaktadır (Mardani ve ark., 2019). Bu kaynakların dünya enerji ihtiyacındaki rolünün gelecekte nispeten azalması beklenmesine rağmen enerjiye yönelik senaryolara göre hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir (Abas ve ark., 2015). Dünya enerji talebinin büyük bir kısmının fosil yakıtlardan karşılanması, bu yakıtlarla yakın ilişkili başta karbondioksit (CO₂) olmak üzere sera gazlarının emisyonlarının artış eğiliminde de kilit rol oynamaktadır. 2016'da küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan sera gazları arasında fosil kaynaklı CO₂ emisyonları 32,1 milyar ton eşdeğer petrole (TEP) ulaşmıştır (URL-1, 2020). Bu rakam, aslında küresel sera gazı emisyonlarının dörtte üçünün fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarından kaynaklandığını işaret etmektedir (Huaman ve Jun, 2014; Kasman ve Duman, 2015). Fosil yakıtlar içerisinde kömür, yoğun karbon içeriği nedeniyle en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan yakıttır. Kömürün toplam birincil enerji arzındaki payı yaklaşık % 30 olmasına rağmen fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 45'i kömür kullanımından açığa çıkmaktadır. Kömürü, % 34 ve % 20 oranları ile sırasıyla petrol ve doğal gaz takip etmektedir (URL-1, 2020).

CO₂ başta olmak üzere küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca nedeni olan sera gazlarının atmosferdeki oranlarının artması, yaşanabilir ve/veya sürdürülebilir bir çevrenin giderek azalması anlamına gelmektedir. Bu sonuçlar; sera gazı emisyonlarını ve küresel ısınmayı, bilim ve politika alanlarında en önemli araştırma konuları haline getirmiştir. Ayrıca, mevcut literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar zaman zaman tartışmaya açık olup ülkeler bazında farklılıklarda gösterebilmektedir. Ülkelerin ulusal ve/veya uluslararası alanlarda uygulayabilecekleri politikalarda etkin olarak kullanılacak verilerin ortaya çıkarılması bakımından yeni, kolay anlaşılabilir ve daha fazla çalışmalara ihtiyaç olduğu da aşikârdır. Bu çalışmadaki temel amaç, kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının değerlendirilmelerinde kullanılmak üzere basit, kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Çalışma, ayrıca geliştirilen tahmin modelleri ile kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının gelecekteki senaryolarında kullanılacak bir alt yapı oluşturabilmeyi de araştırma amacı taşımaktadır. Gelişen ekonomileri başta olmak üzere artan nüfusları, dünyanın önemli bir yüzölçümüne sahip olmaları gibi öne çıkan özellikleri nedeniyle çok yakın bir gelecekte dünyanın önemli bir ekonomik gücü haline gelecek olan BRICS-T (Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika ve Türkiye) ülkeleri çalışma kapsamına alınmıştır.

Bu kapsamda ilgili ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonları, ekonomik ve demografik verilere bağlı olarak çoklu regresyon yöntemi ile modellenmeye çalışılmıştır.

2. BRICS-T Ülkeleri ve CO₂ Emisyonları

Dünya, ülkelerin ekonomik özellikleri ve jeopolitik konumları nedeniyle gün geçtikçe önemli değişiklikler ile karşılaşmaktadır. 2000'li yılların başında Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin İngilizce baş harflerinin bir araya gelmesiyle oluşan BRIC kavramı da bu değişimlerden ortaya çıkan bir sonuçtur. Bu kavram, 2010 yılında Güney Afrika Cumhuriyeti'nin katılımı ile BRICS adını almıştır (Bozma ve ark., 2018). Son yıllarda; hızla büyüyen ekonomileri, büyük nüfusa sahip olmaları, güçlü ve etkili yönetimleri ve küresel pazarlarda yer alma istekleri nedeniyle BRICS ülkeleri, çeşitli platformlarda söz sahibi olma yolunda hızla ilerlemektedir. İlgili ülkelerin ekonomik gücünün çok yakın bir gelecekte Dünyanın en gelişmiş yedi ekonomisi olarak bilinen G7 ülkelerinin (Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Birleşik Krallık, Almanya, Fransa, İtalya ve Japonya) ekonomik gücünü geçeceği yönünde tahminler yoğunlaşmaktadır (Pao ve Tsai, 2010; Şengönül ve Koşaroğlu, 2018). Ekonomik büyüme potansiyeli, nüfustaki artışı, yeraltı zenginlikleri ve bölgesinde yükselen bir aktör olması gibi özellikleri dikkate alındığında Türkiye'ninde gruptaki ülkelere benzer bir seyir gösterdiği söylenebilir. Bu nedenle izleyen bölümlerde BRICS ülkeleri ve Türkiye için BRICS-T kısaltması kullanılacaktır.

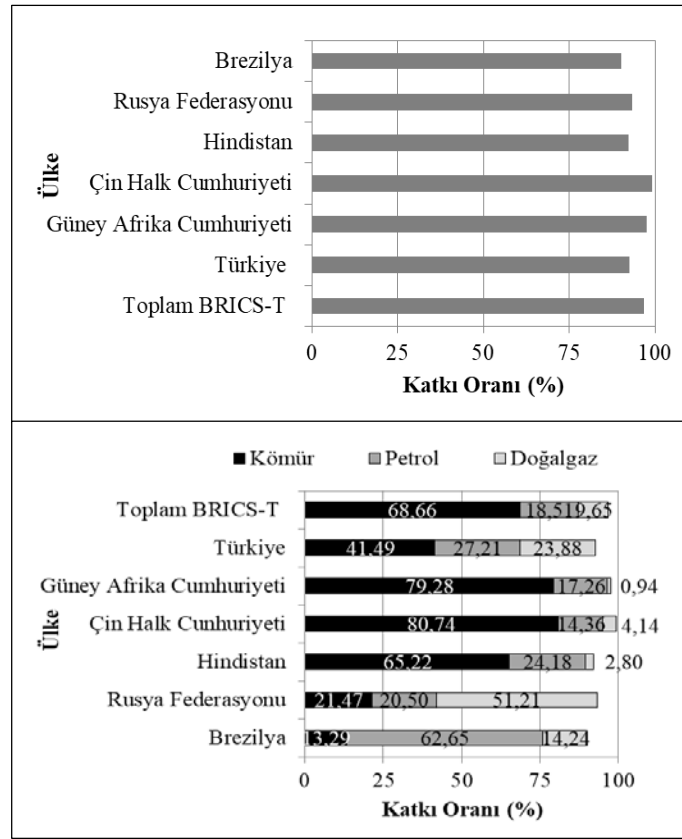
BRICS-T ülkeleri, gelişen ve büyüyen ekonomiler olduğundan giderek artan bir şekilde enerji talebiyle karşı karşıyadırlar. BRICS-T ülkelerine ait bazı göstergeler Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre; dünya nüfusunun yaklaşık % 43'ünü, dünya yüzölçümünün ise % 30'unu oluşturan BRICS-T ülkelerinin son on yıldaki genel ekonomik büyümeye katkıları % 50 ye ulaşmıştır. Bu oran aynı zamanda bu grubu küresel ekonomik kalkınmada hayati öneme sahip hale de getirmiştir (Azevedo ve ark., 2018). İlgili Tablo, gruptaki ülkeler arasında Hindistan ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin yıllık büyüme oranlarının dünya ortalamasının oldukça üzerinde olduğunu da göstermektedir. Ayrıca, Rusya Federasyonu ve Türkiye'nin büyüme oranları dünya ortalamasına çok yakın bir değerdedir. Öte yandan, Brezilya ve Güney Afrika Cumhuriyeti'ne ait büyüme oranları ise dünya ortalamasının oldukça altında kalmıştır. Bir başka deyişle; Brezilya'nın yıllık büyüme oranı dünya ortalamasından 2,66 kat daha az gerçekleşirken Güney Afrika Cumhuriyeti'nin yıllık büyüme oranı da aynı yıl dünya ortalamasına göre 3,76 kat daha az olarak gerçekleşmiştir. Burada Güney Afrika Cumhuriyeti'nin yıllık büyüme oranının düşük olması dikkat çekicidir. Fakat, Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Afrika kıtasının en büyük ekonomisi olduğu ve birçok Afrika ülkesindeki ekonomik ve siyasi kararlar üzerinde etkin olması unutulmamalıdır (Lin ve Wesseh, 2014).

Tablo 1. BRICS-T ülkelerinin 2017 yılına ait ekonomik ve demografik göstergeleri (URL-3, 2019)

Ülke	TP* (Milyon)	GDP** (Milyar \$)	Kişi Başı GDP (\$)	Yıllık büyüme oranı (%)	Yüzölçümü (km ²)
Brezilya	209,469	1.868,626	9821,41	1,12	8358140
Rusya Federasyonu	144,478	1.657,554	11288,87	2,25	16376870
Hindistan	1352,617	2.718,732	2009,98	6,81	2973190
Çin Halk Cumhuriyeti	1392,730	13.608,152	9770,85	6,57	9388210
G. Afrika Cumhuriyeti	57,779	348,872	6374,03	0,79	1213090
Türkiye	82,319	771,350	9370,17	2,83	769630
Dünya	7594,3270	85.909,727	11312,44	2,97	127343220

* TP: Toplam nüfus, ** GDP: Gayri safi yurtiçi hasıla

Ülkelerin kalkınmalarında etkin rol oynayan faktörlerin başında gelen enerji, BRICS-T ülkelerinin ekonomik büyümelerinde de aktif rol almaktadır. Bu gruptaki ülkelerin bazılarının enerji ithalatçısı bazılarının da enerji ihracatçısı olduğu söylenebilir. 2018 yılında dünya birincil enerji tüketimi 13,8 milyar TEP iken BRICS-T ülkelerinde bu rakaml yaklaşık olarak 5,4 milyar TEP olarak gerçekleşmiştir (URL-1, 2020; URL-2, 2019). Bir başka deyişle, dünya toplam birincil enerji tüketiminin ise % 39,13'ü BRICS-T ülkelere aittir. BRICS-T ülkelerinin enerji tüketimleri dikkate alındığında, ilgili ülkelerin enerji kaynaklı küresel sera gazı emisyonlarına da önemli bir katkıda bulunduğunu söylemek mümkündür. 2017 yılı verilerine göre, fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonları 32,8 milyon TEP iken BRICS-T ülkelerinden açığa çıkan fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyon miktarı 14,2 milyon TEP'dur (URL-1, 2020; URL-2, 2019). Bu oran, fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonların % 43,30'unun BRICS-T ülkelerinden geldiğinin bir göstergesidir. Şekil 1, 2016 yılında BRICS-T ülkelerinde fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarının ve fosil yakıt türünün ilgili ülkelerin toplam CO₂ emisyonları içindeki payını göstermektedir. Buna göre BRICS-T ülkelerinin toplam CO₂ emisyonlarının % 90'ından fazlası fosil yakıt kaynaklıdır. Burada en büyük üç oran sırasıyla % 99, % 97,5 ve % 93,2 ile Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Rusya Federasyonu'na aittir. Benzer bir durum gruptaki ülkelerin kömür kaynaklı CO₂ emisyonları için de geçerlidir. Burada da ilk iki sıra % 80,74 ve % 79,28 ile sırasıyla Çin Halk Cumhuriyeti ve Güney Afrika Cumhuriyeti'ne ait iken üçüncü sıra enerjisinin büyük bir bölümünü kömürden sağlayan Hindistan'a aittir. Hindistan'ın toplam CO₂ emisyonlarının % 65,22'si kömür kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu ülkeleri % 41,29 ile Türkiye, % 21,47 ile Rusya Federasyonu ve %13,29 ile Brezilya takip etmektedir. BRICS-T ülkeleri arasında Çin Halk Cumhuriyeti, dünyanın en büyük kömür üreticisi ve tüketicisi konumundadır.



Şekil 1. Fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarının ve fosil yakıt türünün BRICS-T ülkelerinin toplam CO₂ emisyonları içindeki payı (URL-1, 2020; URL-2, 2019)

Hindistan ve Rusya Federasyonu ise dünyanın en büyük üçüncü ve beşinci kömür üreticisi ve tüketicisi ülkeleridir. Bu üç ülke aynı zamanda, dünyanın en büyük beş petrol üreticisi ve tüketicisi ülkeleri arasındadır. Ek olarak, Rusya Federasyonu dünyanın en büyük doğal gaz üreticisi iken doğal gaz tüketicileri arasında ikinci sırada yer almaktadır (Huaman ve Jun 2014). Dünyanın en büyük kömür üreticisi ve tüketicisi konumunda olan Çin Halk Cumhuriyeti'nin fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonları, fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 28,12'ü oluşturmaktadır. Bu ülkenin kömür kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarına katkısı ise % 51,58'dir. Benzer bir durum dünyanın en büyük üçüncü kömür üreticisi ve tüketicisi Hindistan için de geçerlidir. Bu ülkenin fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonları, fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 6,47'sine denk gelmektedir. Hindistan'ın kömür kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarına katkısı ise % 10,29'dur. Her iki ülkenin 2016 yılındaki toplam enerji tüketimlerinin sırasıyla % 87,18'si ve % 92,26'sı fosil kaynaklarından özellikle kömürden karşılanması, bu ülkelerin fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarına katkısının bu kadar yüksek olmasının da aslında bir cevabıdır. BRICS-T ülkeleri arasında enerji tüketiminin büyük bir bölümünü kömürden karşılayan bu ülkeleri, Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya Federasyonu ve Türkiye takip etmektedir. Bu grupta enerji tüketiminin % 8,64 ünü kömürden karşılayan Brezilya, fosil kaynaklı CO₂ emisyonlarına en az katkı yapan ülke konumundadır. Bu oranlar temelinde bir değerlendirme yapıldığında, Çin Halk Cumhuriyeti,

Hindistan ve Güney Afrika Cumhuriyeti'nin BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarını ciddi derecede arttırdığını söylemek mümkündür. Öte yandan, 2016 yılı kömür kaynaklı küresel CO₂ emisyonları 14,3 Mtoe ile toplam küresel CO₂ emisyonlarının % 43,2'sini oluşturmaktadır. Bu veriler, BRICS-T ülkeleri için 9,7 Mtoe olarak gerçekleşmiştir. Bir başka deyişle, BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonları toplam küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 29,38'ine denk gelmektedir. Bu orana en büyük katkı veren gruptaki ilk üç ülke yine Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Hindistan'dır.

3. Literatür Özeti

Literatürün ilgili alanında BRICS ülkelerini çalışma alanı olarak seçen çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Son yıllarda bu çalışmalardan bazılarında Türkiye'de yer almaktadır. İlgili literatürdeki güncel çalışmalardan bazı örnekler, Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde, ülkelerin kendi özelliklerinden dolayı farklı sonuçlar elde edildiğini söylemek mümkündür. Hatta aynı ülke örneği seçilerek farklı yöntemlerin kullanıldığı araştırmalarda bile farklı sonuçlar elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu da, ülkelerin ulusal ve/veya uluslararası politikalarının düzenlenmesinde kullanılabilecek çok değişkenli parametreler ile geliştirilen tahmin modellerine hala ihtiyaç olduğunun bir göstergesidir. Böylelikle, ülkelerin başta CO₂ emisyonları olmak üzere gelecekteki sera gazı emisyonlarının tahmin edilmesi sağlanacak ve buna yönelik mücadele yöntemleri şekillenebilecektir. Literatür özetinden de anlaşılacağı üzere bu yönde yapılacak çalışmalar için kullanılabilecek çok sayıda modelleme tekniği mevcuttur. Bunlar; kullanım amaçları, pratiklikleri, değişken sayıları gibi parametreler temelinde tercih edilebilmektedir. Ancak, ilgili tekniklerin kompleks yapıları model üretilmesinde ve üretilen modellerin kullanımlarında problemlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Buda geliştirilen modellerin kolayca anlaşılmasını ve pratikte kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Çünkü bir modelin basitliği, kolayca anlaşılabilmesi ve uygulanabilmesi de doğruluğu ve/veya başarılı bir tahmin yapabilmesi kadar önemlidir. Eğer tahmin edilen değişken, karmaşık planlama sürecinin bir parçası ise bu durumlarda ilgili modelin basitliği, kolay anlaşılabilirliği veya uygulanabilirliği modelin doğru tahmin derecesine göre ön planda da olabilir (Bianco ve ark., 2009). Bu çalışma kapsamında tercih edilen regresyon analizi de aslında bu amaca hizmet eden bir modelleme tekniğidir. Çünkü regresyon analiz tekniği, hemen hemen bütün istatistiksel yazılım programlarında bulunması nedeniyle kolay yönetilebilir ve uygulanabilir bir tekniktir. Bu teknikte, bağımlı değişken bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinden geliştirilen model daha basittir ve kolay anlaşılabilir formdadır. Ayrıca, yapay zeka uygulamalarında olduğu gibi model oluşturulurken arka planda nelerin olduğuna yönelik belirsizlikler (kara kutu) regresyon tekniğinde yoktur.

Tablo 2. Literatürde ilgili alanda yapılan bazı çalışmalar

Araştırmacı(lar)	Ülke(ler)	Yöntem(ler)	Değişken(ler)	Veri aralığı
Maryam ve ark. (2017)	BRICS	Panel Nedensellik Analizi	CO ₂ emisyonları, enerji tüketimi, kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla	1991–2011
Srinivasan ve Ravindra (2015)	Hindistan	Birim kök testi, eş bütünleşme testi, vektör hata düzeltme modeli	CO ₂ emisyonları, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve ticaret	1970–2012
Cowan ve ark. (2014)	BRICS	Panel Nedensellik Analizi	CO ₂ emisyonları, elektrik tüketimi, ekonomik büyüme	1990–2010
Pao ve Tsai (2011a)	BRIC	Panel eş bütünleşme tekniği	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırım	1980–2007
Pao ve Tsai (2010)	BRIC	Birim kök testi, eş bütünleşme testi	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1971–2005
Wang ve ark. (2011)	Çin Halk Cumhuriyeti	Panel Nedensellik Analizi	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1995–2007
Menyah ve Rufael (2010)	Güney Afrika Cumhuriyeti	Eş bütünleşmeye bağlı sınır testi yaklaşımı	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1965–2006
Lin ve Wesseh (2014)	Güney Afrika Cumhuriyeti	Granger nedensellik analizi	Ekonomik büyüme, enerji tüketimi	1971–2010
Pao ve ark. (2012)	Çin Halk Cumhuriyeti	Geliştirilmiş grey modeli	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1980–2009
Ozturk ve Acaravci (2010)	Türkiye	Eş bütünleşmeye bağlı sınır testi yaklaşımı	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1968–2005
Pao ve Tsai (2011b)	Brezilya	Gri tahmin yöntemi	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi	1980–2007
Pao ve ark. (2011)	Rusya Federasyonu	Eş bütünleşme tekniği ve nedensellik testi	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji kullanımı	1990–2007
Zakarya ve ark. (2015)	BRICS	Birim kök testi, eş bütünleşme testi, vektör hata düzeltme modeli	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımı	1990–2012
Lin ve ark. (2018)	Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan	ADRL sınır testi	CO ₂ emisyonları, kömür tüketimi, ekonomik büyüme	1969–2015
Azevedo ve ark. (2018)	BRICS	Regresyon	CO ₂ emisyonları, enerji tüketimi, ekonomik büyüme	1980–2011
Wu ve ark. (2015)	BRICS	Çok değişkenli gri tahmin yöntemi	CO ₂ emisyonları, ekonomik büyüme enerji tüketimi, kentsel nüfus	2004–2010

Ek olarak regresyon tekniği ile geliştirilen modeller hemen tahmin uygulamalarında kullanılabilir formattadır (Bianco ve ark., 2014). Bunlardan dolayı da regresyon analizi, diğer alanların yanı sıra yer bilimleri alanında da çoğunlukla tercih edilmektedir (Atıcı ve Ersoy, 2009; Aydın ve ark., 2015a).

4. Regresyon Analizi

BRICS-T ülkelerindeki kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının ekonomik ve demografik verilere bağlı olarak modellenmesi için regresyon analizi (RA) tercih edilmiştir. RA, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla yapılan bir analiz yöntemidir (Enayatollahi ve ark., 2014). Diğer bir deyişle RA, bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bağımlı ve bağımsız değişken sayısının tek olduğu regresyon, “tek değişkenli regresyon analizi”, bağımlı değişkenin tek, bağımsız değişkenin ise birden fazla olduğu regresyon analizi de “çoklu regresyon analizi” olarak adlandırılır (Yerel ve Ersen 2013; Enayatollah ve ark., 2014)

4.1. Tek değişkenli regresyon analizi

Tek değişkenli regresyon analizi, bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen regresyon analizi tekniğidir. Bu analizle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişki, aşağıda ifade edilen bir denklem [eşitlik (1)] ile ifade edilmektedir.

$$y_i = (a_0) + (a_1)x_i + e_i \quad (1)$$

Burada; y_i ve x_i sırasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenleri, a_0 ; regresyon eğrisinin y eksenini kesim noktası ve a_1 ; model katsayısını ve e_i ise hata değerini (gözlenen değer ile bilinmeyen gerçek değer arasındaki fark) ifade etmektedir (Yerel ve Ersen, 2013).

4.2. Çoklu regresyon analizi

Tek değişkenli RA, bağımlı değişkenin tek bir bağımsız değişkenden nasıl etkilenebildiğini gösterir. Bu metot sadece belirteç olarak X_i değişkenini ve sonuç olarak Y_i değişkenini içerir. Bu nedenle, tek değişkenli RA metodunda birincisi tahmin edicilerin sayısıyla, diğeri ise bağımsız değişkenler arasındaki en anlamlı X_i değişkeninin tahminiyle ilgili olmak üzere iki problemlili durum

söz konusudur. Örneğin, iki veya daha fazla bağımsız değişken ile yapılan tek değişkenli RA’de her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile ilişkisi ayrı ayrı gösterilir. Bu da, bağımsız değişkenler arasında üzerinde istatistiksel olarak en etkin bağımsız parametrenin belirlenememesi anlamına gelir (Cohen ve ark., 2013). Bundan dolayı çok değişkenli veya çoklu RA metodu, bu tür analizlerin yapılmasında güçlü bir modelleme tekniğidir ve karmaşık ilişkilerin söz konusu olduğu durumlarda daha faydalı sonuçlar üretir. Çok değişkenli regresyon analizinde ilişkiyi gösteren matematiksel model, n tane bağımsız değişken için aşağıdaki şekilde [eşitlik (2)] ifade edilebilir.

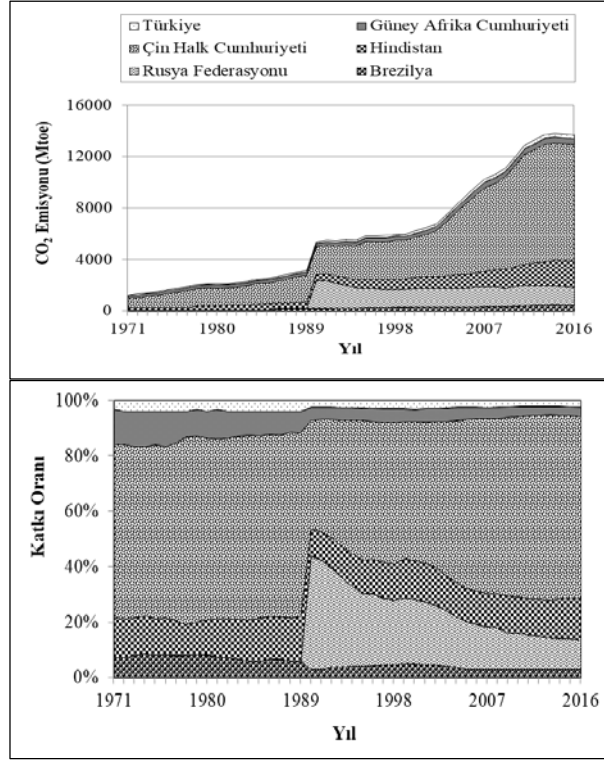
$$y_i = a_0 + (a_1)x_1 + (a_2)x_2 \dots + (a_n)x_n + e_n \quad (2)$$

Burada; y_i ; bağımlı değişkeni, ve x_1 , x_2 ve x_n bağımsız değişkenleri, a_0 ; regresyon eğrisinin y eksenini kesim noktasını, a_1 , a_2 ve a_n model katsayılarını ve e_i ise hata değerini (tahmin edilen değerle gözlenen değer arasındaki fark) ifade etmektedir (Kanıt ve Baykan, 2004; Karakurt ve ark., 2015).

5. Tahmin Modeli Oluşturma Çalışmaları

Çalışma kapsamında; BRICS-T ülkelerine ait gayri safi yurtiçi hasıla (GDP), toplam nüfus (TP) ve kentsel nüfus (UP) verileri bağımsız değişkenler, kömür kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonları da (E) bağımlı değişken olarak seçilmiştir. İlgili ülkelere ait bu veriler, Dünya bankasının, British Petroleum’un ve Uluslararası Enerji Ajansı’nın güncel veri tabanlarından (URL-1, 2020; URL-2, 2019; URL-3, 2019) elde edilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen döneme ait (1971–2016) BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının değişimi katkı oranları ile birlikte Şekil 2’de gösterilmektedir. Buna göre, 1971’den 1989’lara kadar sabit bir hızda artan CO₂ emisyonlarında, 1989’da keskin bir artış sağlamıştır. 2000’li yıllara kadar düşük artış gerçekleşen emisyonlarda, 2000’li yılların başından itibaren özellikle Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Türkiye’de hızlı bir artış gerçekleşmiştir. BRICS-T ülkeleri için seçilen döneme ait kömür kaynaklı CO₂ emisyonları iki gruba ayrılmıştır. 1971–2010 yılları arasındaki ilk grup istatistiksel modellerin geliştirilmesinde kullanılırken 2011–2016 yılları arasındaki ikinci grup da geliştirilen modellerin performans ölçümlerinin yapılmasında kullanılmıştır. Sovyetler Birliği’nin dağılmasının ardından 1992’de resmi olarak kurulması nedeniyle Rusya için birinci gruptaki veriler, 1990–2016 dönemine aittir. Regresyon analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenler gibi iki değişken arasındaki ilişkiyi belirleyecek model, her zaman doğrusal olmayabilir. Değişkenler arasında doğrusal ilişki yok iken doğrusal ilişki var gibi oluşturulan model, bu model için yapılan testler ve analizler yanıltıcı olabilmektedir. Doğrusal ilişki olmama durumunu ortadan kaldırmak için logaritmik, yarı logaritmik veya hiperbolik gibi basit matematiksel dönüşümler yapılabilmektedir.

Doğrusal hale dönüştürülen bu modeller ile ilgili testler ve analizler aynen doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi yapılır (Yavuz, 2009). Bundan dolayı, çalışma kapsamında model oluşturulmadan önce tüm verilerin doğal logaritmaları alınmış ve modeller logaritmaları alınmış veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Tahmin modellerinin üretilmesinde SPSS v17.0 istatistiksel paket programından faydalanılmıştır.



Şekil 2. BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarındaki tarihsel değişim

Çoklu regresyon analizinde, model oluşturulurken kullanılan bağımsız değişkenlerden bazılarının modele katkısı az ya da ihmal edebilecek kadar önemsiz olabilmektedir. Bu durumda modelin en uygun bağımsız değişkenlerle belirlenmesi gerekebilir. Buda, katkısı az olan ve ihmal edilebilecek kadar önemsiz olan bağımsız değişkenlerin modelden çıkarılmasını gerektirir (Kayaalp ve ark., 2015). Bu işlem için geliştirilen yöntemler arasında geriye doğru seçim yöntemi bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir. Bu yöntemde model oluşturulurken tüm bağımsız değişkenler işleme dahil edilir. İşlem sırasında her defasında bir tane olmak üzere en düşük kısmi F değerine sahip olan bağımsız değişken atılmak sureti atılarak işlem devam ettirilir. Atılan değişkenin istatistiksel katkısının önemi yüksek ise işlem durdurulur ve model oluşturulur. Çalışma kapsamında bu şekilde geliştirilen modellerin istatistiksel doğrulanması, çeşitli istatistiksel yaklaşımlar ile yapılmıştır. Ayrıca, geliştirilen modellerde istatistiksel olarak en etkin bağımsız değişkenlerde tespit edilmiştir.

5.1. Geliştirilen modeller

BRICS-T ülkeleri için geliştirilen tahmin modelleri aşağıda sunulmuştur ([3] – [8] eşitlikleri). İlgili modeller incelendiğinde, bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişkenin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edildiğini söylemek mümkündür. Tahmin modelleri oluşturulurken modelde yer alan bağımsız değişkenlere yönelik elde edilen katkı oranları, bağımsız değişkenin tahmin edilmesinde dikkate alınması gereken değişkenler arasında öncelik sırasına yönelik bir değerlendirme sunar. Tablo 3’de geliştirilen modellerde yer alan bağımsız değişkenlerin modele katkı oranları verilmiştir. Buna göre; ilgili modellerde istatistiksel olarak en etkin bağımsız değişkenlerin Brezilya ve Hindistan için sırasıyla % 53,81 ve % 84 ile TP olarak tespit edilirken Rusya, Güney Afrika ve Türkiye için sırasıyla % 70,54, % 52,05, % 64,11 oranlarında UP olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Çin için oluşturan modelde istatistiksel olarak en etkin bağımsız değişkenin % 62,38 ile GDP olarak belirlenmiştir.

$$E_B(Mtoe) = (5,370) - (9,376).TP + (8,047).UP \quad (3)$$

$$E_R(Mtoe) = (-12,899) + (7,524).UP + (0,104).GDP \quad (4)$$

$$E_H(Mtoe) = (-4,264) + (2,219).TP + (0,122).GDP \quad (5)$$

$$E_C(Mtoe) = (-2,986) + (1,741).TP + (0,350).GDP \quad (6)$$

$$E_{GA}(Mtoe) = (2,682) - (2,065).TP + (2,008).UP + (0,142).GDP \quad (7)$$

$$E_T(Mtoe) = (1,642) - (2,083).TP + (2,366).UP + (0,089).GDP \quad (8)$$

Burada; E: İlgili ülkelerin kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarını (Mtoe), *TP:* İlgili ülkelerin toplam nüfusunu (milyon), *UP:* İlgili ülkelerin kentsel nüfusunu (milyon) ve *GDP:* İlgili ülkelerin gayri safi yurtiçi hasılasını (milyar \$) ifade etmektedir (Parametre değerleri doğal logaritmalıdır).

Tablo 3. Modellerde yer alan bağımsız değişkenlerin ilgili modele katkı oranları

Değişkenler	Brezilya		Rusya		Hindistan		Çin		G. Afrika		Türkiye	
	Beta	%	Beta	%	Beta	%	Beta	%	Beta	%	Beta	%
TP	9,38	53,81	-	-	0,84	84,00	0,38	37,62	1,84	39,74	0,74	29,84
UP	8,05	46,19	0,91	70,54	-	-	-	-	2,41	52,05	1,59	64,11
GDP	-	-	0,38	29,46	0,16	16,00	0,63	62,38	0,38	8,21	0,15	6,05

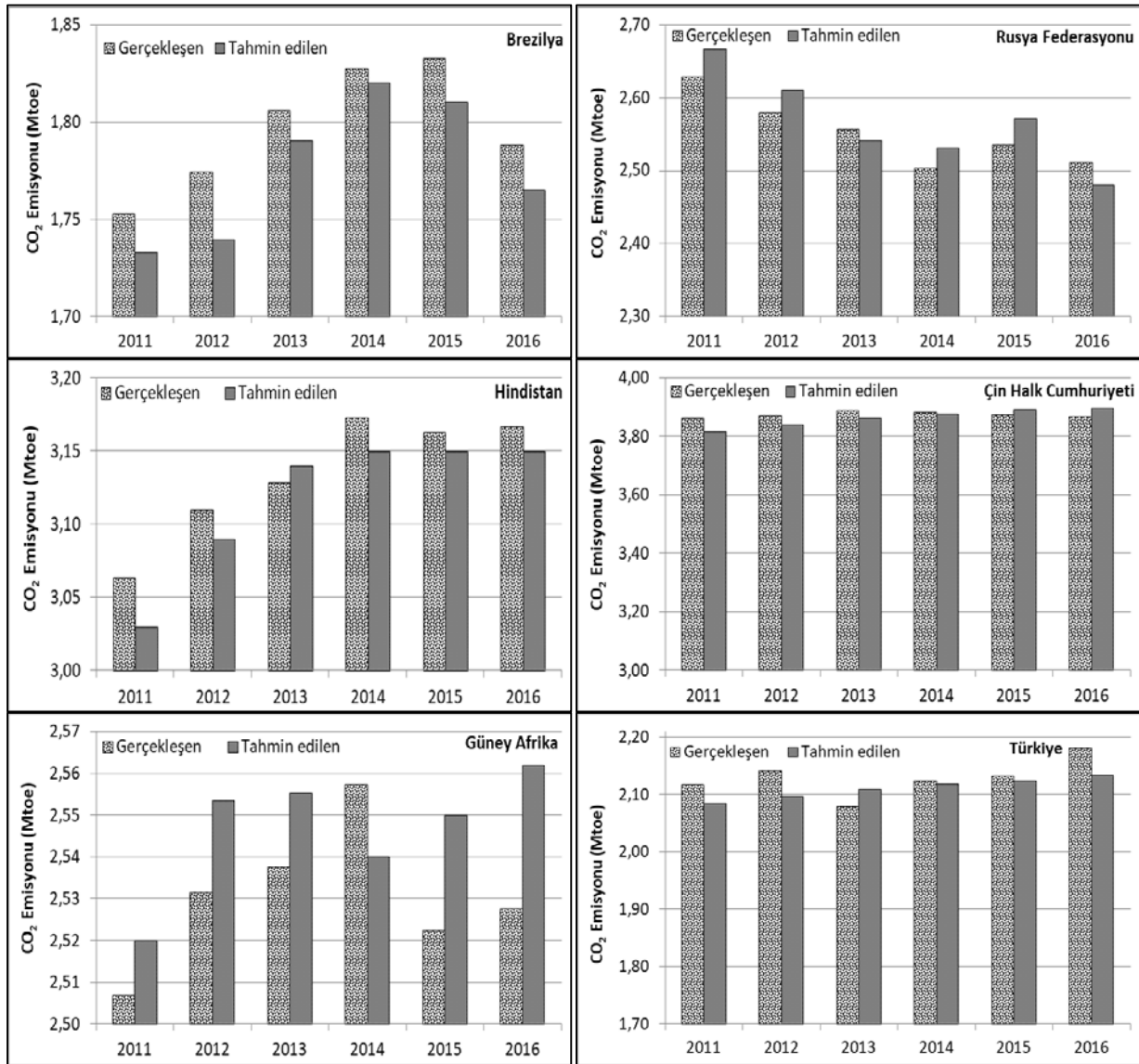
5.1.1. Geliştirilen modellerin doğruluğunun test edilmesi

Çalışma kapsamında BRICS-T ülkeleri için geliştirilen modellerin istatistiksel doğruluğu veya uygunluğu; determinasyon katsayısı (R^2), t ve F testleri ve gerçekleşen emisyon değerleri ile tahmin edilen emisyon değerleri arasındaki trendin analizi gibi istatistiksel yaklaşımlar ile test edilmiştir. R^2 ve F testi, geliştirilen modelin bir bütün olarak istatistiksel önemi ve geçerliliği için tercih edilirken modelde yer alan bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı uygunluk testi için ise t testi tercih edilmiştir. Burada; hesaplanan F ve t değerlerinin, % 95 güven aralıklı istatistiksel F ve t tablolarındaki ilgili değerlerden fazla olması beklenir. Geliştirilen modellere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. İlgili Tablo incelendiğinde, geliştirilen modellerin R^2 değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En düşük ve en yüksek R^2 değerleri, Rusya Federasyonu ve Hindistan için geliştirilen modellerde sırasıyla 0,89 ve 0,99 olarak elde edilmiştir. 1’e oldukça yakın olan R^2 değerleri, geliştirilen modellerin bağımlı değişkeni açıklama gücünün çok yüksek olduğunu belirtmektedir. Bir başka deyişle geliştirilen modellerin istatistiksel geçerliliğinin olduğunu söylemek mümkündür. Ancak, bu değerler geliştirilen modellerin geçerlilikleri için tek başına yeterli bir kriter değildir. Bunun için diğer doğrulama testlerinin sonuçlarının da birbirini ve R^2 değerlerini destekler nitelikte olması gerekir. Tablo 4’deki diğer doğrulama testlerinin sonuçlarına bakıldığında; geliştirilen modellerin R^2 değerlerini destekler nitelikte verilerin olduğu görülmektedir. Şöyle ki; geliştirilen modellerin tamamının $F_{hesaplanan}$ değerleri, F_{tablo} değerlerinden büyüktür. İlgili modellerde yer alan değişkenlerin hesaplanan değerlerinin de tamamının t_{tablo} değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu kriterlere göre de geliştirilen modellerin istatistiksel doğruluk/uygunluk testinden başarı ile geçtiği söylenebilir. Geliştirilen modellerin genelliğinin veya uygulanabilirliğinin test edilmesinin bir diğer yolu, gerçekleşen ve tahmin edilen emisyon değerlerindeki trendin incelenmesidir. Şekil 3’de bu trende yönelik bir gösterim sunulmuştur. Buna göre, BRICS-T ülkeleri için gerçekleşen ve tahmin edilen emisyon değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Buda, geliştirilen modellerin yeterli oranda tahmin verebileceğinin bir göstergesidir. Sonuç olarak, doğrulama testleri geliştirilen modellerin istatistiksel olarak geçerli olduğunu ve BRICS-T ülkelerinde kömür kaynaklı CO_2 emisyonlarının bu modellerle yüksek tahmin gücü ile tahmin edilebileceğini göstermiştir.

5.1.2. Geliştirilen modellerin tahmin performanslarının ölçülmesi

Tahmin modellerinin performanslarının ölçülmesine yönelik ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), karekök ortalama hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi farklı yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Bunlar arasında matematiksel ifadesi eşitlik [9]’da sunulan MAPE, özellikle ortalamaya göre yüksek standart sapmaya sahip serilerde yüzde oranı olarak fikir vermesi nedeniyle

diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilir (Aydın ve ark., 2015b; Hamzacebi ve Karakurt 2015; Uysal ve Karabat 2017). Diğer kriterler gibi, MAPE değerlerinin de mümkün olduğunca sıfıra yakın olması istenir. MAPE'ye yönelik değerlendirme kriterleri Tablo 5'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin MAPE değerleri Brezilya için % 2,65, Rusya Federasyonu için % 5,24, Hindistan için % 3,07, Çin Halk Cumhuriyeti için % 0,66, Güney Afrika Cumhuriyeti için % 1,04 ve Türkiye için % 1,32 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler % 10'un altında olduğundan BRICS-T ülkeleri için geliştirilen modellerin "tahmin gücü yüksek" sınıf aralığında olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle Çin Halk Cumhuriyeti için geliştirilen modelin MAPE değeri sıfıra oldukça yakındır.



Şekil 3. Gerçekleşen ve tahmin edilen kömür kaynaklı CO₂ emisyonları (Milyar TEP)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|e_i|}{y_i} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Burada; n toplam örnek hacmini, e_i gerçekleşen ile tahmin edilen değer arasındaki farkı, y_i gerçekleşen değeri ifade etmektedir.

Tablo 4. Geliştirilen modellerin istatistiksel sonuçları

Ülkeler	Bağımsız Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	Tahminin Standart Hatası	$t_{Hesaplanan}$	t_{Tablo}	$F_{Hesaplanan}$	F_{Tablo}	R^2 (Düzeltilmiş)
Brezilya	Sabit	5,370	2,596	0,071	2,068	1,687	320,074	3,25	0,94
	TP (milyon)	-9,376	3,033		-3,091				
	UP (milyon)	8,047	1,962		4,101				
Rusya Federasyonu	Sabit	-12,899	3,552	0,051	-3,632	2,086	10,469	3,49	0,89
	UP (milyon)	7,524	1,701		4,423				
	GDP (milyar \$)	0,104	0,056		2,859				
Hindistan	Sabit	-4,264	0,397	0,027	-10,740	1,687	1905,268	3,25	0,99
	TP (milyon)	2,219	0,177		12,502				
	GDP (milyar \$)	0,122	0,052		2,343				
Çin Halk Cumhuriyeti	Sabit	-2,986	0,865	0,044	-3,452	1,687	787,934	3,25	0,97
	TP (milyon)	1,741	0,315		5,520				
	GDP (milyar \$)	0,350	0,038		9,173				
Güney Afrika Cumhuriyeti	Sabit	2,682	0,411	0,037	6,521	1,687	121,781	3,25	0,90
	TP (milyon)	-2,065	0,632		-3,264				
	UP (milyon)	2,008	0,430		4,665				
	GDP (milyar \$)	0,142	0,060		2,358				
Türkiye	Sabit	1,642	0,958	0,031	1,713	1,687	936,287	3,25	0,98
	TP (milyon)	-2,083	0,961		-2,169				
	UP (milyon)	2,366	0,438		5,400				
	GDP (milyar \$)	0,089	0,049		1,842				

Tablo 5. Model değerlendirmesi için tipik MAPE değerleri (Lewis, 1982)

MAPE	Değerlendirme
$MAPE \leq \% 10$	Tahmin gücü yüksek
$\% 10 < MAPE \leq \% 20$	Tahmin gücü iyi
$\% 20 < MAPE \leq \% 50$	Makul tahmin gücü
$MAPE > \% 50$	Yanlış/hatalı tahmin

6. Sonuçlar

Kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının tahminine yönelik model geliştirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, BRICS-T ülkeleri örnek olarak seçilmiştir. Bu kapsamda, BRICS-T ülkelerine ait sosyo-ekonomik göstergelere dayalı tahmin modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonuçları, geliştirilen modellerin tahmin gücünün yüksek olduğunu göstermiştir. Önerilen tahmin modellerin tamamının istatistiksel doğruluk testinden başarı ile geçtiği görülmüştür. Ayrıca, BRICS-T ülkelerinin kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarını istatistiksel olarak etkileyen en önemli değişkenlerin, Brezilya ve Hindistan için toplam nüfus olarak tespit edilirken Rusya Federasyonu, Güney Afrika Cumhuriyeti ve Türkiye için kentsel nüfus olarak tespit edilmiştir. Çin Halk Cumhuriyeti için oluşturulan modelde ise istatistiksel olarak en etkin bağımsız değişkenin yurtiçi gayrisafi hasıla olduğu sonucu elde edilmiştir. Ek olarak, fosil yakıt kaynaklı küresel CO₂ emisyonlarının % 40'ından fazlası BRICS-T ülkeleri kaynaklı olduğu görülmüştür. Bu orana en büyük katkıyı veren ve enerjilerinin büyük bir

kısmını kömürden sağlayan ilk üç ülke Çin Halk Cumhuriyeti, Güney Afrika ve Hindistan olduğu tespit edilmiştir.

CO₂ emisyonları başta olmak üzere gelecek yıllarda ortaya çıkabilecek önemli çevresel sorunların aşılmasına yönelik teknik çözümlerin geliştirilmesi son yıllarda hız kazanmıştır. Bu teknik çözümlerden biri de ilgili faktörlerin gelecekteki durumunu ortaya koyabilen tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Bu tahmin modelleri sayesinde gelecekte oluşabilecek çevresel tehditlere karşı alınabilecek önlemlerinde zamanında alınmasına mümkün hale gelebilecektir. Mevcut çalışmada bu amaca yönelik yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının, bu konuda çalışan araştırmacılar, enerji plancıları ve politika yapımcıları için faydalı olacağına inanılmaktadır.

Kaynaklar

- Abas, N., Kalair, A., ve Khan, N., (2015). Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. *Futures*, 69, 31–49.
- Atıcı, U., ve Ersoy, A., (2009). Correlation of Specific Energy of Cutting Sawsand Drilling Bits with Rock Brittleness and Destruction Energy. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 2602–2612.
- Aydin, G., Karakurt, I., ve Hamzacebi, C., (2015a). Artificial Neural Network and Regression Models for Performance Prediction of Abrasive Waterjet in Rock Cutting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75, 1321–1330.
- Aydin, G., Karakurt, I., ve Hamzacebi, C., (2015b). Performance Prediction of Diamond Sawblades using Artificial Neural Network and Regression Analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(7), 2003–2012.
- Azevedo, V.G., Sartori, S., ve Campos, L.M.S., (2018). CO₂ Emissions: A Quantitative Analysis among the BRICS Nations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 107–115.
- Bianco, V., Manca, O., ve Nardini, S., (2009). Electricity Consumption Forecasting in Italy using Linear Regression Models. *Energy*, 34, 1413–1421.
- Bianco, V., Scarpa, F., ve Tagliafico, L.A., (2014). Analysis and Future Outlook of Natural Gas Consumption in the Italian Residential Sector. *Energy Conversion and Management*, 87, 754–764.
- Bozma, G., Aydın, R., ve Kolçak, M., (2018). BRICS ve MINT Ülkelerinde Ekonomik Büyüme ve Enerji Tüketimi İlişkisi. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15, 323–338.
- URL-2., (2019). British Petroleum, <https://www.bp.com/>, (Erişim Tarihi Mart 2019).
- Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., ve Aiken, L.S., (2013). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers Mahwah, New Jersey.
- Cowan, W.N., Chang, T., Lotza, R.I., ve Gupta, R., (2014). The Nexus of Electricity Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions in the BRICS Countries. *Energy Policy*, 66, 359–368.
- Enayatollahi, I., Bazzazi, A.A., ve Asadi, A., (2014). Comparison between Neural Networks and Multiple Regression Analysis to Predict Rock Fragmentation in Open-pit Mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(2), 799–807.
- Hamzacebi, C., ve Karakurt, I., (2015). Forecasting the Energy-related CO₂ Emissions of Turkey using Grey Prediction Model. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(9), 1023–1031.
- Huaman, R.N.E., ve Jun, T.X., (2014). Energy related CO₂ Emissions and the Progress on CCS Projects: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 368–85.
- URL-1., (2020). International Energy Agency-CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2019 Highlights. <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2019-highlights>, (Erişim tarihi 10 Haziran 2020).
- Kant, R., ve Baykan, N.U., (2004). Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 359–367.

- Karakurt, I., Aydin, G., ve Kaya, S., (2015, Nisan). Modeling of Turkey's CO₂ Emissions using Economic and Demographic Variables. *24th. International Mining Congress and Exhibition of Turkey* (s. 1474-1479). Antalya: Türkiye Maden Mühendisleri Odası.
- Kasman, A., ve Duman, S.Y., (2015). CO₂ Emissions, Economic Growth, Energy Consumption, Trade and Urbanization in New EU Member and Candidate Countries: A Panel Data Analysis. *Economic Modelling*, 44, 97–103.
- Kayaalp, T.G., Güney, Ç.M., ve Cebeci, Z., (2015). Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinde Değişken Seçiminin Zootekniye Uygulanışı. *Çukurova Üniversitesi Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 30(1), 1–8.
- Lewis, C.D., (1982). *International and Business Forecasting Methods*. Butterworths, London.
- Lin, B., ve Wesseh, P.K., (2014). Energy Consumption and Economic Growth in South Africa Reexamined: A Nonparametric Testing Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 840-850.
- Lin, F.L., Lotz, R.I., ve Chang, T., (2018). Revisit Coal Consumption, CO₂ Emissions and Economic Growth Nexus in China and India using a Newly Developed Bootstrap ARDL Bound Test. *Energy Exploration & Exploitation*, 36(3), 450–463.
- Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Loganathan, N., ve Khoshnoudi, M., (2019). Carbon Dioxide (CO₂) Emissions and Economic Growth: A Systematic Review of two Decades of Research from 1995 to 2017. *Science of the Total Environment*, 649, 31–49.
- Maryam, J., Mittal, A., ve Sharma, V., (2017). CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in BRICS: An Empirical Analysis. *IOSR Journal Of Humanities And Social Science*, 22(2), 53-58.
- Menyah, K., ve Rufael, Y.W., (2010). Energy Consumption, Pollutant Emissions and Economic Growth in South Africa. *Energy Economics*, 32(6), 1374-1382.
- Ozturk, I., ve Acaravci, A., (2010). CO₂ Emissions, Energy Eonsumption and Economic Growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220-3225.
- Pao, H.T., ve Tsai, C.M., (2010). CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in BRIC Countries. *Energy Policy*, 38, 7850–60.
- Pao, H.T., ve Tsai, C.M., (2011a). Multivariate Granger Causality between CO₂ Emissions, Energy Consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from A Panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) Countries. *Energy*, 36(1), 685-693.
- Pao, H.T., ve Tsai, C.M., (2011b). Modeling and Forecasting the CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450-2458.
- Pao, H.T., Fu, H.C., ve Tseng, C.L., (2012). Forecasting of CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in China using An Improved Grey Model. *Energy*, 40(1), 400-409.
- Pao, HT., Yu, HC., ve Yang, Y.H., (2011). Modeling the CO₂ Emissions, Energy Use, and Economic Growth in Russia. *Energy*, 36(8), 5094-5100.
- Şengönül, A., ve Koşaroğlu, Ş.M., (2018). Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: BRICS Ülkeleri için Bir Uygulama. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 431-447.
- Srinivasan, P., ve Ravindra, I.S., (2015). Causality among Energy Consumption, CO₂ Emission, Economic Growth and Trade: A Case of India. *Foreign Trade Review*, 50(3), 168–189.
- Uysal, H., ve Karabat, S., (2017). Forecasting and Evaluation for Raisin Export in Turkey. *BIO Web of Conferences*, 40th. *World Congress of Vine and Wine* (Article number : 03002). Sofia.
- Wang, S.S., Zhou, D.Q., Zhou, P., ve Wang, Q.W., (2011). CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in China: A Panel Data Analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870–4875.
- URL-3. (2019). Worldbank indicators. <https://data.worldbank.org/indicator>, (Erişim Tarihi Mart 2019).
- Wu, L., Liu, S., Liu, D., Fang, Z., ve Xu, H., (2015). Modelling and Forecasting CO₂ Emissions in the BRICS (Brazil, Russia, India, China, and South Africa) Countries using A Novel Multi-variable Grey Model. *Energy*, 79(1), 489-495.
- Yavuz, S. (2009). Regresyon Analizinde Doğrusala Dönüştürme Yöntemleri ve Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 165-179.
- Yerel, S., ve Ersen, T., (2013). Prediction of the Calorific Value of Coal Deposit using Linear Regression Analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35, 976-980.
- Zakarya, G.Y., Mostefa, B., Abbes, S.M., ve Seghir, G.M., (2015). Factors Affecting CO₂ Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*, 26, 114 – 125.