

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :**    /    /

**Tezin Savunma Tarihi**                                :    /    /

**Tez Danışmanı**                                :

**Trabzon**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tezin hazırlanması aşamasında yardımlarını esirgemeyen, ilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Danışman hocam Prof. Dr. İzzet KARAKURT'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, zaman ayırarak tezimin jüri üyeleri olarak görev alan sayın Prof. Dr. Gökhan AYDIN'a ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL'e en kalbi duygularıyla teşekkür ederim. Ek olarak, lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan bütün hocalarıma şükranlarımı sunarım. Son olarak başta kıymetli eşim ve meslektaşım Hacı Hüseyin AVCI olmak üzere, hayatımın her aşamasında yanımda olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Büşra DEMİR AVCI

Trabzon, 2024

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kömür Tüketiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Emisyon Tahminine Yönelik İstatistiksel Modellerin Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İzzet KARAKURT’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynaklar bölümünde eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/01/2024

Büşra DEMİR AVCI

## İÇİNDEKİLER

|                                                                          | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ.....                                                               | III             |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....                                                | IV              |
| İÇİNDEKİLER.....                                                         | V               |
| ÖZET .....                                                               | VII             |
| SUMMARY .....                                                            | VIII            |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                    | IX              |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                     | X               |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                    | XI              |
| 1. GİRİŞ.....                                                            | 1               |
| 2. KÖMÜR TÜKETİMİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI .....            | 5               |
| 3. BRICS-T ÜLKELERİNİN TEMEL GÖSTERGELERİ.....                           | 8               |
| 4. LİTERATÜR ÖZETİ .....                                                 | 13              |
| 4.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı .....                             | 15              |
| 5. MODELLEME ÇALIŞMALARI.....                                            | 19              |
| 5.1. Değişken Seçimi ve Veri Tanımlaması.....                            | 19              |
| 5.2. Yöntem.....                                                         | 19              |
| 6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                             | 26              |
| 6.1. Tanımlayıcı İstatistiksel Bulgular .....                            | 26              |
| 6.2. Modelleme Sonuçları ve Doğrulama .....                              | 28              |
| 6.3. Önerilen Modellerin Tahmin Performanslarının Değerlendirilmesi..... | 33              |
| 6.4. Tahmin Sonuçları.....                                               | 33              |
| 7. SONUÇLAR.....                                                         | 41              |
| 8. ÖNERİLER .....                                                        | 43              |
| 9. KAYNAKLAR.....                                                        | 44              |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 10. EKLER ..... | 53 |
|-----------------|----|

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

## ÖZET

### KÖMÜR TÜKETİMİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI VE EMİSYON TAHMİNİNE YÖNELİK İSTATİSTİKSEL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Büşra DEMİR AVCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. İzzet KARAKURT  
2024, 65 Sayfa, 2 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında, kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarına yönelik bilgiler verilmesi ve trend analizinden yararlanılarak ilgili emisyonların tahmin edilmesine yönelik basit modellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Hızlı büyüyen ve dinamik enerji tüketici ülkelerden oluşmaları ve aynı zamanda en fazla sera gazı emisyonu yayan ülkelere sahip olmaları nedeniyle, çalışmada Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye örnek olarak seçilmiştir. Geliştirilen modellerin tahmin doğrulukları ve tahmin performans ölçümleri de istatistiksel olarak test edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen/önerilen modellerle ilgili ülkelerin kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları 2025'ten 2035'e kadar tahmin edilmiştir. Sonuçlar, çalışma kapsamına alınan ülkelerin sahip oldukları önemli üstünlükler nedeniyle yakın gelecekte dünya ekonomisine yön verecek konuma geleceğini göstermiştir. Geliştirilen/önerilen modellerin istatistiksel doğrulama sonuçları ve tahmin performans ölçümleri, ilgili modellerin kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tahmininde etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Son olarak, ilgili ülkelerin ve dünyanın kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının 2035 yılına kadar yıllık sırasıyla %2,39 ve %1,71 artış oranları ile 14 ve 19 milyar ton karbondioksit eşdeğerine ( $\text{BtCO}_{2\text{eşd.}}$ ) çıkacağı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Trend analizi, Modelleme, Sera gazı emisyonları, Kömür tüketimi, BRICS-T

Master Thesis

## SUMMARY

### GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM COAL CONSUMPTION AND DEVELOPMENT OF STATISTICAL MODELS FOR EMISSION ESTIMATION

Büşra DEMİR AVCI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
**Mining Engineering Graduate Program**  
Supervisor: Prof. Dr. İzzet KARAKURT  
2024, 65 Pages, 2 Pages Appendix

In this thesis, it is aimed to provide information on greenhouse gas emissions associated with coal consumption and to develop simple models for estimating related emissions by trend analysis. Since they consist of the fastest-growing and most dynamic energy consumers and have also the heaviest emitters of greenhouse gas emissions, the study adopts Brazil, the Russian Federation, India, China, South Africa and Turkey as cases. The confirmation and forecasting accuracies of the derived models are also statistically determined by various tests. Moreover, the future greenhouse gas emissions associated with coal consumption are estimated from 2025 to 2035 by the derived/proposed models in the related countries. The results show that the countries included in the study will be in a position to direct the world economy in the near future due to their significant superiorities. Statistical validation and performance measurements' results of the derived/proposed models reveal that the models can be used effectively in the estimation of greenhouse gas emissions associated with coal consumption. Finally, the projected outcomes determine that the total greenhouse gas emissions associated with coal consumption in the related countries and world would increase to 14 and 19 billion tons of carbon dioxide equivalents with the annual increases of 2.39% and 1.71% respectively by 2035.

**Key Words:** Trend analysis, Modelling, Greenhouse gas emissions, Coal consumption, BRICS-T

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Gazların sera etkisi içerisindeki payları (Karakurt vd., 2011) .....                                        | 2  |
| Şekil 2.1. Küresel sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı (Ritchie vd., 2020) .....                                | 6  |
| Şekil 3.1. BRICS-T ülkelerinin coğrafi konumları ve enerji rezervleri (EI, 2023).....                                  | 11 |
| Şekil 3.2. BRICS-T ülkelerinin sera gazı ve CO <sub>2</sub> emisyonlarının dünyadaki payları (Ritchie vd., 2020) ..... | 12 |
| Şekil 5.1. BRICS-T ülkeleri ve Dünya GHGE-CC'nin tarihsel eğilimi (IEA, 2022).....                                     | 20 |
| Şekil 5.2. Tez çalışmasında izlenen akış şeması .....                                                                  | 23 |
| Şekil 5.3. TA ile model üretilmesine/geliştirilmesine yönelik SPSS yazılım programında izlenen adımlar .....           | 25 |
| Şekil 6.1. GHGE-CC'nin tahmin edilen ve gözlenen (gerçek) değerleri.....                                               | 32 |
| Şekil 6.2. BRICS-T ülkeleri ve Dünya GHGE-CC'lerinin öngörülen yıllık büyüme ve 2035 yılındaki değişim oranları .....  | 37 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. BRICS-T ülkelerinin bazı göstergeleri (PwC, 2022; WBI, 2023) .....                                                    | 9  |
| Tablo 3.2. BRICS-T ülkelerinin ve Dünya'nın yakıt ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları (IEA, 2022)..... | 10 |
| Tablo 4.1. Enerji tüketimi, kömür üretimi ve tüketiminde ilk beş ülke (EI, 2023).....                                            | 18 |
| Tablo 6.1. BRICS-T ülkelerinin GHGE-CC'ne yönelik tanımlayıcı istatistikler.....                                                 | 27 |
| Tablo 6.2. Geliştirilen/önerilen modellere yönelik istatistik sonuçlar .....                                                     | 29 |
| Tablo 6.3. Geliştirilen/önerilen tahmin modelleri .....                                                                          | 30 |
| Tablo 6.4. Geliştirilen/önerilen modellerin istatistiksel doğrulama sonuçları.....                                               | 31 |
| Tablo 6.5. MAPE ve RRMSE referans tablosu (Lewis, 1982; Li vd., 2013).....                                                       | 34 |
| Tablo 6.6. Geliştirilen/önerilen modeller için performans ölçümleri.....                                                         | 35 |
| Tablo 6.7. BRICS-T ülkeleri ve Dünya'nın tahmin edilen GHGE-CC'ı .....                                                           | 36 |

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                        |                                                                             |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| AB                     | : Avrupa Birliği                                                            |
| ABD                    | : Amerika Birleşik Devletleri                                               |
| ARDL                   | : Panel otoregresif dağıtılmış gecikme modeli                               |
| BRICS-T                | : Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye      |
| BtCO <sub>2</sub> eşd. | : Milyar ton karbondioksit eşdeğer                                          |
| Btoe                   | : Milyar ton petrol eşdeğer                                                 |
| CC                     | : Kömür tüketimi                                                            |
| CCEMG                  | : Ortak ilişkili etkiler ortalama grubu                                     |
| CFC's                  | : Kloroflorokarbon gazları                                                  |
| CH <sub>4</sub>        | : Metan gazı                                                                |
| CO <sub>2</sub>        | : Karbondioksit gazı                                                        |
| CV                     | : Varyasyon katsayısı                                                       |
| EKC                    | : Çevresel Kuznets eğrisi                                                   |
| erMAX                  | : Maksimum mutlak bağıl hata                                                |
| FC                     | : Yakıt tüketimi                                                            |
| FFs                    | : Fosil yakıtlar                                                            |
| G7                     | : Net küresel zenginliğin %60'ından fazlasını oluşturan 7 ülke üyeli birlik |
| GDP                    | : Gayri safi yurtiçi hâsıla                                                 |
| GHGE-CC                | : Kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları                      |
| GSMH                   | : Gayri safi milli hâsıla                                                   |
| GSYİH                  | : Gayri safi yurtiçi hasıla                                                 |
| GWO                    | : Gri kurt optimizasyon algoritması                                         |
| HDI                    | : İnsani gelişme endeksi                                                    |
| JB                     | : Jarque-Bera testi                                                         |
| MAD                    | : Ortalama mutlak sapma                                                     |
| MAPE                   | : Ortalama mutlak yüzde hata                                                |
| MSE                    | : Ortalama karesel hata                                                     |
| MtCO <sub>2</sub> eşd. | : Milyon ton karbondioksit eşdeğer                                          |
| Mtoe                   | : Milyon ton petrol eşdeğer                                                 |
| NARDL                  | : Doğrusal olmayan otoregresif dağıtılmış gecikme modeli                    |
| NGC                    | : Doğal gaz tüketimi                                                        |

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| NO <sub>2</sub> | : Azot oksit                         |
| OC              | : Petrol tüketimi                    |
| PEC             | : Birincil enerji tüketimi           |
| PQR             | : Panel niceliksel regresyon         |
| R <sup>2</sup>  | : Determinasyon katsayısı            |
| RMSE            | : Ortalama karesel hatanın kökü      |
| RRMSE           | : Göreceli kök ortalama karesel hata |
| SD              | : Standart sapma                     |
| SH              | : Standart hata                      |
| SLS             | : Üç aşamalı en küçük kareler modeli |
| SPSS            | : İstatistiksel yazılım programı     |
| TA              | : Trend analizi                      |
| TP              | : Toplam nüfus                       |
| US\$            | : Amerikan doları                    |

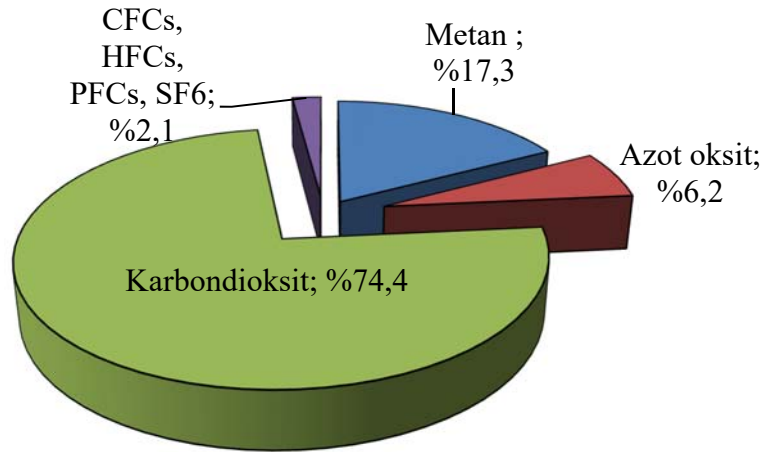
## 1. GİRİŞ

Günümüz kaynaklarının aşırı ve düzensiz tüketilmesi, dünya doğal dengesinin bozulmasına ve bunun sonucunda küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi önemli sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Konuya yönelik çalışma yapan bilim insanlarının çoğu 20. yüzyılın ortalarına kadar küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yalnızca doğal etkenler ve süreçlerden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Ancak 1960'lardan sonra bu yaklaşım, değişikliğe uğramış ve ileri sürülen nedenlerin yanında, hızlı nüfus artışı, çarpık yerleşim ve kentleşme, ormansızlaşma, bazı tarımsal ve endüstriyel uygulamalardaki artışlar ve aşırı enerji üretimi/tüketimi gibi insanların çeşitli faaliyetlerinin de iklim sistemi üzerinde etkileri olabileceği fikrini benimsemişlerdir (Hekimoğlu ve Altindeğer, 2008; Ramanathan ve Feng, 2009; Adam ve Apaydın, 2016). Bu faaliyetlerden atmosfere salınan sera gazlarının neden olduğu küresel ısınma, hem bölgesel hem de küresel ölçekte iklimi önemli ölçüde etkilemeye devam etmektedir.

Dünya iklim sisteminin vazgeçilmezi konumunda olan sera gazları, güneş ve yer radyasyonunu tutarak atmosferin ısınmasına sebep olduklarından dünya iklimi açısından hayati öneme sahiptirler. Yani, atmosferin ve yeryüzünün ısınması “*Doğal Sera Etkisi*” sayesinde olmaktadır. Bir başka deyişle; sera gazları normal şartlar altında doğal düzenin bir parçasıdır. Dünya sıcaklığının belirli bir seviyede olması ve doğal hayatın devam etmesi için sera gazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çerçevede, sera gazları hem doğal hem de antropojenik olarak doğal yaşamın devamını etkilemektedir. Antropojenik kaynaklı sera gazları elektrik kullanımı, ulaşım, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler ve atıklar gibi enerji faaliyetlerinden açığa çıkarken doğal sera gazları ise volkanlar, orman yangınları, depremler ve okyanuslardaki sirkülasyonlar sonucu açığa çıkmaktadır (Hekimoğlu ve Altindeğer, 2008; Liu ve Xian vd., 2018; EPA,2024). Dünya atmosferine yönelik bu hayati önemine rağmen son dönemlerde bu gazlarının miktarlarındaki aşırı artış, dünyanın ortalama sıcaklığının giderek arttırması sürecini de başlatmıştır. Bu ısınma, dünyanın her bölgesinde aynı etkiyi göstermeyerek bazı bölgelerde kasırgalara, sellere ve taşkınlara sebep olurken bazı bölgelerde de uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve çölleşmeyi beraberinde getirecektir. Daha açık bir ifade ile bu ısınma; buzulların erimesi ile birlikte deniz suyu seviyelerinde yükselmelere, taşkınların artmasına ve bağlı olarak toprak kayıplarının artmasına, tarım arazilerinin yok olmasına, sel ve taşkınlarla birlikte çeşitli sağlık sorunlarının ortaya

ıkmasına, temiz su kaynaklarının azalmasına, orman yangınlarının artmasına, g dalgası ile birlikte yaşanabilecek kentsel sorunlar ve daha fazlası gibi etkileri söz konusu olacaktır (Akın, 2006; şen, 2022).

En yaygın ve bilinen sera gazları; karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O), su buharı (H<sub>2</sub>O), hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar ve kükürt hekzaflorür (CFCs, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>) dahil endüstriyel gazlardır. Su buharı, diğeri sera gazları ile kıyaslandığında atmosferde en çok olan gazdır. Su buharının oluşumu direkt olarak insan faaliyetlerin kaynaklanmamaktadır. Su döngüsü olarak gerçekleşen bir süreçtir. Sulama ve ormanların yok edilmesi gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan su buharındaki değışiklikler, dünya yüzeyindeki sıcaklıkları doğrudan etkileyebilir nitelikteki faaliyetlerdir. Hacimce yaklaşık %4'lk bir orana sahip olmasına karşın ısı enerjisini emme zelliğ'i sebebiyle hortum, fırtına ve siklon gibi şiddetli hava olaylarının gizli ısı adı altındaki enerji kaynağ"dır (Türkeş, 2021). Ancak insan kaynaklı su buharı emisyonlarının atmosferdeki su buharı seviyelerini önemli ölçüde değıştirmemesi nedeniyle uluslararası sera gazı envanterine dahil edilmediğini ifade eden bazı kaynaklar da mevcuttur (IPCC, 2007; IPCC, 2008; Doll ve Baranski, 2011). En yaygın bilinen sera gazları arasında emisyonların %70'inden fazlasından sorumlu olan CO<sub>2</sub>, dünya çapında küresel ısınmaya ve iklim değışikliğine katkıda bulunan en büyük sera gazıdır (şekil 1.1).



şekil 1.1. Gazların sera etkisi içerisindeki payları (Karakurt vd., 2011)

CO<sub>2</sub>'in yaklaşık 50-200 yıllık ömrü ve uzun dalga boylu ışınların büyük bölümünü emme zelliğ'i nedeniyle iklim değışikliğ'i kapsamında önemli etkisi vardır. Genellikle fosil yakıtların (FFs) yanması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ek olarak, ormanların tahrip

edilmesi ve arazi kullanımı gibi uygulamalar da atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranının artmasına sebep olmaktadır. Sera gazı emisyonları arasındaki oranı %17 olan CH<sub>4</sub>, atmosferde CO<sub>2</sub> kadar uzun süre yer almasa da küresel ısınmada 25 kat daha fazla etkilidir. Genel olarak kömür madenciliği başta olmak üzere, çöp birikintileri ve oksijensiz koşullarda ayrışmayla atmosfere salınır ve yaşam ömrü yaklaşık 11 yıl ile diğer gazlardan kısadır (Saunois vd., 2020). Bir diğer bilinen sera gazı N<sub>2</sub>O, dünya'nın azot döngüsü sebebiyle doğal olarak atmosferde bulunur. Salınımından sonra atmosferde 100-150 yıldan daha uzun süre kalmaktadır. Atmosferdeki N<sub>2</sub>O oranının %40'ı insan kaynaklıdır ve kaynakları arasında gübre kullanımı gibi tarımsal faaliyetler, yakıt kullanımı ve evsel atık suyun arıtılması yer almaktadır. CO<sub>2</sub> ile benzer şekilde azot oksitlerde dalga boyları için etkili bir emici olma özelliği taşıması sebebiyle küresel ısınma üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler (EPA, 2024). Sera gazları arasında, stratosferdeki ozonun bozulmasına yol açan ve en büyük kaynakları aerosol püskürtücüler ve soğutucular olan kloroflorokarbonlar ise 65 ila 130 yıl ömrü olması sebebiyle de küresel ısınmada oldukça etkili gazlardandır (Türkeş, 2021).

Sera gazı emisyonlarının başlıca kaynaklarından biri olan FFs; %32'si petrol, %27 ve %24'ü de sırasıyla kömür ve doğal gaz olmak üzere küresel enerji ihtiyacının %80'ninden fazlasını karşılamaktadır. Petrol, kömür ve doğal gaza olan bu bağımlılık, başta CO<sub>2</sub> emisyonları olmak üzere dünyadaki sera gazlarının çoğunun temel kaynağını oluşturur. FFs'ın ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik en iyi bilineni Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması olmak üzere bugüne kadar birçok uluslararası anlaşma yapılmıştır. Ancak yaşanan istikrarsız süreçler, enerji kaynakları fiyatlarındaki istikrarsızlık, enerji kaynaklarının yeterli ve zamanında temin edilememesi ve diğer ekonomik kaygılar gibi faktörler nedeniyle ülkeler FF kullanmaya devam etmektedir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler için en önemli çevresel endişelerden biridir. Bu durum ekonomik büyüme gibi ortak paydaları dışında kültürleri, geçmişleri, dilleri ve ekonomik yapıları farklı olan Brezilya, Rusya Federasyonu, Hindistan, Çin, Güney Afrika (BRICS ülkeleri olarak bilinen) ve Türkiye için de geçerlidir (Gu vd., 2018; Yang vd., 2021). Bu ülkelerin yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları 23,32 milyar ton karbondioksit eşdeğere (BtCO<sub>2eşd.</sub>) ulaşmıştır. Bu değer, yakıt tüketiminden kaynaklı küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %43'üne denk gelmektedir (Zakarya vd., 2015; Tian vd., 2020; Ritchie vd., 2020). Bu

nedenle; son zamanlarda hem araştırmacılar hem de politika yapıcılar, diğerk ulusal, bölgesel ve küresel düzeylere ek olarak gelişen bu ülkelerdeki sera gazı emisyonlarının azaltılmasına öncelik verilmesinin önemini fazlaca vurgulamaktadır. Ayrıca, geleceğey yönelik sera gazı emisyonlarını mümkün olduğunca doğru tahmin edilmesi, ülke ve/veya bölge bazında ekonomistler, bilim insanları, enerji ve çevre politikacıları dâhil tüm paydaşlar için teoride ve pratikte oldukça önemlidir. Böylelikle sera gazı emisyonlarının azaltılmasına karşı alınabilecek uygun ölçüm tekniklerinin oluşturulmasına yardımcı olunmasına katkıda bulunulacaktır.

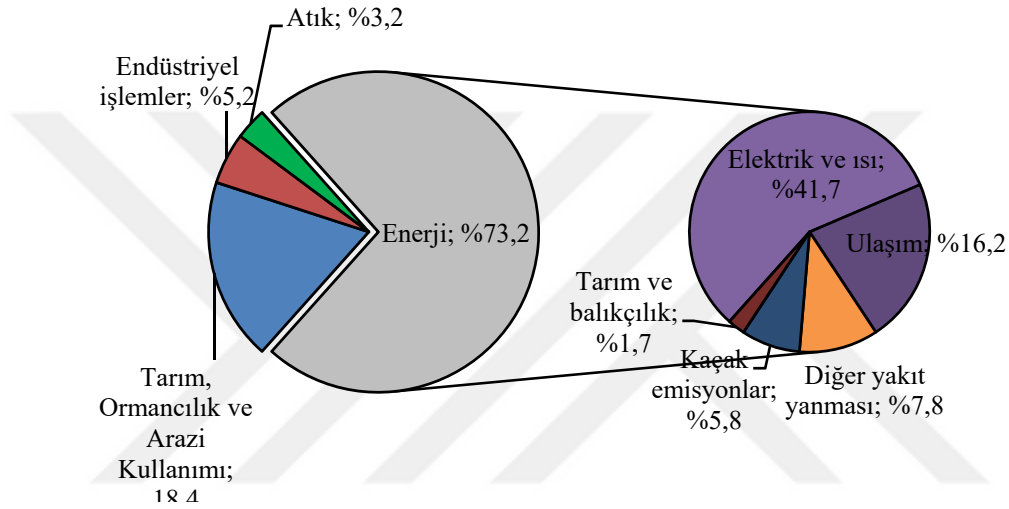


## 2. KÖMÜR TÜKETİMİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI

Enerji, herhangi bir ülkenin kalkınmasında ve sürdürülebilir ekonomik büyümesinin sağlanmasında en önemli rolü oynayan faktörlerden birisidir. Enerjiye farklı formlarda ulaşabilme seçeneği olmasına rağmen temel enerji kaynaklarını fosil, yenilenebilir ve kimyasal işlemler sonucu elde edilen olmak üzere üç sınıfta toplamak mümkündür. Önceki bölümde de belirtildiği gibi FFs dünyanın toplam enerji arzı açısından hayati öneme sahiptir. Bu hayati öneme rağmen FFs aynı zamanda küresel ısınmanın temel faktörü olan sera gazı emisyonlarının da en büyük kaynağıdır (Diler, 2006). Günümüzde ülkelerin enerji ihtiyaçlarının büyük çoğunluğunu FFs'dan karşılamaya devam etmesi atmosferdeki sera gazı emisyonlarının da ciddi oranlarda artmasını da beraberinde getirmektedir/getirmeye de devam etmektedir. Şöyle ki; 2021 yılında dünya toplam sera gazı emisyonları 54,5 BtCO<sub>2eşd.</sub>'e ulaşmıştır. Bu değer, 1990 yılındaki yaklaşık 35 BtCO<sub>2eşd.</sub> olan emisyonlardan %40 daha fazladır. Çin (%26,4), Amerika Birleşik Devletleri (ABD, %12,5), Hindistan (%7,06), Avrupa Birliği (AB, %7,03) ve Rusya Federasyonu (%4,42) gibi az sayıda ülke dünyadaki sera gazı emisyonlarının çoğundan sorumludur. Bu ülkeler toplamda %53,27'lik pay ile küresel sera gazı emisyonlarının yarısından fazlasına katkıda bulunan ilk beş ülke konumundadırlar. Aynı yıl, toplam küresel sera gazı emisyonlarının neredeyse %70'ini CO<sub>2</sub> oluşturmuştur. Ülke bazında yine bir sınıflama yapıldığında; %13,5 oranı ile ABD, Çin'in ardından (%31) ikinci sırayı alırken ABD'ni %7,3 ile Hindistan, %4,74 ile Rusya Federasyonu ve %2,88 ile Japonya takip etmiştir. Bir başka deyişle, dünyanın en büyük beş CO<sub>2</sub> emisyoncusu olan bu ülkeler, toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %60'ına katkıda bulunmuştur (EI, 2023).

Ulaşım, elektrik ve ısı, binalar, imalat ve inşaat, kaçak emisyonlar ve diğer yakıtların yanmasını gibi alt sektörleri içeren enerji sektörü, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının açık ara en büyük kaynağıdır ve küresel sera gazı emisyonlarının neredeyse dörtte üçünden sorumludur. Enerji sektörünü, sırasıyla tarım, ormancılık ve arazi kullanımı, endüstriyel işlemler ve atık sektörleri toplamda yaklaşık %27 pay ile takip etmektedir. Enerji sektörü içerisinde, emisyonların çoğu ısı ve elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır. Isı ve elektrik üretimi alt sektörü ulaşım ve diğer alt sektörleri takip etmektedir (Şekil 2.1). Miktar bazında ise 2021 yılında enerji sektöründen kaynaklanan

toplam sera gazı emisyonları 35,5 BtCO<sub>2eşd.</sub> olarak gerçekleşmiştir. Bu değere FFs en büyük katkıyı (%90'dan fazla) yapmaktadır (Ritchie vd., 2020; IEA, 2022). FF türü olarak sıralama yapıldığında, kömür açık ara ile ön sıradadır. Bir başka ifade ile kömür yaklaşık 14,32 BtCO<sub>2eşd.</sub> ile ilgili sera gazı emisyonlarına en fazla katkıyı yapan FF türüdür. Kömürü, petrol ve doğal gaz sırasıyla 10,30 BtCO<sub>2eşd.</sub> ve 7,10 BtCO<sub>2eşd.</sub> ile takip etmektedir. Bu da kömürün; petrolün 1,39 ve doğal gazın 2,02 katı kadar daha fazla sera gazı emisyonuna sebep olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.1. Küresel sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı (Ritchie vd., 2020)

Diğer taraftan, küresel ölçekte kömür tüketimi kaynaklı en çok sera gazı yapan ülkeler arasında %56,01 ve %10,28 oranları ile Çin ve Hindistan açık ara lider konumdadırlar. Bu ile ülkeyi sırasıyla, ABD (%6,08), AB (%3,94) ve Rusya Federasyonu (%2,91) ile takip etmektedir. Kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında lider konumda olan Çin, bir başka FF türü olan petrol tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında ise ABD'nin ardından ikinci sıradadır. Petrol yakıt türünde AB üçüncü sırada yer alırken Hindistan dört ve Rusya Federasyonu ise beşinci sırada yer almaktadır. Kömür ve petrol tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında bu beş ülke arasında sonuncu sırada yer alan Rusya Federasyonu, doğal gaz tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında ABD'nin ardından %11,27 ile ikinci sırada yerini almıştır. Kömür ve petrol tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında ilk beş ülke arasında üst sıralarda yer alan Hindistan doğal gaz tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında ilk beş ülke içinde yer alamazken AB ve Çin sırasıyla % 10,24 ve %8,60 oranları ile üçüncü ve dördüncü sırada kendilerine yer

bulmuştur. Bu veriler, yakıt tüketiminden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarındaki kömürün payının ne kadar yüksek olduğunun açık bir göstergesidir.



### 3. BRICS-T ÜLKELERİNİN TEMEL GÖSTERGELERİ

BRICS, 2001 yılında ilk defa Goldman Sachs'ın baş ekonomisti Jim O'Neill tarafından ifade edilen ve gelişmekte olan Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika'dan oluşan beş ülkenin İngilizce isimlerinin baş harflerinin bir kısaltmasıdır. BRIC kısaltmasıyla dört üyeli bir uluslararası örgüt olarak başlayan grup, dört kurucu ülkenin ilk iki zirvesinin ardından 2010 yılında Güney Afrika'nın üyeliği ile BRICS kısaltmasıyla faaliyetlerine devam etmektedir (İbrahim ve Ajide, 2021). Grubun resmi bir üyesi olmayan ancak bölgesinde yükselen bir aktör olması ve gruptaki üye ülkelere benzer bir gelişme eğilimi göstermesi nedeniyle tez çalışması kapsamında bu grup içinde Türkiye'nin yer almasına karar verilmiştir. Dolayısıyla izleyen bölümlerde BRICS kısaltması yerine BRICS-T kısaltması kullanılacaktır.

BRICS-T ülkeleri, 3 milyarı aşkın nüfusu ve 27 trilyon ABD doları (US\$) gayri safi milli hasılası (GSMH) ile dünya toplam nüfusunun %42'sinden fazlasını kapsaması ve dünya ekonomisinin yaklaşık %27'sini yönetmesi nedeniyle günümüz dünyasında büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca, gruptaki ülkeler coğrafi olarak küresel kara yüzeyinin %30'undan fazlasını oluşturan yaklaşık 40 milyon km<sup>2</sup>'lik bir kara alanına da sahiptir (Şekil 3.1). BRICS-T ekonomileri son yıllardaki büyüme eğilimi ile de ön plana çıkmaktadırlar. 2022 yılı ilk yarısında BRICS-T ekonomileri arasında yıllık %7,01 büyüme oranı ile en yüksek büyüme oranına sahip ülke Hindistan olurken, en düşük büyüme oranı Güney Afrika'ya ait olmuştur (Tablo 3.1). BRICS-T ülkelerinin neredeyse tamamının mevcut GSMH sıralamalarını 2050 yılına kadar üst sıralara taşıması öngörülmektedir. Örneğin, Tablo 3.1'den de görüleceği üzere Çin'in 2030'da nominal GSMH temelinde ABD'ni geçmesi ve 2050'ye kadar dünyanın en büyük ekonomisi olması beklenmektedir. Hindistan'ın dünyanın en büyük üçüncü ekonomisi olması beklenirken, Japonya'nın ardından Rusya ve Brezilya'nında sırasıyla beşinci ve altıncı olarak yer alması öngörülmektedir (Siddiqui, 2016; Tian vd., 2020; Anser vd., 2021). Bu ayırt edici özelliklerinden hareketle, BRICS-T ülkelerinin ekonomik gücünün uzun vadede G7 ile rekabet edecek konuma gelmesi, hatta onu geçerek dünya ekonomisinde baskın bir ekonomik blok olarak ortaya çıkacağı varsayılmaktadır (Chang ve Hu, 2019).

BRICS-T ülkeleri sahip oldukları enerji kaynakları ve tüketimleri açısından da dünyada önemli bir yere sahiptir. El'ya (2023) göre, 2022'de bu ülkeler dünya petrol, doğal gaz ve kömür rezervlerinin sırasıyla %8,5, %25 ve %41'ine sahiptir.

Tablo 3.1. BRICS-T ülkelerinin bazı göstergeleri (PwC, 2022; WBI, 2023)

| Ülkeler               | TP*<br>(Milyon) | GDP*<br>(milyar \$) | Kara<br>alanı<br>(km <sup>2</sup> ) | Büyüme<br>oranı* (%) | HDI**    | Tahmin edilen<br>GDP<br>sıralaması |          |
|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------|----------|------------------------------------|----------|
|                       |                 |                     |                                     |                      |          | 2030                               | 2050     |
| Brezilya              | 215,313         | 1920                | 8358140                             | 2,90                 | 0,76     | 6                                  | 5        |
| Rusya Federasyonu     | 143,555         | 2240                | 16376870                            | -2,07                | 0,82     | 7                                  | 6        |
| Hindistan             | 1417,173        | 3385                | 2973190                             | 7,01                 | 0,64     | 3                                  | 3        |
| Çin                   | 1412,175        | 17963               | 9388210                             | 2,99                 | 0,76     | 1                                  | 1        |
| Güney Afrika          | 59,893          | 405                 | 1213090                             | 2,04                 | 0,71     | 30                                 | 27       |
| Türkiye               | 85,341          | 905                 | 769630                              | 5,57                 | 0,83     | 14                                 | 14       |
| <b>BRICS-T Toplam</b> | <b>3387,450</b> | <b>26.818</b>       | <b>39079130</b>                     | <b>-</b>             | <b>-</b> | <b>-</b>                           | <b>-</b> |
| <b>Dünya</b>          | <b>7951,149</b> | <b>101.003</b>      | <b>127343220</b>                    | <b>3,08</b>          | <b>-</b> | <b>-</b>                           | <b>-</b> |

\* Temmuz 2022 itibarı ile

\*\* İnsan gelişim endeksi,

HDI  $\geq 0.8 \Rightarrow$  .ok yüksek. HDI 0.70 - 0.79  $\Rightarrow$  yüksek; HDI 0.55 - 0.69  $\Rightarrow$  orta; HDI  $\leq 0.54 \Rightarrow$  düşük

Bu ülkeler FFs'a ek olarak, Şekil 3.1'dende gösterildiği gibi önemli nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklarına da sahiptirler. Çin, FF kaynakları açısından en büyük doğal gaz, petrol ve kömür kaynaklarına sahip olan Rusya Federasyonu'nun ardından ikinci sırada yer almaktadır. FFs'daki durumun aksine Çin, yenilenebilir, hidroelektrik ve nükleer kaynaklar bazında grup içinde en büyük rezervlere sahip lider ülkedir.

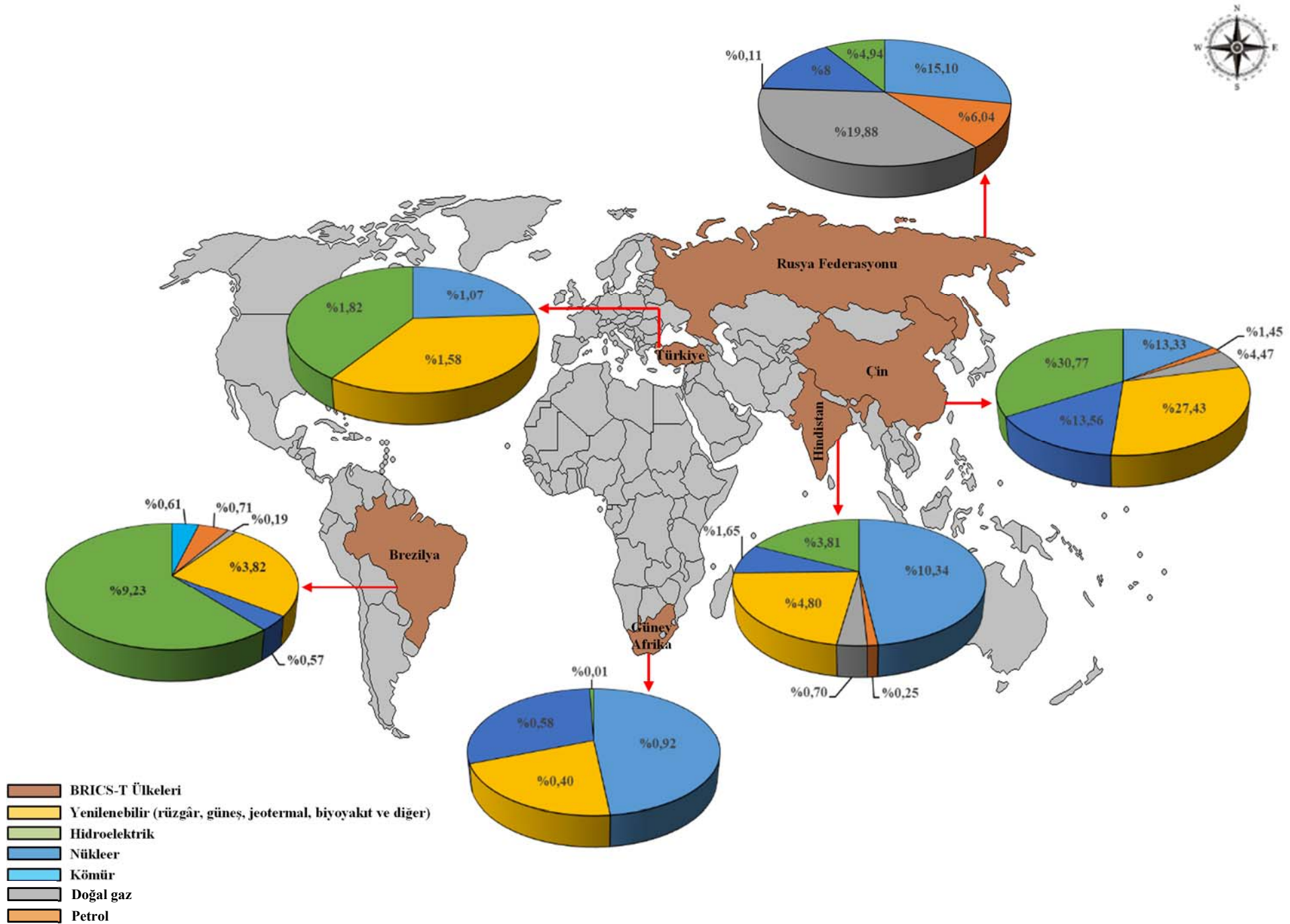
Dünya genelindeki önemli enerji kaynaklarına sahip olmasının yanı sıra, BRICS-T ülkelerinin ekonomik gelişimi ve grup hakkında artan küresel farkındalık, birincil enerji tüketimlerindeki (PEC) sürekli artışı da körüklemiştir. Örneğin, 2022'de dünya PEC'mi 14,4 milyar ton petrol eşdeğerine (Btoe) ulaşırken BRICS-T ülkelerinin PEC'mi 6 Btoe'ya ulaşmıştır. BRICS-T ülkeleri bu değer ile dünya PEC'nin %41'inden sorumlu hale getirmiştir. BRICS ülkeleri arasında Çin, Hindistan ve Rusya Federasyonu bu oranlara en fazla katkı sağlayan ilk üç ülke olarak yer almıştır. Öte yandan, 2022'de BRICS-T ülkelerindeki PEC'in büyük bir çoğunluğu FFs (neredeyse %83) tarafından karşılanmıştır. Bu yakıtlar arasında kömür, BRICS-T ülkelerindeki PEC'in yaklaşık yarısını (%47) oluştururken, grubun PEC'inde sırasıyla hidroelektrik, yenilenebilir ve nükleer enerji

kaynakları takip etmiştir (EI, 2023). Bu temel göstergelerden, BRICS-T ülkelerinin son zamanlarda hızlı ekonomik gelişmeye tanık olduğu ve küresel ekonomik büyümeye olağanüstü katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Ancak bu hızlı ekonomik gelişme, sera gazı dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının artması gibi önemli çevresel kaygılara da yol açmıştır. Örneğin, 2020 yılında grubun toplam sera gazı emisyonları 23,31 BtCO<sub>2eşd.</sub> olarak gerçekleşmiştir. Bunun 17,32 BtCO<sub>2eq</sub>'si CO<sub>2</sub> emisyonlarına aittir. Başka bir deyişle; dünya sera gazlarının yaklaşık %43'ü ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının %47'si BRICS-T ülkeleri sorumludur (Şekil 3.2). Grup içinde en fazla sera gazı ve CO<sub>2</sub> salınımı yapan ülkeler Çin ve Hindistan olurken en az salınım yapanlar Güney Afrika ve Türkiye'dir. BRICS-T ülkelerinin 2020 yılında 23,31 BtCO<sub>2eşd.</sub> olarak gerçekleşen toplam sera gazı emisyonlarının 15,057 BtCO<sub>2eşd.</sub>'i, bir başka deyişle toplam sera gazı emisyonlarının neredeyse %65'i yakıt tüketiminden kaynaklıdır. İlgili grubun yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarının büyük çoğunluğuna 10,453 BtCO<sub>2eşd.</sub> ile kömür katkıda bulunurken en düşük katkıyı ise 1,647 BtCO<sub>2eşd.</sub> ile doğal gaz sunmuştur. Ayrıca, BRICS-T ülkeleri, kömür tüketiminden kaynaklı küresel sera gazlarının da %73,02'sinden sorumludurlar. İlgili gruptaki ülkeler arasında Çin, hem yakıt hem de fosil yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında sadece Rusya Federasyonu'nun lider konumunda olduğu doğal gaz tüketimi haricinde açık ara lider ülke konumundadır (Tablo 3.2).

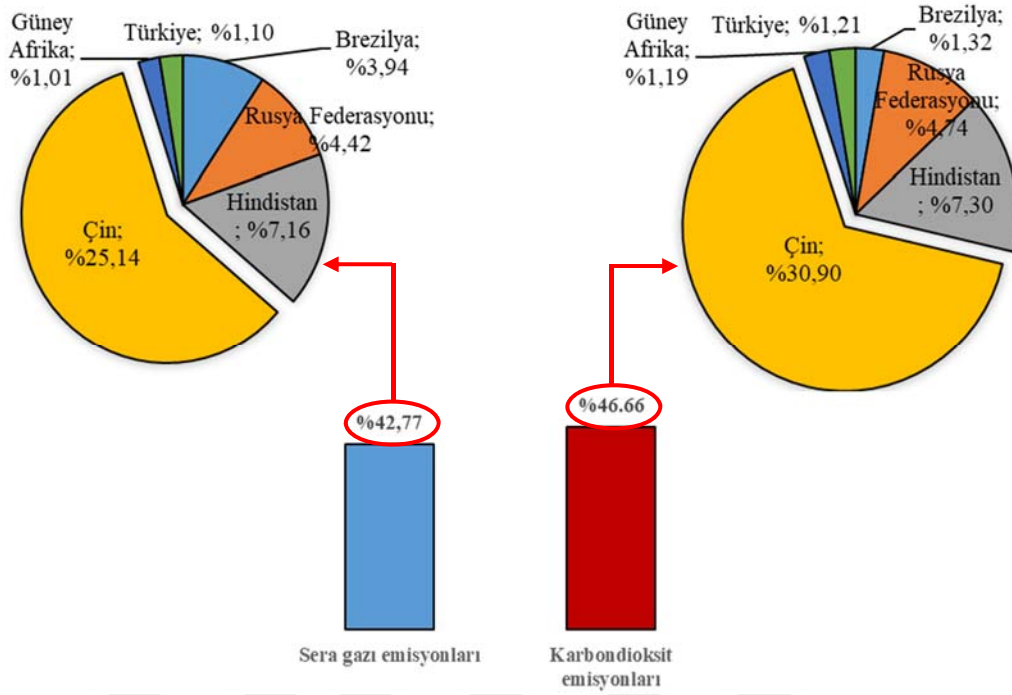
Tablo 3.2. BRICS-T ülkelerinin ve Dünya'nın yakıt ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları (IEA, 2022)

|               | FC                    |       | CC                    |       | OC                    |       | NGC                   |       |
|---------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| Ülke          | BtCO <sub>2eşd.</sub> | %     | BtCO <sub>2eşd.</sub> | %     | BtCO <sub>2eşd.</sub> | %     | BtCO <sub>2eşd.</sub> | %     |
| Brezilya      | 0,406                 | 1,26  | 0,055                 | 0,38  | 0,270                 | 2,62  | 0,065                 | 0,92  |
| Rusya         | 1,563                 | 4,85  | 0,418                 | 2,92  | 0,299                 | 2,90  | 0,800                 | 11,27 |
| Hindistan     | 2,135                 | 6,63  | 1,473                 | 10,29 | 0,538                 | 5,22  | 0,078                 | 1,10  |
| Çin           | 10,190                | 31,65 | 8,018                 | 56,01 | 1,507                 | 14,64 | 0,610                 | 8,59  |
| Güney Afrika  | 0,393                 | 1,22  | 0,327                 | 2,28  | 0,061                 | 0,59  | 0,004                 | 0,06  |
| Türkiye       | 0,370                 | 1,15  | 0,162                 | 1,13  | 0,112                 | 1,09  | 0,090                 | 1,27  |
| BRICS-T Total | 15,057                | 46,76 | 10,453                | 73,02 | 2,787                 | 27,07 | 1,647                 | 23,20 |
| Dünya         | 32,200                |       | 14,316                |       | 10,297                |       | 7,100                 |       |

FC: Yakıt tüketimi; CC: Kömür tüketimi; OC: Petrol tüketimi; NGC: Doğal gaz tüketimi; BtCO<sub>2eşd.</sub>: Milyar ton karbondioksit eşdeğer



Şekil 3.1. BRICS-T ülkelerinin coğrafi konumları ve enerji rezervleri (EI, 2023)



Şekil 3.2. BRICS-T ülkelerinin sera gazı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının dünyadaki payları (Ritchie vd., 2020)

Bu göstergeler, BRICS-T ülkelerinin hızlı büyüyen ve dinamik enerji tüketicileri olduğunu açıkça göstermektedir. Bu ülkeler aynı zamanda en fazla sera gazı ve CO<sub>2</sub> salınımına sahip ülkelerdir (Çin, Hindistan, Rusya Federasyonu ve Brezilya, 2021'de dünyada ilk on sera gazı ve CO<sub>2</sub> yayıcısı arasında yer almıştır). Sonuç olarak, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin gelecekte varacağı durum göz önüne alındığında, bu grubun enerji kullanımı ve sera gazı emisyonları performanslarına konsantre olunması hayati öneme sahiptir.

#### 4. LİTERATÜR ÖZETİ

CO<sub>2</sub> emisyonları başta olmak üzere sera gazları, dünyanın her yerinden araştırmacılar, politika yapıcılar veya diğer paydaşlar tarafından büyük ilgi görmektedir. Bu nedenle, sera gazı ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının izlenilmesi ve tahmin edilmesine yönelik ilgili literatürde birçok bilim insanı istatistiksel ve yapay zekâ tabanlı yöntemler kullanarak ulusal, bölgesel ve uluslararası düzeylerde çeşitli modeller önermişlerdir/önermektedirler. Gelişmekte olan önemli bir ekonomik blok olarak, BRICS-T ülkeleri hakkında da grup ya da ülke düzeyinde kapsamlı, güvenilir ve büyüyen bir çalışmaya da ilgili literatür de rastlanılmaktadır. Aşağıda son on beş yılda gerçekleştirilen çok sayıdaki araştırma içinden kısa bir özet sunulmaktadır.

Pao ve Tsai (2010), panel eş bütünleşme tekniği kullanarak BRIC ülkelerinin enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki uzun vadeli ilişkiyi ele almıştır. Kone ve Buke (2010), Türkiye'nin enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını modellemek için trend analizi tekniğini kullanan bir çalışma yürütmüştür. Pao ve Tsai'nin (2011a) 1980-2007 yılları arasındaki dönem için panel eş bütünleşme tekniği kullanılarak yaptıkları bir çalışmada, enerji tüketiminin uzun vadede sera gazı emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğuna yönelik bir sonuca varmışlardır. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmalarında gri tahmin tekniği ile belirli bir süre içinde Brezilya için kirletici emisyonları, enerji tüketimi ve çıktı arasındaki dinamik ilişkileri incelemiştir (Pao ve Tsai (2011b). Li ve Lin (2015), meta-sınır enerji verimliliğinin CO<sub>2</sub> emisyonları ile yakınsamasını ve Çin'de enerji verimliliği konusundaki teknoloji açığını incelemiştir. Hamzacebi ve Karakurt (2015) Türkiye'deki enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmek için gri tahmin modelini kullanmıştır. Aydın (2015) tarafından Türkiye'deki enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmek için regresyon modelleri önerilmiştir. Yapay sinir ağı tekniği ile Türkiye'nin 2020 ve 2030 dönemleri için sera gazı emisyonlarını tahmin etme çalışmaları yapılmıştır (Pabuccu ve Bayramoğlu (2016). Özceylan (2016) Türkiye'deki CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmek için doğrusal, üstel ve karesel fonksiyonlarla farklı algoritmalar uygulamıştır. Dong vd. (2017), panel birim kök, eş bütünleşme ve nedensellik testleri kullanarak BRICS ülkeleri için kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonları, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), doğal gaz ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Ayvaz vd. (2017), Türkiye'deki enerji kaynaklı CO<sub>2</sub>

emisyonlarını tahmin etmek için gri tahmin modelini kullanmıştır. Haseb vd. (2018), BRICS ekonomileri için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) modeli varlığında, enerji tüketimi, finansal gelişme, küreselleşme, ekonomik büyüme ve kentleşmenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini, heterojenliğe ve yatay kesit bağımlılığına dayanıklı bir ekonometrik teknik ailesi kullanarak incelemiştir. Zhu vd. (2018), panel nicel regresyon kullanarak 1994'ten 2013'e kadar olan dönemlerde BRICS ekonomilerinde kentleşme ve gelir eşitsizliğinin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemiştir. Ummalla vd. (2019), hidroelektrik enerji tüketiminin BRICS ülkelerinde ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini, 1990–2016 dönemini kapsayan panel otoregresif dağıtılmış gecikme (ARDL) modeli ve panel niceliksel regresyon (PQR) tahminleri ile araştırmıştır. 1996–2017 döneminde BRICS ülkelerinin panel verilerini seçen Zhang ve Wand (2019), yenilenebilir enerji tüketiminin ve hizmet endüstrisi gelişiminin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini araştırmak için ortak ilişkili etkiler ortalama grubu (CCEMG) yöntemini, ayrıca karşılaştırma için tamamen değiştirilmiş OLS modelinin yanı sıra rastgele etkiler modeli ve havuzlanmış tahmini genelleştirilmiş en küçük kareler modelini kullanmıştır. (Şahin, 2019) tarafından, Türkiye'nin enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının tahmini için trend analizi tekniği tercih edilmiştir. Ekrem vd. (2020), yeni gizli panel eş bütünleşme ve doğrusal olmayan panel otoregresif dağılımlı gecikme modeli ile 1990'dan 2014'e kadar olan dönemde BRICS ülkelerinde enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve diğer faktörlerin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki asimetrik etkilerini araştırmıştır. 3SLS (üç aşamalı en küçük kareler) modeli, BRICS ülkelerinin (Rusya hariç) gerçek üretim, yenilenebilir enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiler üzerine ampirik bir çalışma yapmak için kullanılmıştır (Liu vd., 2020). Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika ekonomilerinde finansal gelişme, kentsel nüfus, teknoloji ve enerji tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki uzun vadeli esneklikleri ve kısa vadeli ilişkileri incelemek için Raghutla vd. (2020) tamamen değiştirilmiş sıradan en küçük kareler ve heterojen panel nedensellik testleri kullanmışlardır. CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>'nin tarihsel eğilimleri, BRICS ülkelerinde ekonomik faydalar ile çevresel emisyonların maliyeti ve kaynak kullanımı arasındaki dengeyi sağlamak için çok bölgeli bir girdi-çıktı modeli ile çalışma yapılmıştır (Tian vd., 2020). Uzlu (2021), gri kurt optimizasyon (GWO) algoritması tarafından eğitilmiş bir yapay sinir ağı (ANN) modeli kullanarak Türkiye'nin gelecekteki sera gazı emisyonlarını tahmin etmiştir. Ganda vd. (2021), BRICS ülkelerinde doğrudan yabancı yatırım, özel sektöre verilen iç kredi, enerji arzı ve beşeri sermaye arasındaki ilişkinin karbon emisyonları üzerindeki etkisini araştırmak

için sabit etkiler paneli eşik modelini kullanmışlardır. Zhao vd. (2021) tarafından 1985–2019 dönemi boyunca doğrusal olmayan otoregresif dağıtılmış gecikme modeli (NARDL) test yöntemi kullanılarak BRICS ekonomilerinde jeopolitik riskin enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki asimetrik etkisi incelenmiştir. 1990'dan 2020'ye kadar BRICS ülkelerinde yenilenebilir enerji gelişimi, piyasa düzenlemesi ve çevreyle ilgili yeniliğin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisi, ikinci nesil panel birim kök testi ve güncellenmiş doğrusal ve doğrusal olmayan eş bütünleşme teknikleri ile incelenmiştir (Abbas vd., 2022). Enerji tüketimi ve fosil kaynakların kullanımının, nükleer enerjinin ve yenilenebilir enerjinin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisi, Kartal (2022) tarafından hazırlanan çok değişkenli uyarlanabilir regresyon çizgileri uygulanarak incelenmiştir. Shi vd. (2022), 2006-2017 döneminde Pekin'in 16 ilçesinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının ekonomik büyümeden ayrılma durumunu analiz etmiştir. Güney Afrika'nın ulaşım sektöründeki sera gazı emisyonları ve itici güçleri, ana itici güçleri değerlendirmek için nüfus, refah ve teknoloji (STIRPAT) üzerinde regresyon ve parametrik olmayan ek regresyon yoluyla genişletilmiş bir stokastik etki uygulanarak incelenmiştir (Oladunni vd., 2022). Iqbal vd., (2023) tarafından 2000'den 2018'e kadar BRICS ülkelerinde karbon emisyonlarının, yenilenebilir enerji tüketiminin, DYY'nin ve ihracatın ekonomik büyüme üzerindeki etkileri ARDL, havuz ortalama grubu (PMG), ortalama grup (MG) ve Dumitrescu Hurlin panel nedensellik testleri gibi çeşitli ekonometrik teknikler kullanarak araştırılmıştır. Ahmed vd., (2023), çalışmalarında üç gelişmiş makine öğrenimi algoritması (destek vektör makinesi, yapay sinir ağı ve uzun-kısa süreli bellek) kullanarak Çin, Hindistan ve Rusya dahil olmak üzere dünyanın önde gelen ülkeleri için enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarındaki eğilimi araştırmışlardır. Çoklu regresyon analizi kullanan Karakurt ve Aydın (2023), BRICS-T ülkeleri de dâhil olmak üzere birçok ülkede FF kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının tahmini için modeller önermiştir.

#### **4.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı**

Son zamanlarda gerçekleştirilen ve yukarıda bir özeti sunulan çalışmalar, zaman dilimleri, model teknikleri, metodolojiler, sosyoekonomik değişkenler, coğrafi konumlar ve BRICS-T gibi ülkelerin değişken karakteristikleri nedeniyle farklı sonuçlar üretmişlerdir. Bu nedenle, gelecekteki çevresel kaygılara yönelik ulusal, bölgesel ve küresel politikaların düzenlenmesinde çok değişkenli parametrelerle geliştirilen tahmin modellerine olan ihtiyaç giderek daha da artmaktadır. Bu sayede çevresel kaygıların dinamiklerini, iklim

değişikliğinin fiziksel ve kimyasal yönlerini daha iyi anlamak mümkün olabilecektir. Ek olarak bu yaklaşım ile sera etkisini arttıran antropojenik sera gazı kaynaklarının hesaba katılmasına ve elde edilmesine yönelik araçlar sağlanabilecek ve insan faaliyetlerinin doğal ortamlar üzerindeki gerçek etkisine ilişkin farkındalık sağlanabilecektir. Diğer taraftan, yapay zeka tabanlı tekniklerin çoğunluğu, uzun vadeli trend olgusunu tam olarak temsil etme avantajlarına sahipken, modellerin geliştirilmesinde ve pratik uygulamalarda kullanıldığında bazı dezavantajlara sahiptir. Tahmin modülü daha karmaşık bir planlama aracının yalnızca bir parçasıysa, bu durumlarda basit ve nispeten daha az doğru modelleme stratejileri daha tercih edilebilir seçenekler olarak karşımıza çıkmaktadır (Bianco vd., 2009). Burada çok daha karmaşık ve birçok parametre gerektiren diğer tekniklerden farklı olarak trend analizi (TA) tekniği, geçmişteki verileri kullanarak okuyucuya gelecekte ne olacağına dair bir fikir sunmaktadır. Bir başka deyişle; TA, geçmiş verilere dayalı olarak gelecekteki hareketleri tahmin etmeye çalışan teknik analizin bir yönüdür (Çeliker vd., 2021). Teknik, esas olarak çizgiler veya yüzeylerle temsil edilebilen eğilimlerin tanınması ve ölçülmesiyle ilgilenmektedir. Ek olarak, bu yaklaşımın ana avantajı basit olması ve mevcut olan tüm verilere uygulanabilmesidir (Kone ve Buke, 2010). TA'nın diğer üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir. i) hemen hemen tüm istatistiksel yazılımlar bir regresyon araç çubuğuna sahiptir ve bu nedenle, regresyon araç çubuğunun içindeki TA sekmesini kullanarak modeller oluşturmak kolaydır, ii) bağımlı değişken, bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinden türetilmiş model daha basit ve anlaşılırdır, iii) yapay zeka tabanlı yaklaşımlardaki gibi model kurulurken oluşturulan fonksiyonun yapısı hakkında fikir vermeyecek nitelikte değildir, iv) nihai denklem belirlendikten sonra ilgili denklem herhangi bir senaryoya veya projeksiyona kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Konuya yönelik literatür özeti değerlendirildiğinde, bu tez çalışması kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarına yönelik literatürdeki eksikliği doldurmayı amaçlamaktadır. Aslında tez çalışmasının amacının üç yönlü olduğunu söylemek mümkündür. i) kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarına yönelik bilgiler sunulması, ii) kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tahminine yönelik modeller türetilmesi ve (iii) gelecekteki kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tahmin edilmesi. Öte yandan, tez çalışmasında BRICS-T ülkeleri örneklem olarak seçilmiştir. BRICS-T ülkelerinin çalışma kapsamına alınmasının nedenleri ise şu şekilde sıralanabilir. i) Dünya çapında nüfus, ekonomik büyüme ve gelişme açısından en

hızlı büyüyen ülkeler olarak kabul edilmesi, ii) ekonomik genişlemeleri ağırlıklı olarak inşaat, madencilik ve imalat gibi yüksek enerji tüketen endüstriler tarafından yönlendirilmesi ve bu sektörlerin yoğun CO<sub>2</sub> emisyonlarına sebep olması nedeniyle ciddi çevresel kaygılarla karşı karşıya olmaları (örneğin, dünyanın en fazla sera gazı ve CO<sub>2</sub> yayıcılarını içerirler) (Cowan vd., 2014), iii) en yoğun karbon içeriğine sahip yakıt olarak, dünyanın birinci ve ikinci kömür üreticileri ile birinci, ikinci ve beşinci kömür tüketicileri bu gruptadır (Tablo 4.1). Bu tez çalışmasının özel olarak BRICS-T ülkelerini seçmesinin yanı sıra, önceki çalışmalardan farklı olarak ilgili literatüre iki önemli katkısı daha bulunmaktadır. İlk olarak, mevcut literatürde kömür kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarının modellenmesini ve tahmin edilmesini araştıran herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla, bu tez kömür tüketimiyle ilgili gelecekteki sera gazı emisyonlarını modelleyen ve tahmin eden ilk araştırmadır. İkinci olarak, TA'nin kömür tüketimiyle ilgili sera gazı emisyonlarını modelleme ve tahmin etmedeki kullanımı, daha önce gerçekleştirilmiş herhangi bir çalışmada yer verilmemiştir. Bu nedenle, mevcut tez çalışmasında TA'nin ilk defa ilgili alanda kullanılması ve test edilmesi de araştırmayı özgün kılan bir diğer faktördür.

Tablo 4.1. Enerji tüketimi, kömür üretimi ve tüketiminde ilk beş ülke (EI, 2023)

| Enerji tüketimi   |               |         | Kömür üretimi |               |         | Kömür tüketimi |               |         |
|-------------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|----------------|---------------|---------|
| Ülke              | Ekzajoule     | Pay (%) | Ülke          | Ekzajoule     | Pay (%) | Ülke           | Ekzajoule     | Pay (%) |
| Çin               | 159,39        | 26,39   | Çin           | 92,22         | 52,83   | Çin            | 88,41         | 52,79   |
| ABD               | 95,91         | 15,88   | Hindistan     | 15,02         | 8,60    | Hindistan      | 20,90         | 12,48   |
| Hindistan         | 36,44         | 6,03    | Indonesia     | 13,95         | 7,99    | ABD            | 9,87          | 5,89    |
| Rusya Federasyonu | 28,89         | 4,78    | ABD           | 12,07         | 6,91    | Japonya        | 4,92          | 2,94    |
| Japonya           | 17,84         | 2,95    | Avustralya    | 11,46         | 6,57    | Güney Afrika   | 3,31          | 1,98    |
| <b>Dünya</b>      | <b>604,04</b> |         | <b>Dünya</b>  | <b>174,56</b> |         | <b>Dünya</b>   | <b>167,47</b> |         |

## 5. MODELLEME ÇALIŞMALARI

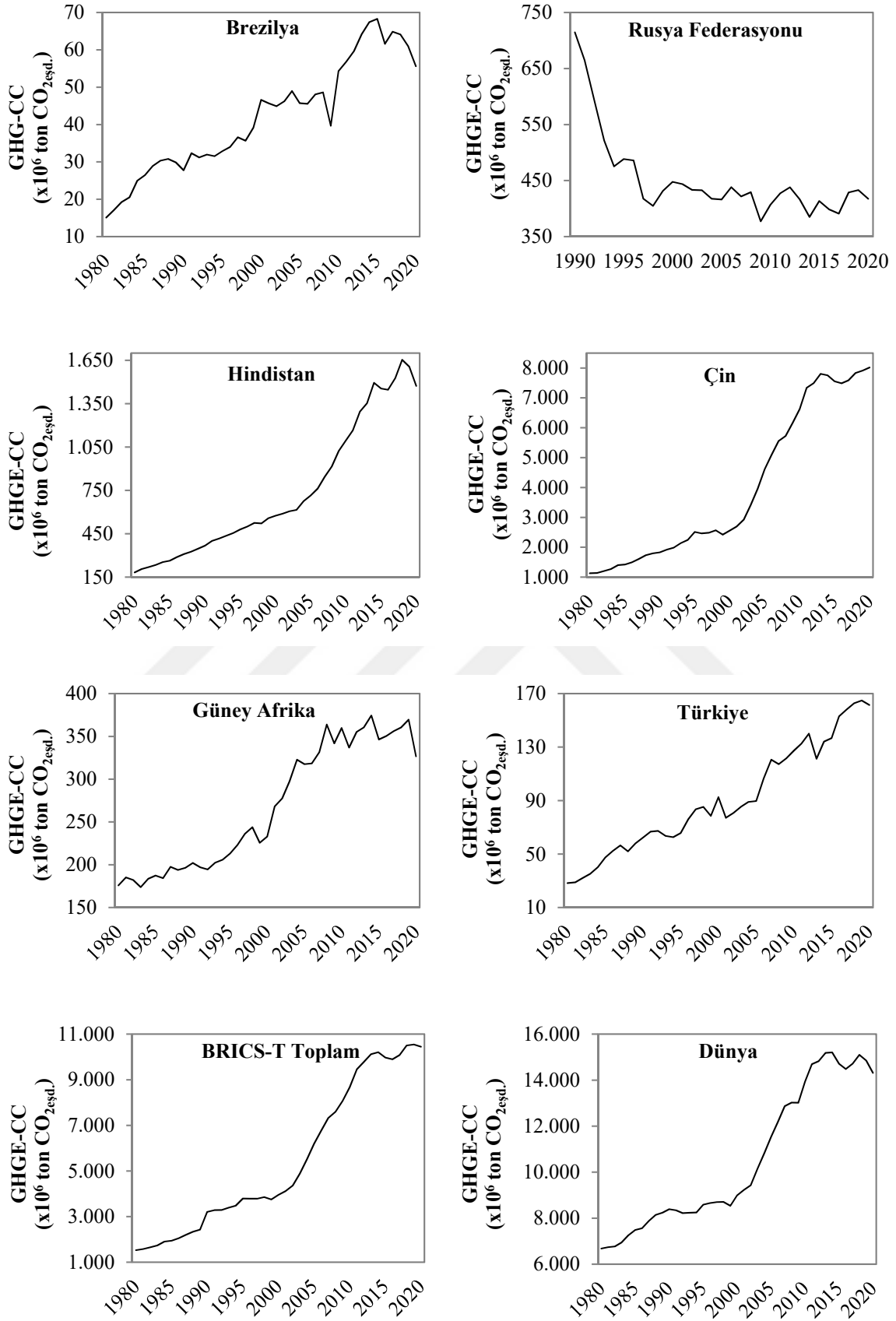
### 5.1. Değişken Seçimi ve Veri Tanımlaması

FF kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının büyük çoğunluğunu oluşturdıkları için mevcut araştırmada bağımlı değişken olarak kömür tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları (GHGE-CC) bağımlı değişken olarak seçilmiştir. İlgili emisyonlara yönelik 1980 – 2020 dönemine ait yıllık veriler, Uluslararası Enerji Ajansı'nın resmi hesabından (IEA, 2022) temin edilmiştir. Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından 1990'larda ülkenin kurulması nedeniyle, Rusya Federasyonu için verilere 1990'dan itibaren erişilebilmiştir. Dolayısıyla, Rusya Federasyonu'nun veri başlangıç yılı 1990 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1'de, BRICS-T ülkeleri ve dünya toplam GHGE-CC'nin tarihsel eğilimleri gösterilmektedir. İlgili grafikler incelendiğinde, Rusya Federasyonu dışındaki ülkelerin ve dünya toplam GHGE-CC'nin 1980'den itibaren bir artış eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür. 2000'li yıllardan itibaren sınırlı aralıklarda dalgalanma eğilimi gösterse de, enerjisinin büyük bölümünü doğal gazdan sağlayan Rusya Federasyonu'nun kömür tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında sürekli ve yavaş bir düşüş gözlenmektedir.

### 5.2. Yöntem

Tez çalışması kapsamında izlenen yönetime ilişkin akış şeması Şekil 5.2'de gösterilmiştir. İlgili ülkelerin GHGE-CC'yi modellemek için TA'inden yararlanılmıştır. TA, seçilen değişkenin gelecekteki değerlerini tahmin etmek amacıyla modeller türetmek için bağımlı değişkenin tarihsel eğilimini kullanır. Dolayısıyla TA'de GHGE-CC'nin daha önce görülen tarihsel eğilimi takip etmeye devam edeceği öngörülmektedir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, bu yöntemin temel avantajı basit olması ve tahmin modellerinin erişilebilir herhangi bir veri kullanılarak geliştirilebilmesidir (Aydın vd., 2015a; Aydın vd., 2015b; Kök ve Benli , 2017). Tahmin modelleri, aşağıda matematiksel ifadeleri verilen doğrusal, logaritmik, power, üstel, reverse, growth ve S regresyonları temelinde geliştirilmiştir.

$$\text{Doğrusal regresyon modeli} \quad : y = a + b_t + \varepsilon_t \quad (1)$$



Şekil 5.1. BRICS-T ülkeleri ve Dünya GHGE-CC'nin tarihsel eğilimi (IEA, 2022)

$$\text{Logaritmik regresyon modeli} : y = a + \ln(t) + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\text{Power regresyon modeli} : y = at^b + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$\text{Üstel regresyon modeli} : y = ae^{bt} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$\text{Inverse regresyon modeli} : y = a + b\left(\frac{1}{t}\right) + \varepsilon_t \quad (5)$$

$$\text{Growth regresyon modeli} : y = e^{(a+bt)} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$\text{S regresyon modeli} : y = e^{\left[a+b\left(\frac{1}{t}\right)\right]} + \varepsilon_t \quad (7)$$

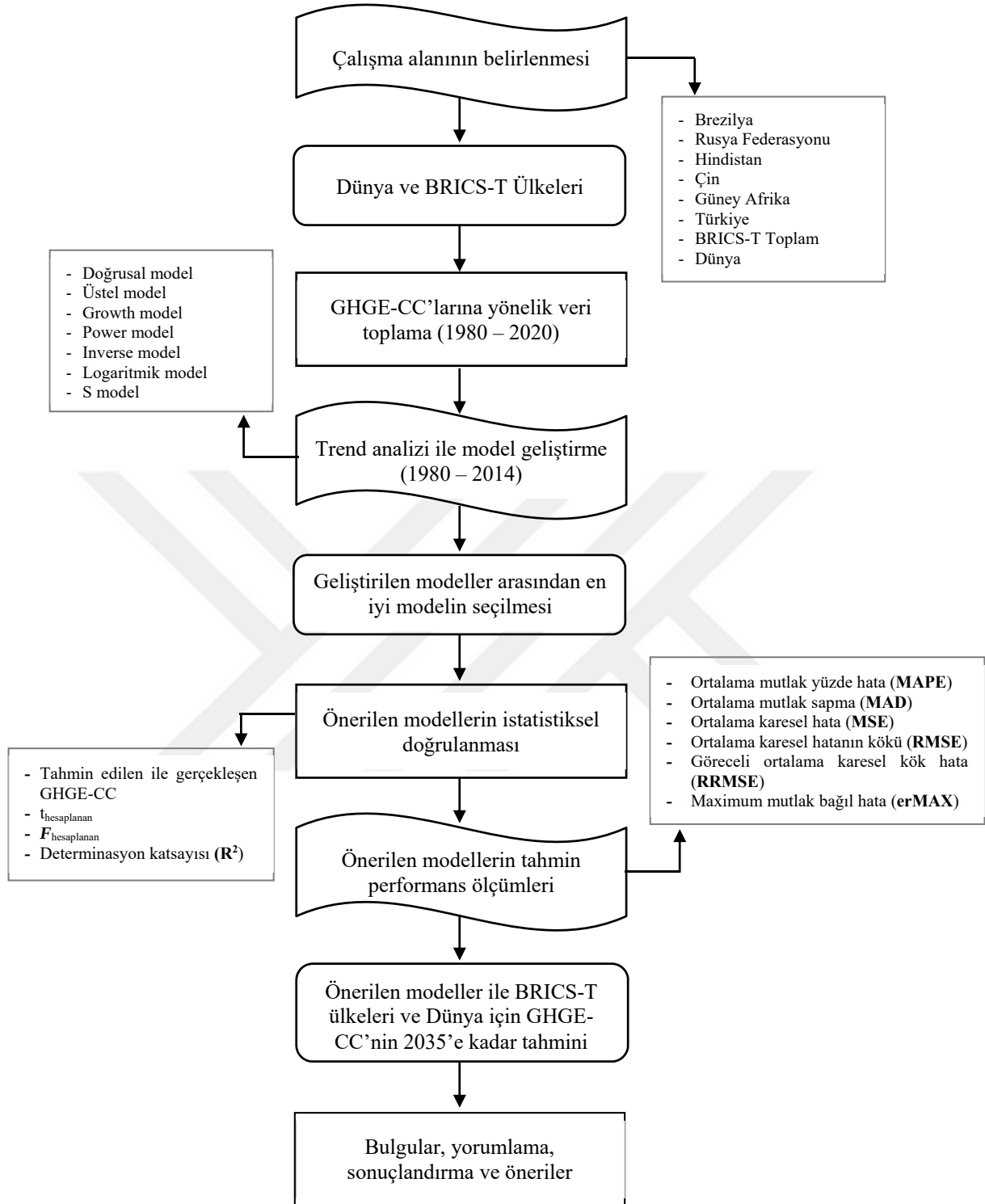
Denklemlerde y; GHGE-CC (MtCO<sub>2eq</sub>), a sabit katsayı, b eğimi, t yılı ve  $\varepsilon_t$  ise gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki farkı göstermektedir.

GHGE-CC'nin yıllık verileri iki gruba ayrılmıştır. İlk grup, model geliştirmek için kullanılan ve toplam verilerin %85'ini oluşturan 1980'den 2014'e kadar olan verilerdir. İkinci grup ise geliştirilen modelin test edilmesi için kullanılan ve toplam verilerin %15'ini oluşturan 2015'ten 2020'ye kadar verilerdir. Modellerin geliştirilmesinde regresyon seçeneği sunan SPSS istatistik programından yararlanılmıştır. Modellerin üretilmesine/geliştirilmesine yönelik adımlar, Şekil 5.3'de sunulmuştur. Söz konusu adımlara yönelik açıklamalar ise şu şekildedir. Analize uygun olup olmadığı test edilen ve analize uygun olduğu tespit edilen veriler (tanımlayıcı istatistiksel veriler, Tablo 6.1)., SPSS yazılım programı ana sayfasına kayıt edilmiştir (1. Adım). Yazılımdaki ana sekmelerden regresyon seçeneği seçilmiştir (2. Adım). Regresyon sekmesi altında eğri tahmini (curve estimation) sekmesi seçilerek bağımlı değişken ve geliştirilmek istenen model türleri (1-7 arasındaki denklem türleri) seçilmiştir/işaretlenmiştir (3 Adım). Eğri tahmini sekmesi, 11 farklı regresyon modeli için eğri tahmin regresyon istatistiklerini ve ilgili grafikleri üretmektedir. Çalışma kapsamında bu 11 farklı regresyon eğrisinden en yaygın kullanılan 7'si seçilerek model türetilmesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen/geliştirilen bu 7 model türü arasından determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) en yüksek 3 model belirlenerek ilgili ülkeler için sonraki işlemlere devam edilmiştir. Böylelikle veriyi yansıtan en uygun eğri/grafik tespitinin yapılması sağlanmıştır. Eğri tahmini prosedürü, durumlar arasındaki sürenin aynı olduğu bir zaman değişkeni oluşturduğundan bağımsız değişken olarak zaman seçilmiştir. Böylelikle, bağımlı değişkenin (GHGE-CC) bir zaman serisi ölçüsü olması sağlanmıştır. Geliştirilen/üretilen modellere yönelik istatistiksel değerler (denklem katsayıları,  $R^2$ , standart sapma, tahminin

standart sapması, F ve t değerleri) alınarak ayrı bir excell sayfasında kayıt edilmiştir (4. Adım). İhtiyaç halinde ilgili eğri türlerinden denklemin matematiksel gösterimi okunmuştur ve kayıt edilmiştir (5. ve 6. Adım). Üretilen/geliştirilen modellerin istatistiksel doğruluğu,  $R^2$ , t-testi, F-testi ve tahmin edilene karşı gerçek verilerin karşılaştırıldığı grafikler ile test edilmiştir.  $R^2$  genellikle istatistiksel analizlerde üretilen modellerin performansının doğrulanması ve ölçülmesi için kullanılır. Modelin doğruluğunu ölçmek için bir kılavuz olarak kullanılır ve bir değişkenin varyansının diğer değişkenden tahmin edilebilir olan oranını verir.  $R^2$  değerinin yüksek olması (en fazla 1) üretilen/geliştirilen modelin istatistiksel güvenilirliği göstermektedir (Aydın, 2015; Despotovic vd., 2015). F ve t testleri, modellerin ve katsayıların önemini, güven aralıklarını ve nihayetinde hipotez testinin sonuçlarını doğrudan etkileyerek istatistiksel çıkarımlarda çok önemli roller oynar. t-testi, sıfır hipotezini kullanarak hesaplanan t-değerini standart tablo t-değeriyle karşılaştırır. Hesaplanan t değeri tablodaki değerden büyükse sıfır hipotezi reddedilir, bu da korelasyonun anlamlı olduğu anlamına gelir. Önerilen modellerin anlamlılığını test edebilmek için yine %95 güven düzeyinde varyans analizi de yapılmıştır. Varyans analizinde de hesaplanan F-değeri standart tablodaki F-değerinden büyükse sıfır hipotezi reddedilerek önerilen modellerin istatistiksel anlamlılığı doğrulanır (Uma vd., 2011; Aydın, 2015b). Ek olarak; türetilen modellerin tahmin performansları, ortalama mutlak sapma (MAD), ortalama karesel hata (MSE), ortalama karesel hatanın kökü (RMSE), göreceli kök ortalama karesel hata (RRMSE), maksimum mutlak bağıl hata (erMAX) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) kriterleri ile ölçülmüştür. Performans kriterlerinden bağımsız olarak, genellikle kriterlerin değeri ne kadar düşükse, uydurulmuş eğri gerçek verilerle o kadar iyi eşleşir (Singh vd., 2009; Paiva vd., 2021). Modellerle ilişkili hataları temsil eden MAD ve MSE, mutlak öngörülen hatanın ortalama boyutunun iki ölçüsü iken RMSE ise ölçülen veriler etrafındaki tahmini değerlerin varyansını ölçer ve kısa vadedeki performans hakkında bilgi sunar (Bianco vd., 2014). RMSE'nin ölçülen verilerin ortalama değerine bölünmesiyle belirlenen RRMSE, bir modelin göreceli doğruluğunun bir göstergesidir. Geliştirilen modellerin performans ölçümlerinde kullanılan kriterlere ait matematiksel denklemler aşağıda sunulmuştur (Denklem 8-13).

$$MAD = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \right) \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \quad (9)$$



Şekil 5.2. Tez çalışmasında izlenen akış şeması

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (10)$$

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \cdot 100 \quad (11)$$

$$erMAX = \max \left( \left| \frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right| \right) \quad (12)$$

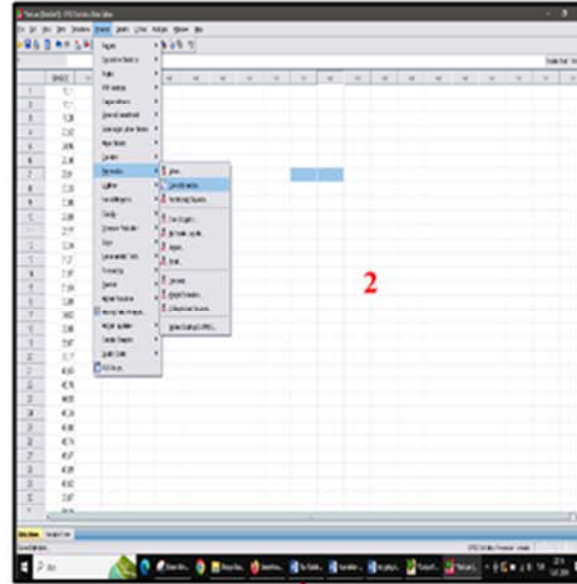
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|X_i - Y_i|}{Y_i} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Burada  $n$ , toplam veri sayısını,  $X_i$ , tahmin edilen GHGE-CC'yi,  $Y_i$ , gerçekleşen GHGE-CC'yi ve  $\bar{O}$ , gerçekleşen verilerin ortalama değerini ifade etmektedir.



SPSS Statistics Data Editor

|    | GHGCC | Year | Year | Year | Year | Year |
|----|-------|------|------|------|------|------|
| 1  | 15,11 |      |      |      |      |      |
| 2  | 17,11 |      |      |      |      |      |
| 3  | 19,20 |      |      |      |      |      |
| 4  | 20,52 |      |      |      |      |      |
| 5  | 24,96 |      |      |      |      |      |
| 6  | 26,48 |      |      |      |      |      |
| 7  | 28,91 |      |      |      |      |      |
| 8  | 30,33 |      |      |      |      |      |
| 9  | 30,80 |      |      |      |      |      |
| 10 | 29,89 |      |      |      |      |      |
| 11 | 27,77 |      |      |      |      |      |
| 12 | 32,34 |      |      |      |      |      |
| 13 | 31,21 |      |      |      |      |      |
| 14 | 31,97 |      |      |      |      |      |
| 15 | 31,54 |      |      |      |      |      |
| 16 | 32,89 |      |      |      |      |      |
| 17 | 34,02 |      |      |      |      |      |
| 18 | 36,60 |      |      |      |      |      |
| 19 | 35,67 |      |      |      |      |      |
| 20 | 39,17 |      |      |      |      |      |
| 21 | 46,63 |      |      |      |      |      |
| 22 | 45,70 |      |      |      |      |      |
| 23 | 44,93 |      |      |      |      |      |
| 24 | 46,24 |      |      |      |      |      |
| 25 | 49,00 |      |      |      |      |      |
| 26 | 45,74 |      |      |      |      |      |
| 27 | 45,57 |      |      |      |      |      |
| 28 | 48,09 |      |      |      |      |      |
| 29 | 48,62 |      |      |      |      |      |
| 30 | 39,67 |      |      |      |      |      |



Curve Estimation

Dependent(s):

Independent:

Variable:

Time:

Case Labels:

Include constant in equation

Plg models

Models:

Linear

Quadratic

Compound

Growth

Logarithmic

Cubic

S

Exponential

Inverse

Power

Logistic

Upper bound:

Display ANOVA table

OK

Paste

Reset

Cancel

Help

SPSS Statistics Viewer

GHGCC

Linear

Model Summary

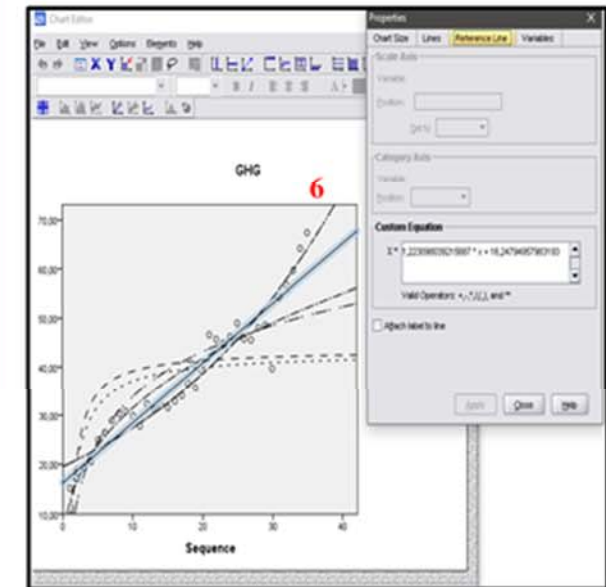
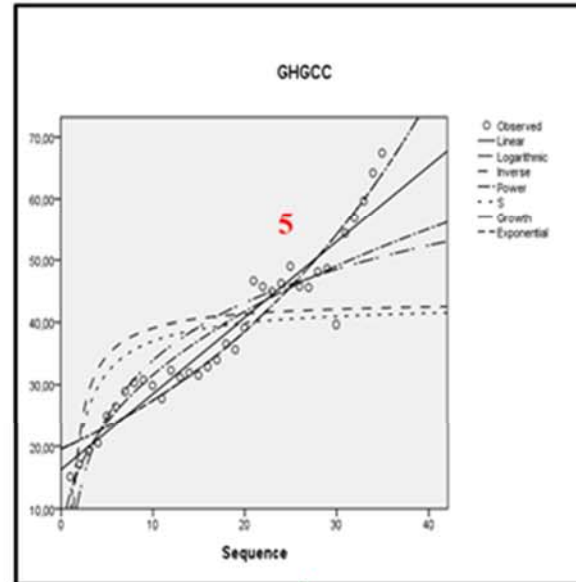
|   | R    | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | ,957 | ,915     | ,912              | 3,876                      |

ANOVA

|            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig. |
|------------|----------------|----|-------------|---------|------|
| Regression | 5342,829       | 1  | 5342,829    | 255,426 | ,000 |
| Residual   | 495,856        | 33 | 15,026      |         |      |
| Total      | 5838,685       | 34 |             |         |      |

Coefficients

|               | Unstandardized Coefficients | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|--------|------|
| Case Sequence | 1,223                       | ,965                      | ,957   | ,000 |
| (Constant)    | 16,248                      | 1,339                     | 12,134 | ,000 |



Şekil 5.3. TA ile model üretilmesine/geliştirilmesine yönelik SPSS yazılım programında izlenen adımlar

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Tanımlayıcı İstatistiksel Bulgular

Çalışma kapsamında seçilen bağımsız değişkene (GGHE-CC) yönelik ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık, basıklık ve Jarque-Bera (JB) testi normalliğini içeren tanımlayıcı istatistiksel bulgular, Tablo 6.1’de verilmiştir. Tablo 6.1’deki veriler incelendiğinde, hemen hemen her ülkenin GGHE-CC ortalamasının standart sapmalara göre oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin Çin’in GHGE-CC’si 3329,313 iken standart sapması (SD) 2156,653’tür. Benzer şekilde, Rusya Federasyonu’nun GHGE-CC’si 461,196, SD’si ise 82,309’dur. Fark oldukça büyüktür ve varyasyon katsayısı (CV) ile ölçülen en ilişkili varyasyonu göstermektedir. Sonuç olarak, gruptaki tüm ülkeler için GHGE-CC ortalamaları SD’lardan nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da veri setinin homojen ve tutarlı olduğunun iyi bir göstergesidir. Ek olarak, gözlemlenen bir veri serisinin basıklık ve çarpıklık değerleri temelinde normal dağılımlı veya simetrik olması için genel kanı, ilgili değerlerin sıfır olması yönündedir. Ancak bazı araştırmacılar her iki değer de  $\pm 1,5$  arasında olması halinde de gözlenen serinin normal dağılım olarak kabul edilebileceğini savunmaktadırlar (Urbano, 2013; Erbay ve Beydoğan, 2017; George ve Mallery, 2021). Bu referanslar temelinde BRICS-T toplamı ve dünya dâhil olmak üzere gruptaki tüm ülkelerin veri serileri, sağ tarafa daha kalın bir kuyruk gösteren pozitif çarpıklığa işaret ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca grup içerisinde yine BRICS-T toplamı ve dünya dâhil olmak üzere tüm veri serilerinin normal değer altında olması basıklık eğrisinin platikürtik olduğunu teyit etmektedir. Buradan Tablo 6.1’deki çarpıklık ve basıklık değerlerinin serinin normal dağılımını doğruladığı söylenebilir. Çarpıklık ve basıklığın sonuçları, JB testinin en büyük p değerleri ( $p > 0,05$ ) nedeniyle gözlemlenen tüm serilerin normal dağılım gösterdiğine dair ikna edici kanıtlar sunan JB normallik testi ile tutarlıdır. Buradan hareketle, Ostrom (1978) tarafından önerildiği gibi, verilerin regresyon modelinin temel varsayımlarından birini büyük ölçüde desteklediği sonucuna varılabilmektedir.

Tablo 6.1. BRICS-T ülkelerinin GHGE-CC'ne yönelik tanımlayıcı istatistikler

| Ülkeler           | Değişken | Ortalama | Min      | Max       | SD       | CV(%)  | Çarpıklık | Basıklık | JB testi |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|--------|-----------|----------|----------|
| Brezilya          | GHGE-CC  | 38,264   | 15,110   | 67,430    | 13,102   | 34,241 | 0,352     | -0,385   | 0,625    |
| Rusya Federasyonu |          | 461,196  | 377,420  | 714,790   | 82,309   | 17,847 | 2,056     | 1,018    | 0,010    |
| Hindistan         |          | 600,649  | 183,250  | 1494,920  | 350,405  | 58,338 | 1,057     | 0,339    | 0,035    |
| Çin               |          | 3329,313 | 1128,660 | 7804,880  | 2156,653 | 64,778 | 0,985     | -0,428   | 0,052    |
| Güney Afrika      |          | 253,285  | 173,920  | 374,370   | 68,802   | 27,164 | 0,512     | -1,391   | 0,114    |
| Türkiye           |          | 79,419   | 28,30    | 140,120   | 32,255   | 40,614 | 0,294     | -0,851   | 0,458    |
| BRICS-T Toplam    |          | 4630,353 | 1531,250 | 10211,440 | 2708,880 | 58,503 | 0,845     | -0,498   | 0,104    |
| Dünya             |          | 9814,579 | 6681,050 | 15204,940 | 2689,562 | 27,404 | 0,871     | -0,597   | 0,084    |

## 6.2. Modelleme Sonuçları ve Doğrulama

Tablo 6.2’de verilen istatistiksel analize dayalı olarak geliştirilen modeller Tablo 6.3’de listelenmiştir. Öncelikle bloktaki tüm ülkeler, BRICS-T toplamı ve dünya için tüm denklem formlarındaki modeller (Denklem 1’den 7’ye kadar) geliştirilmiştir. Daha sonra, Tablo 6.3 ’deki modeller  $R^2$  değerlerine göre seçilmiştir. Seçilen modellerin neredeyse tamamı 0,90’dan büyük  $R^2$  değerlerine sahiptir. Bu da GHGE-CC ile yıl arasında güçlü ilişkiler olduğunu ortaya koymaktadır. Brezilya, Hindistan, Çin, Güney Afrika, BRICS-T toplamı ve dünya için türetilen modeller doğrusal, üstel ve growth fonksiyonları formunda geliştirilirken Rusya Federasyonu için bu durum logaritmik, power ve reverse fonksiyonları ile gerçekleşmiştir. Öte yandan, önerilen modellerin F ve t testleri ile  $R^2$  kullanılarak gerçekleştirilen istatistiksel doğrulama sonuçları Tablo 6.4’de sunulmuştur. Rusya Federasyonu için önerilen modellerin  $R^2$  değerleri dışında, diğer ülkelere yönelik önerilen hemen hemen tüm modellerin  $R^2$  değerlerinin 0.90’dan yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, yıl ile GHGE-CC arasında önemli bir ilişki olduğunun kuvvetli bir kanıtıdır.  $R^2$  değerleri ayrıca, GHGE-CC’deki değişimin en az %0,1’inin tahmin edilenler dışındaki nedenlerden kaynaklandığını gösterirken, Rusya Federasyonu için bu oranlar ortalama olarak 0,15’tir. Bir regresyon analizinin sonuçlandırılması için  $R^2$ ’ye dayalı bir model önerilmesi, güven aralıklarının sağlanması veya test yapılması yeterli değildir. Hikâyenin yalnızca yarısını sağlayan bu aşamalardan sadece istatistiksel çıkarımlar sağlanabilir. Bu nedenle sonuçların desteklenmesine yönelik farklı doğrulama testlerine de ihtiyaç vardır. İlgili Tablo 6,4’deki F ve t testleri de bu amaca katkı sunan iki farklı istatistiksel test yöntemidir. Tablo 6,4’deki F- ve t sonuçları incelendiğinde tüm modeller için hesaplanan F – ve t – değerlerinin standart istatistiksel tablolardaki (Ek Tablo – I ve Ek Tablo – II) değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçlarda modellerdeki denklemlerin ve denklemlerde yer alan katsayıların sırasıyla %95 güven düzeyinde istatistiksel doğruluğunu onaylamaktadır. Ayrıca, Şekil 6.1 ’de gösterilen tahmin edilen ve gözlemlenen veri grafikleri, önerilen modellerin istatistiksel doğruluk seviyelerinin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Spesifik olarak, Brezilya, Çin, Güney Afrika, Türkiye, BRICS-T toplamı ve dünya için doğrusal regresyona dayalı denklemler en iyi sonuçları vermiştir. Buna karşın, growth ve reverse regresyona dayalı denklemler ile sırasıyla Hindistan ve Rusya Federasyonu için en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6.2. Geliştirilen/önerilen modellere yönelik istatistik sonuçlar

| Ülke              | Model      | Değişken | Katsayı  | Standart hata (SH) | Tahminin SH'sı |
|-------------------|------------|----------|----------|--------------------|----------------|
| Brezilya          | Doğrusal   | Sabit    | 16,248   | 1,339              | 3,876          |
|                   |            | Yıl      | 1,223    | 0,064              |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 19,562   | 0,761              | 0,112          |
|                   |            | Yıl      | 0,034    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 2,974    | 0,039              | 0,113          |
|                   |            | Yıl      | 0,034    | 0,002              |                |
| Rusya Federasyonu | Logaritmik | Sabit    | 671,049  | 20,213             | 33,583         |
|                   |            | Yıl      | - 90,448 | 8,217              |                |
|                   | Power      | Sabit    | 680,181  | 25,744             | 0,063          |
|                   |            | Yıl      | -0,173   | 0,015              |                |
|                   | Inverse    | Sabit    | 404,737  | 7,853              | 31,344         |
|                   |            | Yıl      | 369,885  | 30,986             |                |
| Hindistan         | Doğrusal   | Sabit    | 23,229   | 42,559             | 123,204        |
|                   |            | Yıl      | 32,079   | 2,062              |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 189,927  | 4,630              | 0,070          |
|                   |            | Yıl      | 0,055    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 5,246    | 0,024              | 0,071          |
|                   |            | Yıl      | 0,055    | 0,001              |                |
| Çin               | Doğrusal   | Sabit    | -169,719 | 14,044             | 839,138        |
|                   |            | Yıl      | 194,391  | 289,871            |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 957,550  | 38,241             | 0,116          |
|                   |            | Yıl      | 0,059    | 0,002              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 6,864    | 0,040              | 0,115          |
|                   |            | Yıl      | 0,059    | 0,001              |                |
| Güney Afrika      | Doğrusal   | Sabit    | 138,056  | 7,276              | 21,064         |
|                   |            | Yıl      | 6,402    | 0,352              |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 156,302  | 3,711              | 0,068          |
|                   |            | Yıl      | 0,025    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 5,052    | 0,024              | 0,069          |
|                   |            | Yıl      | 0,025    | 0,001              |                |
| Türkiye           | Doğrusal   | Sabit    | 24,325   | 2,642              | 7,647          |
|                   |            | Yıl      | 3,061    | 0,127              |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 34,092   | 1,390              | 0,118          |
|                   |            | Yıl      | 0,042    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 3,529    | 0,040              | 0,118          |
|                   |            | Yıl      | 0,042    | 0,001              |                |
| BRICS-T Toplam    | Doğrusal   | Sabit    | 124,879  | 305,585            | 884,630        |
|                   |            | Yıl      | 250,304  | 14,806             |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 1423,695 | 43,341             | 0,088          |
|                   |            | Yıl      | 0,056    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 7,261    | 0,030              | 0,089          |
|                   |            | Yıl      | 0,056    | 0,001              |                |
| Dünya             | Doğrusal   | Sabit    | 5401,600 | 336,791            | 974,967        |
|                   |            | Yıl      | 245,166  | 16,318             |                |
|                   | Üstel      | Sabit    | 6156,044 | 156,570            | 0,073          |
|                   |            | Yıl      | 0,024    | 0,001              |                |
|                   | Growth     | Sabit    | 8,725    | 0,025              | 0,074          |
|                   |            | Yıl      | 0,024    | 0,001              |                |

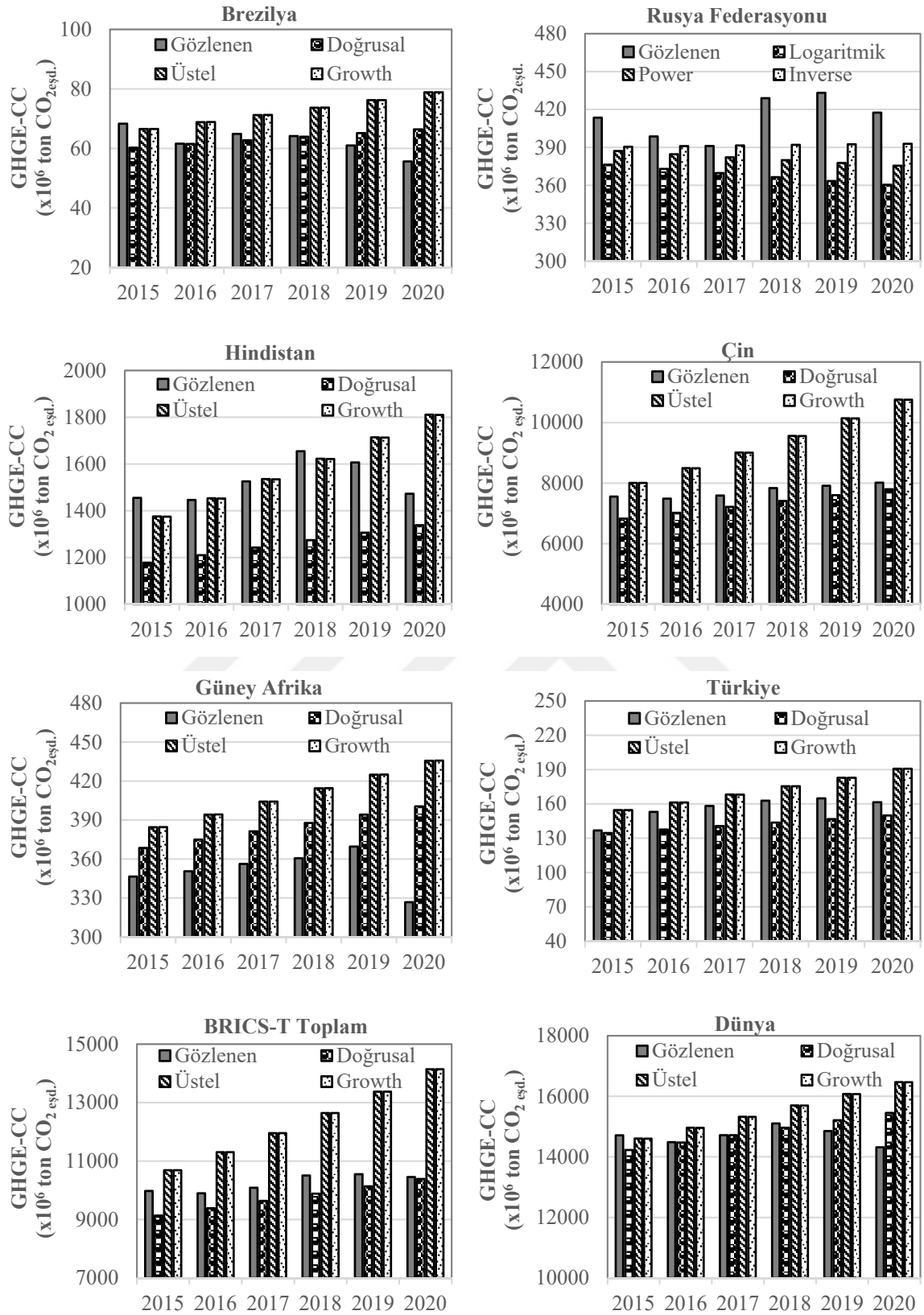
Sonuç olarak, türetilen modellerin istatistiksel doğrulama sonuçları, mevcut araştırmadaki koşullar dikkate alınarak, BRICS-T ülkelerinin, BRICS-T toplamının ve dünyanın ayrı ayrı GHGE-CC'sini tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Tablo 6.3. Geliştirilen/önerilen tahmin modelleri

| Ülkeler           | Modeller                                   |
|-------------------|--------------------------------------------|
| Brezilya          | Doğrusal $y = (16.248) + (1.223)x$         |
|                   | Üstel $y = (19.562)e^{(0.034)x}$           |
|                   | Growth $y = e^{[(2.974)+(0.034)x]}$        |
| Rusya Federasyonu | Logaritmik $y = (671.049) - (90.448)\ln x$ |
|                   | Power $y = (680.181)x^{(-0.173)}$          |
|                   | Inverse $y = (404.737) + (369.885)/x$      |
| Hindistan         | Doğrusal $y = (23.229) + (32.079)x$        |
|                   | Üstel $y = (189.927)e^{(0.055)x}$          |
|                   | Growth $y = e^{[(5.246)+(0.055)x]}$        |
| Çin               | Doğrusal $y = (-169.719) + (194.391)x$     |
|                   | Üstel $y = (957.550)e^{(0.059)x}$          |
|                   | Growth $y = e^{[(6.864)+(0.059)x]}$        |
| Güney Afrika      | Doğrusal $y = (138.056) + (6.402)x$        |
|                   | Üstel $y = (156.302)e^{(0.025)x}$          |
|                   | Growth $y = e^{[(5.052)+(0.025)x]}$        |
| Türkiye           | Doğrusal $y = (24.325) + (3.061)x$         |
|                   | Üstel $y = (34.092)e^{(0.042)x}$           |
|                   | Growth $y = e^{[(3.529)+(0.042)x]}$        |
| BRICS-T Toplam    | Doğrusal $y = (124.879) + (250.304)x$      |
|                   | Üstel $y = (1423.695)e^{(0.056)x}$         |
|                   | Growth $y = e^{[(7.261)+(0.056)x]}$        |
| Dünya             | Doğrusal $y = (5401.600) + (245.166)x$     |
|                   | Üstel $y = (6156.044)e^{(0.024)x}$         |
|                   | Growth $y = e^{[(8.725)+(0.024)x]}$        |

Tablo 6.4. Geliştirilen/önerilen modellerin istatistiksel doğrulama sonuçları

| Ülke              | Model      | Değişken | $t_{hesaplanan}$ | $t_{tablo}$ | $F_{hesaplanan}$ | $F_{tablo}$ | $R^2$ |
|-------------------|------------|----------|------------------|-------------|------------------|-------------|-------|
| Brezilya          | Doğrusal   | Sabit    | 12,134           | 1,690       | 355,425          | 4,125       | 0,92  |
|                   |            | Yıl      | 18,853           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 25,709           |             | 323,221          |             | 0,91  |
|                   |            | Yıl      | 17,978           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 76,450           |             | 323,221          |             | 0,91  |
|                   |            | Yıl      | 7,978            |             |                  |             |       |
| Rusya Federasyonu | Logaritmik | Sabit    | 33,199           | 1,708       | 121,167          | 4,240       | 0,84  |
|                   |            | Yıl      | -11,007          |             |                  |             |       |
|                   | Power      | Sabit    | 26,421           |             | 126,425          |             | 0,85  |
|                   |            | Yıl      | -11,244          |             |                  |             |       |
|                   | Inverse    | Sabit    | 51,539           |             | 142,491          |             | 0,86  |
|                   |            | Yıl      | 11,937           |             |                  |             |       |
| Hindistan         | Doğrusal   | Sabit    | 0,545            | 1,690       | 242,022          | 4,125       | 0,88  |
|                   |            | Yıl      | 15,557           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 41,016           |             | 2186,555         |             | 0,99  |
|                   |            | Yıl      | 46,760           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 215,194          |             | 2186,555         |             | 0,99  |
|                   |            | Yıl      | 46,761           |             |                  |             |       |
| Çin               | Doğrusal   | Sabit    | -0,585           | 1,690       | 191,581          | 4,125       | 0,85  |
|                   |            | Yıl      | 13,841           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 25,040           |             | 922,584          |             | 0,97  |
|                   |            | Yıl      | 30,374           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 171,883          |             | 922,584          |             | 0,97  |
|                   |            | Yıl      | 30,374           |             |                  |             |       |
| Güne Afrika       | Doğrusal   | Sabit    | 18,973           | 1,690       | 329,731          | 4,125       | 0,91  |
|                   |            | Yıl      | 18,158           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 42,117           |             | 468,519          |             | 0,93  |
|                   |            | Yıl      | 21,645           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 212,768          |             | 468,519          |             | 0,93  |
|                   |            | Yıl      | 21,645           |             |                  |             |       |
| Türkiye           | Doğrusal   | Sabit    | 9,209            | 1,690       | 571,947          | 4,125       | 0,95  |
|                   |            | Yıl      | 23,915           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 24,520           |             | 452,185          |             | 0,93  |
|                   |            | Yıl      | 21,264           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 86,533           |             | 452,185          |             | 0,93  |
|                   |            | Yıl      | 21,264           |             |                  |             |       |
| BRICS-T Toplam    | Doğrusal   | Sabit    | 0,409            | 1,690       | 285,812          | 4,125       | 0,90  |
|                   |            | Yıl      | 16,906           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 32,849           |             | 1462,990         |             | 0,98  |
|                   |            | Yıl      | 38,249           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 238,514          |             | 1462,989         |             | 0,98  |
|                   |            | Yıl      | 38,249           |             |                  |             |       |
| Dünya             | Doğrusal   | Sabit    | 16,038           | 1,690       | 225,739          | 4,125       | 0,87  |
|                   |            | Yıl      | 15,025           |             |                  |             |       |
|                   | Üstel      | Sabit    | 39,318           |             | 381,083          |             | 0,92  |
|                   |            | Yıl      | 19,521           |             |                  |             |       |
|                   | Growth     | Sabit    | 343,059          |             | 381,083          |             | 0,92  |
|                   |            | Yıl      | 19,521           |             |                  |             |       |



Şekil 6.1. GHGE-CC'nin tahmin edilen ve gözlenen (gerçek) değerleri

### 6.3. Önerilen Modellerin Tahmin Performanslarının Değerlendirilmesi

Çeşitli performans ölçütleri arasında MAPE, model tahmini için kullanılan girdi verileri, önceden işlenmiş veriler ve ham veriler farklı ölçeklere sahip olması sebebiyle bağlı hatayı tahmin etmek için en uygun olan yöntemlerin başında yer alır. Ölçekten bağımsız ve yorumlanabilir olması gibi avantajları nedeniyle tahmin doğruluğunun en yaygın kullanılan ölçülerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Ölçekten bağımsız olması ve yorum kolaylığı nedeniyle pratik uygulamalarda MAPE tercih edilmektedir (Azadeh vd., 2011; Byrne, 2012; Kim ve Kim, 2016). Ayrıca tahmin performansının belirlenmesinde MAPE'nin tercih edilmesi önerilmesine rağmen bu çalışmada, önerilen modellerin tahmin performanslarını ölçümü için RRMSE değeri de belirleyici bir kriter olarak seçilmiştir (Bianco vd., 2010; Li vd., 2013; Bianco vd., 2014; Kim ve Kim, 2016).

MAPE ve RRMSE değerlerine yönelik referans tablosu ve önerilen modeller için tahmin performans ölçümlerinin sonuçları sırasıyla Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir. Tablo 6.6'daki MAPE değerleri, Brezilya, Çin, Güney Afrika, Türkiye ve BRICS-T için doğrusal modellerin mükemmel tahmin yapabildiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, reverse ve power modellerin Rusya Federasyonu için mükemmel tahmin yapabildiği, üstel ve growth modellerin de Hindistan için mükemmel tahmin verdiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan; Brezilya, Güney Afrika ve Türkiye için üstel ve growth modelleri iyi tahmin sınıfında yer alırken, BRICS-T toplamı ve Çin için ise ilgili modellerin makul tahmin kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir. Ek olarak, Dünya'nın GHGE-CC'nin tahmin edilmesine yönelik geliştirilen tüm modeller için mükemmel tahmin performansı elde edilmiştir. RRMSE değerleri açısından değerlendirme yapıldığında, önerilen tüm modellerin mükemmel tahmin sınıfında yer aldığı ilgili Tablolardan açıkça anlaşılmaktadır. Özetle, tahmin performans ölçüm kriterleri, önerilen modellerin kabul edilebilir derece de bağlı hatalara sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen modellerin, MAD ve MSE gibi birkaç istisna dışında yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğu söylenebilir.

### 6.4. Tahmin Sonuçları

BRICS-T ülkeleri, BRICS-T toplamı ve Dünya'nın gelecekteki GHGE-CC'si, önerilen modeller kullanılarak tahmin edilmiş ve sonuçlar Tablo 6.7'de sunulmuştur. Öngörülen

sonuçlar, 2020’de toplam 10,452 MtCO<sub>2eşd</sub>. olan BRICS-T ülkelerinin GHGE-CC'si yıllık %2,39 büyümeyle 2035'te 14,141 MtCO<sub>2eşd</sub> 'e yükseleceğini göstermektedir. Sonuçlar, doğrusal fonksiyona dayalı olarak önerilen en iyi model ile 2035 yılında Dünya GHGE-CC'si için de neredeyse aynı oranda bir artış (%33,63) beklendiğini işaret etmektedir. İlgili Tablodan da takip edilebileceği üzere öngörülen tahmin sonuçları, Rusya Federasyonu dışında blokta yer alan tüm ülkeler için ayrı ayrı GHGE-CC’lerinde önemli artışların beklendiğini göstermektedir. Örneğin, Hindistan'da beklenen GHGE-CC artışı oldukça yüksektir. Ülkenin 2020’de 1472,84 MtCO<sub>2eşd</sub> olan GHGE-CC’lerinin 2035’de 4129,87 MtCO<sub>2eşd</sub>.’e yükselmesi beklenmektedir. Bu 2020'ye kıyasla yıllık %11,87 artış ve 2035'te toplam değişimin %180,40 olacağı anlamına gelmektedir. Bu artış, Hindistan'ı gruptaki ülkeler arasında GHGE-CC’lerinde beklenen en yüksek artışa sahip ülke konumuna getirmektedir. Hindistan'ı 2035 yılında sırasıyla %52,34, %51,95, %33,65 ve %21,20 toplam değişim oranları ile Brezilya, Güney Afrika, Çin ve Türkiye izlemektedir. Gruptaki diğer ülkelerin ve Dünya toplam GHGE-CC’larına yönelik beklenen artış eğiliminin aksine Rusya Federasyonu'nun GHGE-CC’lerinde bir düşüş beklendiği görülmektedir. Bir başka deyişle; Rusya Federasyonu’ndaki ilgili emisyonlar 2020’de 417,21 MtCO<sub>2eşd</sub>’den 2035’de 398,13 MtCO<sub>2eşd</sub>.’e düşeceği öngörülmektedir. Rusya Federasyonu için tespit edilen bu düşüş eğilimine rağmen GHGE-CC’lerinin 2020 verileri ile kıyaslandığında 2035 yılında beklenen genel değişim oranının nispeten düşük (%4,64) olduğu da tespit edilmiştir (Tablo 6.7 ve Şekil 6.2).

Tablo 6.5. MAPE ve RRMSE referans tablosu (Lewis, 1982; Li vd., 2013)

| MAPE (%)       | RRMSE (%)       | Model doğruluğu |
|----------------|-----------------|-----------------|
| MAPE ≤ 10      | RRMSE < 10      | Mükemmel        |
| 11 ≤ MAPE ≤ 20 | 10 < RRMSE < 20 | İyi             |
| 21 ≤ MAPE ≤ 51 | 20 < RRMSE < 30 | Makul           |
| MAPE > 51      | RRMSE ≥ 30      | Yetersiz        |

Tablo 6.6. Geliştirilen/önerilen modeller için performans ölçümleri

| Ülkeler           | Model      | Performans göstergeleri |         |        |       |       |       |
|-------------------|------------|-------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|
|                   |            | MAPE                    | MAD     | MSE    | RMSE  | RRMSE | erMAX |
| Brezilya          | Doğrusal   | 6,96*                   | 4,24    | 0,56   | 0,75  | 1,20  | 0,19  |
|                   | Üstel      | 17,60                   | 10,55   | 2,74   | 1,65  | 2,64  | 0,42  |
|                   | Growth     | 17,64                   | 10,57   | 2,75   | 1,66  | 2,65  | 0,42  |
| Rusya Federasyonu | Logaritmik | 10,87                   | 45,59   | 5,71   | 2,39  | 0,58  | 0,16  |
|                   | Power      | 7,75                    | 32,66   | 3,22   | 1,80  | 0,43  | 0,13  |
|                   | Inverse    | 5,25*                   | 22,23   | 1,65   | 1,28  | 0,31  | 0,09  |
| Hindistan         | Doğrusal   | 17,45                   | 268,53  | 49,94  | 7,07  | 0,46  | 0,23  |
|                   | Üstel      | 6,36                    | 95,64   | 14,97  | 3,87  | 0,25  | 0,23  |
|                   | Growth     | 6,34*                   | 95,27   | 14,88  | 3,86  | 0,25  | 0,23  |
| Çin               | Doğrusal   | 5,47*                   | 420,16  | 26,47  | 5,15  | 0,07  | 0,10  |
|                   | Üstel      | 20,41                   | 1595,12 | 395,08 | 19,88 | 0,26  | 0,34  |
|                   | Growth     | 20,36                   | 1591,59 | 393,58 | 19,84 | 0,26  | 0,34  |
| Güney Afrika      | Doğrusal   | 9,52*                   | 32,84   | 4,20   | 2,05  | 0,58  | 0,23  |
|                   | Üstel      | 16,68                   | 57,91   | 11,43  | 3,38  | 0,96  | 0,33  |
|                   | Growth     | 16,70                   | 58,00   | 11,46  | 3,39  | 0,96  | 0,33  |
| Türkiye           | Doğrusal   | 8,80*                   | 14,03   | 1,44   | 1,20  | 0,77  | 0,12  |
|                   | Üstel      | 10,25                   | 15,99   | 1,94   | 1,39  | 0,89  | 0,18  |
|                   | Growth     | 10,25                   | 15,98   | 1,94   | 1,39  | 0,89  | 0,18  |
| BRICS-T Toplam    | Doğrusal   | 4,76*                   | 484,03  | 28,50  | 5,34  | 0,05  | 0,08  |
|                   | Üstel      | 20,38                   | 2106,47 | 515,11 | 22,70 | 0,22  | 0,35  |
|                   | Growth     | 20,38                   | 2106,34 | 515,06 | 22,69 | 0,22  | 0,35  |
| Dünya             | Doğrusal   | 2,44*                   | 355,61  | 19,36  | 4,40  | 0,03  | 0,08  |
|                   | Üstel      | 5,89                    | 859,44  | 81,50  | 9,03  | 0,06  | 0,15  |
|                   | Growth     | 5,87                    | 857,42  | 81,16  | 9,01  | 0,06  | 0,15  |

\* En düşük MAPE değeri nedeniyle önerilen modeller arasında en iyi performansı gösteren model

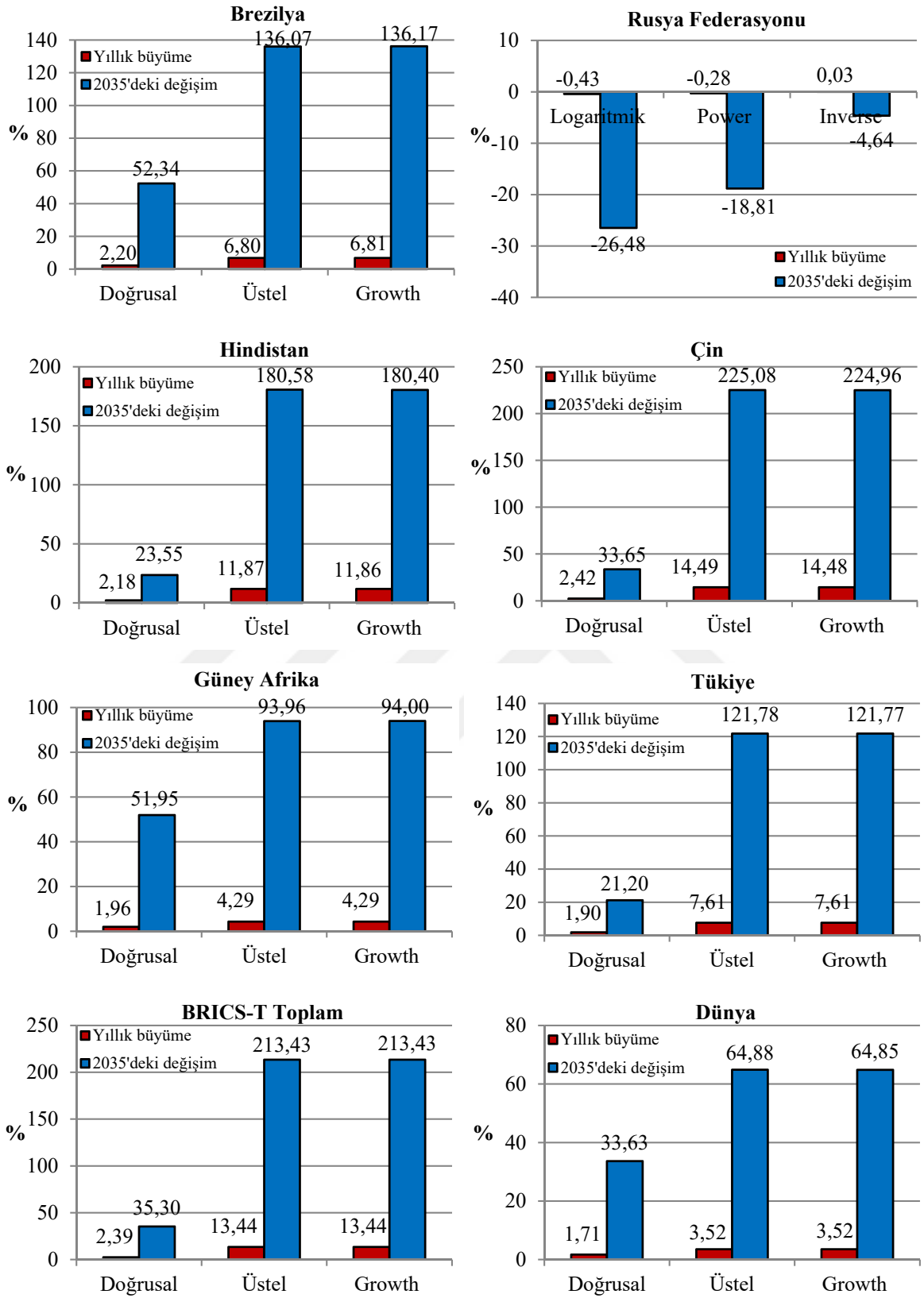
Mevcut çalışmanın tahmin sonuçları ile ilgili ülkelerin ve dünyanın geleceğe yönelik projeksiyonlarının tutarlı olduğunu söylemek mümkündür. Ülke bazında yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

- i) Hindistan'ın elektrik üretiminin %70'inden fazlası, ülkenin ana yakıtı olan kömürden karşılanmaktadır. Guttikunda ve Jawahar (2014) önümüzdeki yıllarda da bu durumun genişleyeceğini vurgulamaktadır.

Tablo 6.7. BRICS-T ülkeleri ve Dünya'nın tahmin edilen GHGE-CC'ı

| Ülkeler           | Model      | Tahmin edilen dönem |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------|------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                   |            | 2025                | 2026     | 2027     | 2028     | 2029     | 2030     | 2031     | 2032     | 2033     | 2034     | 2035     |
| Brezilya          | Doğrusal*  | 72,51               | 73,73    | 74,95    | 76,18    | 77,40    | 78,62    | 79,84    | 81,07    | 82,29    | 83,51    | 84,74    |
|                   | Üstel      | 93,47               | 96,70    | 100,04   | 103,50   | 107,08   | 110,78   | 114,62   | 118,58   | 122,68   | 126,92   | 131,31   |
|                   | Growth     | 93,50               | 96,74    | 100,08   | 103,54   | 107,13   | 110,83   | 114,66   | 118,63   | 122,73   | 126,98   | 131,37   |
| Rusya Federasyonu | Logaritmik | 324,76              | 322,81   | 320,91   | 319,04   | 317,21   | 315,42   | 313,67   | 311,94   | 310,25   | 308,59   | 306,96   |
|                   | Power      | 350,73              | 349,42   | 348,15   | 346,91   | 345,70   | 344,52   | 343,36   | 342,24   | 341,13   | 340,05   | 338,99   |
|                   | Inverse*   | 396,70              | 396,87   | 397,03   | 397,19   | 397,34   | 397,48   | 397,62   | 397,76   | 397,89   | 398,01   | 398,13   |
| Hindistan         | Doğrusal   | 1498,86             | 1530,94  | 1563,02  | 1595,10  | 1627,18  | 1659,26  | 1691,34  | 1723,42  | 1755,50  | 1787,57  | 1819,65  |
|                   | Üstel      | 2384,25             | 2519,06  | 2661,49  | 2811,97  | 2970,96  | 3138,94  | 3316,42  | 3503,93  | 3702,04  | 3911,36  | 4132,51  |
|                   | Growth*    | 2382,72             | 2517,45  | 2659,78  | 2810,17  | 2969,06  | 3136,93  | 3314,29  | 3501,69  | 3699,67  | 3908,86  | 4129,87  |
| Çin               | Doğrusal*  | 8772,27             | 8966,66  | 9161,05  | 9355,44  | 9549,83  | 9744,22  | 9938,61  | 10133,00 | 10327,40 | 10521,79 | 10716,18 |
|                   | Üstel      | 14448,96            | 15327,10 | 16258,61 | 17246,73 | 18294,91 | 19406,78 | 20586,24 | 21837,37 | 23164,54 | 24572,37 | 26065,76 |
|                   | Growth     | 14443,50            | 15321,31 | 16252,47 | 17240,21 | 18287,99 | 19399,45 | 20578,46 | 21829,12 | 23155,79 | 24563,09 | 26055,91 |
| Güney Afrika      | Doğrusal*  | 432,55              | 438,95   | 445,35   | 451,75   | 458,16   | 464,56   | 470,96   | 477,36   | 483,76   | 490,17   | 496,57   |
|                   | Üstel      | 493,63              | 506,13   | 518,94   | 532,08   | 545,55   | 559,36   | 573,52   | 588,04   | 602,92   | 618,19   | 633,84   |
|                   | Growth     | 493,74              | 506,23   | 519,05   | 532,19   | 545,66   | 559,48   | 573,64   | 588,16   | 603,05   | 618,32   | 633,97   |
| Türkiye           | Doğrusal*  | 165,13              | 168,19   | 171,25   | 174,31   | 177,38   | 180,44   | 183,50   | 186,56   | 189,62   | 192,68   | 195,74   |
|                   | Üstel      | 235,35              | 245,44   | 255,97   | 266,95   | 278,40   | 290,34   | 302,80   | 315,79   | 329,33   | 343,46   | 358,19   |
|                   | Growth     | 235,33              | 245,43   | 255,95   | 266,93   | 278,38   | 290,32   | 302,78   | 315,77   | 329,31   | 343,44   | 358,17   |
| BRICS-T Toplam    | Doğrusal*  | 11638,86            | 11889,17 | 12139,47 | 12389,78 | 12640,08 | 12890,38 | 13140,69 | 13390,99 | 13641,30 | 13891,60 | 14141,90 |
|                   | Üstel      | 18713,69            | 19791,56 | 20931,51 | 22137,11 | 23412,16 | 24760,65 | 26186,80 | 27695,10 | 29290,28 | 30977,33 | 32761,55 |
|                   | Growth     | 18713,49            | 19791,35 | 20931,28 | 22136,87 | 23411,91 | 24760,38 | 26186,52 | 27694,80 | 29289,96 | 30976,99 | 32761,19 |
| Dünya             | Doğrusal*  | 16679,24            | 16924,40 | 17169,57 | 17414,73 | 17659,90 | 17905,07 | 18150,23 | 18395,40 | 18640,56 | 18885,73 | 19130,90 |
|                   | Üstel      | 18567,90            | 19018,92 | 19480,90 | 19954,09 | 20438,79 | 20935,25 | 21443,77 | 21964,65 | 22498,18 | 23044,67 | 23604,43 |
|                   | Growth     | 18564,38            | 19015,32 | 19477,20 | 19950,31 | 20434,91 | 20931,28 | 21439,71 | 21960,49 | 22493,91 | 23040,30 | 23599,95 |

\* Önerilen modeller arasında en iyi performansı gösteren model



Şekil 6.2. BRICS-T ülkeleri ve Dünya GHGE-CC'lerinin öngörülen yıllık büyüme ve 2035 yılındaki değişim oranları

Ayrıca, Hindistan'ın önemli bir enerji kuruluşu olan Prayas'a (2011 ve 2013) göre ülkede kömür en azından 2030 yılına kadar önemli miktarda enerji üretmeye devam edecek. Kömürle çalışan termik santrallerin dünya çapında başlıca yerel kirlilik ve sağlık zararları kaynağı olma rolü ile kömürün birincil yakıt olduğu Hindistan'ın mevcut durumu göz önüne alındığında bu santrallerden kaynaklanan emisyonları yönetmek için daha iyi bir seçenek uygulanmadığı sürece mevcut araştırmanın tahmin sonuçlarına benzer şekilde Hindistan'da GHGE-CC'nin artan bir eğilim göstereceği sonucuna varılabilir.

- ii) Lenzen vd. (2013), grubun diğer bir üyesi Brezilya'daki emisyonları da dahil olmak üzere ülkenin enerji tercihlerine yönelik uzun vadeli seçenekleri belirlemek için yaptıkları çalışmada, ulaşım sektörü için yakıtların yakılmasının yanı sıra kömür, kok kömürü ve odun kömürünün yakılmasının tedarik zincirleri içerisinde oldukça kirlletici sektörler olarak öne çıktığını tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak, tedarik zincirlerinde ve ilgili sektörlerde kömür kullanımının, mevcut çalışma örneğinde tahmin edildiği gibi GHGE-CC'larında artışa yol açacağı öngörülebilmektedir.
- iii) Birincil enerji üretimi ve tüketimi ağırlıklı olarak kömürden karşılayan grubun bir diğer üyesi ve dünyanın en büyük sera gazı emisyoncusu Çin, son zamanlarda emisyonları azaltmak için kömür tüketimini ciddi oranda sınırlamıştır (Qi vd., 2018). Ülkenin bu adımı, daha yavaş ama daha kaliteli ekonomik büyüme ve temiz enerjiye geçişin hızlanması ile birlikte gelecekteki emisyon değerlerinde düşüş eğilimi beklemek şaşırtıcı olmayacaktır. Ancak, Çin'in enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını modelleyen ve tahmin eden çalışmalarda da ifade edildiği gibi yakın gelecekte düşüşlerin olması zor görünmektedir. Hatta araştırmacılar 2030 yılının emisyonlarda pik yapılan yıl olacağını belirtilmektedirler (Peters vd., 2015; Green ve Stern, 2016; Elzen vd., 2016; Peters vd., 2017). Mevcut eğilimler dikkate alındığında, yakın gelecekte Çin'in emisyonlarının küçük dalgalanmalarla istikrarlı bir seviyeye ulaşacağı söylenebilmektedir. 2035 yılına doğru sera gazı emisyonlarının yılda %2,42 gibi yavaş bir büyüme ile artacağını tahmin edildiği bu çalışmanın sonuçları da Çin için bu bulguları destekler niteliktedir.
- iv) Rusya Federasyonu'nun gelecekteki GHGE-CC'larında gözlenebilecek düşüş eğilimleri, ülkenin birincil enerji kaynakları ile yakından ilişkili olduğu söylenebilir. 2022'de enerji arzının aslan payını %51'i doğal gaz alırken, bunu

yaklaşık %24 ile petrol ve %11 ile kömür izlemiştir. Aynı yıl, fosil olmayan enerji kaynakları arasında nükleer enerji (%7) hâkim konumdadır ve bunu çoğunluğu hidroelektrik olmak üzere yenilenebilir enerji (%7) takip etmektedir (CTR 2023). Bu arada, Rusya'da üretilen kömürün yaklaşık %37'sinin yurt içinde tüketildiğini ve bunun %15'inin elektrik üretimi için kullanıldığını belirtmekte fayda var (Overland ve Loginova, 2023). Bu rakamlar, aynı zamanda sera gazı, dolayısıyla ülkedeki CO<sub>2</sub> emisyonlarının çoğunluğunun hangi kaynaktan geldiğinin iyi bir göstergesidir. Bir başka deyişle, sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmı doğal gaz tüketiminden (yaklaşık %54) kaynaklanırken, doğal gazı sırasıyla yaklaşık %25 ve %20 pay ile kömür ve petrol izlemektedir. Öte yanda, kömürün Rus enerji dengesindeki payı güncel olarak önemini hala korumaktadır. Ancak termal kömüre yönelik iç talebin azalması, yüksek nakliye maliyetleri, yıpranan ekipman, altyapı darboğazları, son analizlerde özetlenen çok sayıda kömür madeni kazası ve madencilik sektörüne yönelik sosyal tepkiler gibi temel zorluklar nedeniyle yakın gelecekte kömüre olan bu talebin düşmesi beklenmektedir (Gorbacheva ve Sovacool, 2015; Lakhno, 2015; Pavlov ve Petrov, 2019). Dolayısıyla, ülkenin GHGE-CC'larında mevcut araştırma tahminleri doğrultusunda gelecek yıllarda azalma eğiliminde olacağını ifade etmek yanlış bir değerlendirme olmayacaktır.

- v) Büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlı olan enerji sektörü, Güney Afrika'nın sera gazı emisyonlarının %80'inden fazlasından sorumlu olup, Güney Afrika'yı kıtasında en büyük emisyon kaynağı haline getirmiştir (EI, 2023). Ülkedeki enerji sektörünün büyük oranda bağımlı olduğu temel enerji kaynağı kömürdür. Bu durum ülkenin son enerji verilere de yansımıştır. Şöyle ki; ülkenin 2022 yılı FF kaynaklı enerji tüketimi sırasıyla %69, %22, %3, oranlarında kömür, petrol ve doğal gazdan oluşmuştur (EI, 2023). Kömür, onlarca yıldır Güney Afrika ekonomisinin kritik bir parçası olmuştur ve mevcut eğilimler, bunun yakın gelecekte de devam edeceğini göstermektedir. Hanto vd. (2022), iç politika, kalkınma hedefleri ve emisyonları azaltmaya yönelik uluslararası anlaşmalar doğrultusunda, kömür madenciliği ve kömürle çalışan elektrik santrallerinden kaynaklanan kirliliğin ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri azaltmak için kömürden uzaklaşmanın ülke için kilit bir faktör olduğunu belirtmektedir. Bu sebeple yazarlar ulusal enerji sektörünü etkileyen dört ana hedef belirlemişlerdir. Bunlar enerji mevcudiyeti, kömür sektörünün karlılığının sürdürülmesi, çevre ve iklimin korunması ve eşitsizliklerin

ve istihdam güvencesizliğinin azaltılmasıdır. Dolayısıyla, diğer araştırmalarda da ifade edildiği gibi ülkenin GHGE-CC ve diğer kirleticilerin önümüzdeki yıllarda artış eğilimi göstereceği öngörülmektedir.

vi)BRICS'e resmi olarak üye olmayan Türkiye, enerji ithalatçısı bir ülkedir. Ülkenin enerji ihtiyacının yarısından fazlası ithalatla karşılanmaktadır. Enerji tüketimi yakıtlara göre sıralandığında, Türkiye'nin fosil yakıtları (petrol, kömür ve doğal gaz) yenilenebilir enerji kaynaklarına göre oldukça fazla tükettiği görülmektedir. 2022'de 50,15 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) ile petrol en çok tercih edilen birincil enerji gücü olurken, bunu doğal gaz (43,94 Mtoe) ve kömür (41,79 Mtoe) takip etmiştir (EI, 2023). Türkiye'nin birincil enerji kaynağı olarak petrole olan bağımlılığı göz önüne alındığında, Türk Hükümeti daha fazla kömür madeni bulunmasına yönelik yeni çalışmalara başlayarak ve eldekileri geliştirerek enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltma niyetini beyan etmiştir (Bostanoğlu, 2020). Türkiye'de kömür kullanımının daha fazla artırılmasında ısrar edilmesi, iklim değişikliğine yol açan antropojenik sera gazı emisyonlarındaki artışı hızlandırmakla kalmayacak, aynı zamanda sağlık sorunlarına da yol açacaktır. Bu nedenle, Türkiye'nin enerji karışımında kömürün payının artırılmasına dayalı ulusal enerji stratejisi ile ilgili olarak değerlendirme yapıldığında, Türkiye'nin henüz somut bir emisyon azaltımı politikası izlemediği kuvvetle söylenebilmektedir. Bu yaklaşım, gelecekteki GHGE-CC'lerinin mevcut araştırma tahmini ile uyumlu olarak artacağı sonucunun çıkarılmasına da yol açmaktadır.

## 7. SONUÇLAR

Ülkelerin son zamanlarda olağanüstü bir büyüme sergilemeleri ve ekonomide dünyanın en iyi performans gösteren ülkeleri olma istekleri, sera gazı emisyonları da dâhil olmak üzere çeşitli çevresel kaygıları da beraberinde getirmektedir. Günümüzde bu kaygılar artık göz ardı edilemeyecek kadar önemli hale gelmiştir. Özellikle BRICS-T grubu ülkeler içinde geçerli olan bu endişeler, ilgili literatürde konuya yönelik yaygın ilgi ve değerlendirmelere yol açmıştır. Bu amaçla, bu tez çalışması kapsamında BRICS-T ülkeleri özelinde GHGE-CC'na yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, aşağıda sunulan bazı önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

- a) Küresel toplam sera gazı emisyonlarının 54,5 BtCO<sub>2eşd.</sub>'e ulaştığı, bu emisyonların yaklaşık %70'ini CO<sub>2</sub>'in oluşturduğu sonucuna varılmıştır.
- b) Enerji sektörünün küresel sera gazı emisyonlarının açık ara en büyük kaynağı (%73,2) olduğu görülmüştür. Ayrıca, enerjiyle ilgili sera gazı emisyonlarının %90'dan fazlası yakıt tüketiminden kaynaklandığı, yakıt türüne göre sınıflama yapıldığında da FFs'ların bu emisyonlara en büyük katkıyı veren yakıtlar olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan; kömür, petrol ve doğal gaz tüketiminden kaynaklanan küresel sera gazı emisyonlarının sırasıyla toplam 14,32; 10,30 ve 7,10 BtCO<sub>2eşd.</sub> olarak gerçekleştiği görülmüştür.
- c) Dünya nüfusunun yüzde 42'sinden fazlasını temsil eden ve küresel ekonominin yaklaşık yüzde 27'sini kontrol eden BRICS-T ülkelerinin, dünya petrol, doğal gaz ve kömür rezervlerinin sırasıyla %8,5, %25 ve %41'ine sahip oldukları sonucuna varılmıştır. İlgili ülkelerin bu yakıtların yanı sıra önemli nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklarına da sahip oldukları görülmüştür.
- d) BRICS-T ülkelerinden 10,453 BtCO<sub>2eşd.</sub>'i kömürden, 2,787 BtCO<sub>2eşd.</sub>'i petrolden ve 1,647 BtCO<sub>2eşd.</sub>'ide doğal gaz tüketiminden olmak üzere toplam 15,057 BtCO<sub>2eşd.</sub>'inde FF kaynaklı sera gazı emisyonunun açığa çıktığı tespit edilmiştir. İlgili ülkelerin bu değerler ile küresel FF kaynaklı sera gazı emisyonlarının sırasıyla %73,02, % 27,07 ve %23.20'sinden sorumlu oldukları anlaşılmıştır. Bu değerlerin katkısıyla ayrıca, BRICS-T ülkelerinin küresel sera gazı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına katkısının sırasıyla yaklaşık %43 ve %47 olduğu sonucuna varılmıştır.
- e) Çalışma kapsamında geliştirilen/önerilen tahmin modellerinin BRICS-T ülkelerinin GHGE-CC'larını tahmin etmek için verimli bir şekilde kullanılabileceği tespiti

yapılmıştır. Bu sonuç, trend analizinin bu tür koşullar için tahmin modellerini türetmede yararlı bir araç olduğunu göstermiştir.

- f) Geliştirilen/önerilen modeller kullanılarak 2020 yılı verilerine göre kıyaslama yapıldığında grup ve dünyadaki toplam GHGE-CC'larının 2035 yılına kadar sırasıyla %35,30 ve %33,63 artış oranlarıyla 14 ve 19 BtCO<sub>2eşd.</sub>'e çıkacağı öngörülmüştür.
- g) Geliştirilen/önerilen modeller ile yapılan öngörüler, Rusya Federasyonu dışında bloktaki tüm ülkelerin GHGE-CC'larında ayrı ayrı önemli artışların beklendiğini göstermiştir. Rusya Federasyonu'nun GHGE-CC'larında ise bir azalma eğiliminin gözlemleneceği öngörülmüştür. Ayrıca, gruptaki ülkeler arasında GHGE-CC'larında en büyük ve en az artış beklenen ülkelerin sırasıyla Hindistan ve Türkiye olduğu belirlenmiştir.

## 8. ÖNERİLER

Son kırk yılda dünya, büyük oranda enerji tüketimiyle bağlantılı olarak önemli bir ekonomik büyüme yaşamaktadır. Bu büyüme aynı zamanda artan sera gazı emisyonları ve dolayısıyla küresel ısınma gibi çevresel kaygıları da beraberinde getirmiştir. BRICS-T ülkeleri de bu büyüme ve endişelere önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle son dönemdeki çalışmalar hızla büyüyen ve gelişmekte olan bu ekonomiler üzerinde yoğunlaşmıştır. Burada da görüleceği üzere bu tez çalışması BRICS-T ülkeleriyle sınırlıdır. Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda araştırmacılar, BRICS-T grubundaki ülkelere yönelik tahmin modellerinin türetilmesi için sera gazı emisyonlarını doğrudan etkileyen farklı değişkenleri de dikkate alarak bu çalışmayı geliştirebilir ve/veya genişletebilir. Ek olarak, bu tez kapsamında BRICS-T özelinde bir çalışma yapıldığı için sonuçların diğer ülkelere genelleme potansiyeli bulunmamaktadır. Genelleme potansiyelinin oluşabilmesi için konuya yönelik daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu da, BRICS-T ülkeleri gibi diğer bölgesel gruplar ve/veya daha spesifik ülkeler için benzer çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Bu tür çalışmaların yapılması ve/veya yaygınlaştırılması da şiddetle tavsiye edilmektedir. Ayrıca, gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda BRICS-T ülkelerinin de içinde bulunduğu ülke gruplarına yönelik farklı modelleme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar da yapılmalıdır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması GHGE-CC'ına yönelik BRICS-T özelinde bir çalışma gerçekleştirerek ilgili alandaki araştırma açığını ortadan kaldırmayı amaçlamıştır. Bu tez çalışmasının sonuçlarının, yakıt yanmasıyla ilgili iklim değişikliği politikasına yönelik gelecekteki çalışmalar için sera gazı emisyonlarının önemine ışık tutacağı ve tüm katılımcılar için faydalı olabileceği düşünülmektedir.

## 9. KAYNAKLAR

- Abbas, S., Gui, P., Chen, A., & Ali, N. (2022). The Effect of Renewable Energy Development, Market Regulation, and Environmental Innovation on CO<sub>2</sub> Emissions in BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 59483–59501. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-20013-7>
- Adam, A.D., & Apaydin, G. (2016). Grid Connected Solar Photovoltaic System as a Tool for Greenhouse Gas Emission Reduction in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1086–1091. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.023>
- Ahmed, M., Shuai, C., & Ahmed, M. (2023). Analysis of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Trend in China, India, the USA, and Russia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 2683–2698. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13762-022-04159-y>
- Akın, G., (2006). Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2), 29-43.
- Akram, R., Majeed, M.T., Fareed, Z., Khalid, F., & Ye, C. (2020). Asymmetric Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Carbon Emissions of BRICS Economies: Evidence from Nonlinear Panel Autoregressive Distributed Lag Model. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 18254–18268. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08353-8>
- Anser, K.M., Syed, R.Q., & Apergis, N. (2021). Does Geopolitical Risk Escalate CO<sub>2</sub> Emissions? Evidence from the BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 48011–48021. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14032-z>
- Aydin, G. (2015a). The Development and Validation of Regression Models to Predict Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions in Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10, 176–182. DOI:<https://doi.org/10.1080/15567249.2013.830662>
- Aydin, G. (2015b). Forecasting Natural Gas Production Using Various Regression Models. *Petroleum Science and Technology*, 33, 1486–1492. DOI:<http://doi.org/10.1080/10916466.2015.1076842>
- Aydin, G. (2015c). Production Modeling in the Oil and Natural Gas Industry: An Application of Trend Analysis. *Petroleum Science and Technology*, 32(5), 555-564. DOI:<https://doi.org/10.1080/10916466.2013.825271>
- Aydin, G., Kaya, S., & Karakurt, I. (2015). Modeling of Energy Consumption based on Population: The Case of Turkey. *24th. International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, s. 88-92. Antalya.

- Ayvaz, B., Kusakci, A.O., & Temur, G.T. (2017). Energy-related CO<sub>2</sub> Emission Forecast for Turkey and Europe and Eurasia a Discrete Grey Model Approach. *Grey Systems: Theory and Application*, 7, 437–454. DOI:<https://doi.org/10.1108/GS-08-2017-0031>
- Azadeh, A., Saberi, M., Asadzadeh, S.M., & Khakestani, M. (2011). A Hybrid Fuzzy Mathematical Programming-Design of Experiment Framework for Improvement of Energy Consumption Estimation with Small Data Sets and Uncertainty: The Cases of USA, Canada, Singapore, Pakistan and Iran. *Energy*, 36, 6981-6992. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.016>
- Bianco, V., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Electricity Consumption Forecasting in Italy Using Linear Regression Models. *Energy*, 34(9), 1413-1421. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.034>
- Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., & Mine, A.A. (2010). Analysis and Forecasting of Nonresidential Electricity Consumption in Romania. *Applied Energy*, 87, 3584–3590. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.018>
- Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L.A. (2014). Analysis and Future Outlook of Natural Gas Consumption in the Italian Residential Sector. *Energy Conversion and Management*, 87, 754–764. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.081>
- Bostanoğlu, N.M. (2020, Haziran 20). Where Does Turkey Stand on the International Climate regime?: [https://www.ikv.org.tr/images/files/Where\\_Does\\_Turkey\\_Stand\\_on\\_the\\_International\\_Climate\\_Regime.pdf](https://www.ikv.org.tr/images/files/Where_Does_Turkey_Stand_on_the_International_Climate_Regime.pdf) adresinden alınmıştır. .
- Byrne, R.F. (2012). Beyond Traditional Time-Series: Using Demand Sensing to Improve Forecasts in Volatile Times. *The Journal of Business Forecasting*, 31(2), 13-20. DOI:<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:151263481>
- Celiker, M., Yukseler, U., & Dursun, O.F. (2021). Trend Analyses for Discharge-Recharge of Tacin Karstic Spring (Kayseri, Turkey). *The Journal of African Earth Sciences*, 184, 104344. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104344>
- Chang, MC., & Hu, J.L. (2019). A Long-Term Meta-Frontier Analysis of Energy and Emission Efficiencies between G7 and BRICS. *Energy Efficiency*, 12, 879–893. DOI:<https://doi.org/10.1007/s12053-018-9696-7>
- Cowan, W.N., Chang, T., Inglesi-Lotz, R., & Gupta, R. (2014). The Nexus of Electricity Consumption, Economic Growth and CO<sub>2</sub> Emissions in the BRICS Countries. *Energy Policy*, 66, 359–368. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.081>
- CTR. (2023, Temmuz 15). The Climate Transparency Report 2020: <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/the-climate-transparency-report-2020> adresinden alınmıştır.
- Despotovic, M., Nedic, V., Despotovic, D., & Cvetanovic, S. (2015). Review and Statistical Analysis of Different Global Solar Radiation Sunshine Models. *Renewable and*

*Sustainable Energy Reviews*, 52, 1869–1880.  
DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.035>.

- Diler, A. (2006). Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Doll, J.E., Baranski, M., (2011). Greenhouse Gas Basic. Climate Change and Agriculture Fact Sheet Series, W.K. Kellogg Biological Station, Michigan State University, 2Michigan State University Extension.
- Dong, K., Sun, R., Hochman, G. (2017). Do Natural Gas and Renewable Energy Consumption Lead to Less CO<sub>2</sub> Emission? Empirical Evidence from a Panel of BRICS Countries. *Energy*, 141, 1466–1478.  
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.092>
- EI. (2023, Temmuz 5). Energy institute statistical review of world energy 2023: <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads> adresinden alınmıştır.
- Elzen, M., Fekete, H., Höhne, N., Admiraal, A., Forsell, N., Hof, F.A., Olivier, J.G.J., Roelfsema, M., & Soest, H. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Current and Enhanced Policies of China Until 2030: Can Emissions Peak Before 2030?. *Energy Policy*, 89, 224-236. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.11.030>
- EPA., (2024, Ocak 13). Global Greenhouse Gas Emissions Data: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> adresinden alınmıştır.
- Erbay, S., & Beydogan, H.O. (2017). Attitudes of Educators Towards Educational Research. *Kırşehir Journal of the Faculty of Education*, 18(3), 246-260.
- Ganda, F. (2021). The Non-Linear Influence of Trade, Foreign Direct Investment, Financial Development, Energy Supply and Human Capital on Carbon Emissions in the BRICS. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 57825–57841.  
DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14704-w>
- George, D., & Mallery, P. (2021). IBM SPSS Statistics 27 Step by Step. Routledge New York, USA.
- Gorbacheva, N.V., & Sovacool, B.K. (2015). Pain without Gain? Reviewing the Risks and Rewards of Investing in Russian Coal-Fired Electricity. *Applied Energy*, 154, 970–986. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.066>.
- Green, F., & Stern, N. (2016). China's Changing Economy: Implications for its Carbon Dioxide Emissions. *Climate Policy*, 17, 423-442,  
DOI:<http://doi:10.1080/14693062.2016.1156515>.

- Gu, J., Renwick, N., & Xue, L. (2018). The BRICS and Africa's Search for Green Growth, Clean Energy and Sustainable Development. *Energy Policy*, 120, 675–683. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.028>
- Guttikunda, S.K., & Jawahar, P. (2014). Atmospheric Emissions and Pollution from the Coal-fired Thermal Power Plants in India. *Atmospheric Environment*, 92, 449-460. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.057>
- Hamzacebi, C., & Karakurt, I. (2015). Forecasting the Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions of Turkey Using a Grey Prediction Model. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37, 1023–1031. DOI:<https://doi.org/10.1080/15567036.2014.978086>
- Hanto, J., Schroth, A., Krawielicki, L., Oei, P.Y., & Burton, J. (2022). South Africa's Energy Transition – Unraveling its Political Economy. *Energy for Sustainable Development* 6, 9, 164–178. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.06.006>
- Haseeb, A., Xia, E., Baloch, M.A., & Abbas, K. (2018). Financial Development, Globalization, and CO<sub>2</sub> Emission in the Presence of EKC: Evidence from BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 31283–31296. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3034-7>
- Hekimoğlu, B., & Altindeğer, M., (2008, Ocak 12). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Samsun İl Tarım Müdürlüğü, Çiftçi Eğitimi ve Yayın Şubesi Yayını: [https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Kitaplarimiz/kuresel\\_isinma\\_ve\\_iklim\\_degisikligi.pdf](https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Kitaplarimiz/kuresel_isinma_ve_iklim_degisikligi.pdf) adresinden alınmıştır.
- Ibrahim, R.L., & Ajide, K.B. (2021). The Dynamic Heterogeneous Impacts of Nonrenewable Energy, Trade Openness, Total Natural Resource Rents, Financial Development and Regulatory Quality on Environmental Quality: Evidence from BRICS Economies. *Resources Policy*, 74, 102251. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102251>
- IEA. (2022, Nisan 15). Greenhouse gas emissions from energy: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy-highlights> adresinden alınmıştır.
- IPCC. (2007, Ocak 10). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. (2008, Ocak 11). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Frequently Asked Questions, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html> adresinden alınmıştır.
- Iqbal, A., Tang, X., & Rasool, S.F. (2023). Investigating the Nexus between CO<sub>2</sub> Emissions, Renewable Energy Consumption, FDI, Exports and Economic Growth: Evidence from BRICS Countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 2234–2263. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02128-6>

- Kalkan, E., & Çiftçi, B.T. (2018). Kömür Yakıtlı Santrallerden Kaynaklanan Emisyonlar Üzerine Bir Değerlendirme. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Çevre Çalışma Grubu.
- Karakurt, I., & Aydın, G. (2023). Development of Regression Models to Forecast the CO<sub>2</sub> Emissions From Fossil Fuels in the BRICS and MINT Countries. *Energy*, 263A, 125650. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125650>
- Karakurt, I., Aydın, G., & Aydiner, K. (2011). Mine Ventilation Air Methane as a Sustainable Energy Source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1042–1049. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.030>
- Kartal, M.T. (2022). The Role of Consumption of Energy, Fossil Sources, Nuclear Energy, and Renewable Energy on Environmental Degradation in Top-Five Carbon Producing Countries. *Renewable Energy*, 184, 871–880. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.022>
- Kim, S., & Kim, H. (2016). A New Metric of Absolute Percentage Error for Intermittent Demand Forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32, 669–679. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>
- Kok, B., & Benli, H. (2017). Energy Diversity and Nuclear Energy for Sustainable Development in Turkey. *Renewable Energy*, 111, 870–877. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.001>
- Kone, A.C., & Buke, T. (2010). Forecasting of CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Using Trend Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2906–2915. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.006>
- Lakhno, Y.V. (2015). Russian Coal Industry: Threats and Possibilities. *Studies on Russian Economic Development*, 26, 476–482. DOI:<https://doi.org/10.1134/S1075700715050081>
- Lenzen, M., Schaeffer, R., Karstensen, J., & Peters, G.P. (2013). Drivers of Change in Brazil's Carbon Dioxide Emissions. *Climate Change*, 121, 815–824. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0930-1>
- Lewis, C.D. (1982). International and Business Forecasting Methods. Butterworths, London.
- Li, K., & Lin, B. (2015). Metafroniter Energy Efficiency with CO<sub>2</sub> Emissions and its Convergence Analysis for China. *Energy Economics*, 48, 230–241. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.006>
- Li, M.F., Tang, X.P., Wu, W., & Liu, H.B. (2013). General Models for Estimating Daily Global Solar Radiation for Different Solar Radiation Zones in Mainland China. *Energy Conversion and Management*, 70, 139–48. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.03.004>

- Liu, J.L., Ma, C.Q., Ren, Y.S., & Zhao, X.W. (2020). Do Real Output and Renewable Energy Consumption Affect CO<sub>2</sub> Emissions? Evidence for Selected BRICS Countries. *Energies*, 13, 960. DOI:<https://doi.org/10.3390/en13040960>
- Liu, X.Y., Xian, G.Q., (2021). Contributions of Natural Systems and Human Activity to Greenhouse Gas Emissions. *Advances in Climate Change Research* 9; 243-252. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.accr.2018.12.003>
- Oladunni, O.J., Mpofu, K., & Olanrewaju, O.A. (2022). Greenhouse Gas Emissions and its Driving Forces in the Transport Sector of South Africa. *Energy Reports*, 8, 2052–2061. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.123>
- Ostrom, C.W. (1978). Time Series Analysis (Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, Series No. 07-009). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Ozceylan, E. (2016). Forecasting CO<sub>2</sub> Emission of Turkey: Swarm Intelligence Approaches. *International Journal of Global Warming*, 9, 337–361. DOI:<https://doi.org/10.1504/IJGW.2016.075450>
- Pabuccu, H., & Bayramoglu, T. (2016). CO<sub>2</sub> Emissions Forecast with Neural Networks With: The Case of Turkey. *Gazi Univ. Journal of Economic and Administrative Sciences*, 18, 762–778.
- Paiva, H., Afonso, R.J.M., Caldeira, F.M.S.L.A., & Velasquez, E.A. (2021). A Computational Tool for Trend Analysis and Forecast of the COVID-19 Pandemic. *Applied Soft Computing*, 105, 107289. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107289>
- Pao, H.T., & Tsai, C.M. (2010). CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in BRIC Countries. *Energy Policy*, 38, 7850–7860. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.045>
- Pao, H.T., & Tsai, C.M. (2011a). Multivariate Granger Causality between CO<sub>2</sub> 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, 685–693. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.041>
- Pao, H.T., & Tsai, C.M. (2011b). Modeling and Forecasting the CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil. *Energy*, 36, 2450–2458. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032>
- Pavlov, N., & Petrov, N. (2019). Coal Industry of the Republic of Sakha (Yakutia): Tools and Forecast. *E3S Web of Conferences* 77, 03002. DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197703002>.
- Peters, G.P., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Fuss, S., Jackson, R.B., Korsbakken, J.I., Quéré, C.L., & Nakicenovic, N. (2017). Key Indicators to Track Current Progress and Future

- Ambition of the Paris Agreement. *Nature Climate Change*, , 118-122. <http://doi:10.1038/nclimate3202>.
- Peters, G.P., Andrew, R.M., Solomon, S., & Friedlingstein, P. (2015). Measuring a Fair and Ambitious Climate Agreement Using Cumulative Emissions. *Environmental Research Letters*, 10, 105004. DOI:<http://doi:10.1088/1748-9326/10/10/105004>.
- Ramanathan, V., & Feng, Y. (2009). Air Pollution, Greenhouse Gases and Climate Change: Global and Regional Perspectives. *Atmospheric Environment*, 43, 37–50. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.063>
- Prayas, (2011). Thermal Power Plants on the Anvil: Implications and Need for Rationalisation. Prayas Energy Group, Pune, India.
- Prayas, (2013). Black and Dirty e the Real Challenges Facing India's Coal Sector. Prayas Energy Group, Pune, India
- PwC. (2022, Mart 25). The world in 2050: <https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf> adresinden alınmıştır.
- Qi, Y., Stern, N., He, J., Lu, J., King, D., Liu, T., & Wu, T. (2018, Temmuz 25). China's Peaking Emissions and the Future of Global Climate Policy: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2018/09/Chinas-Peaking-Emissions-and-the-Future-of-Global-Climate-Policy.pdf> adresinden alınmıştır.
- Raghutla, C., & Chittedi, K.R. (2020). Financial Development, Energy Consumption, Technology, Urbanization, Economic Output and Carbon Emissions Nexus in BRICS Countries: An Empirical *Analysis Management of Environmental Quality*, 32(2), 290-307. DOI:<https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2020-0035>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020, Haziran 10). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. <https://ourworldindata.org/CO2-and-greenhouse-gas-emissions> adresinden alınmıştır.
- RME. (2020, Temmuz 11). Russian Ministry of Energy, Coal Mining, Russian Ministry of Energy Statistics, 2020: <https://minenergo.gov.ru/node/435> adresinden alınmıştır.
- Sahin, U. (2019). Forecasting of Turkey's Electricity Generation and CO<sub>2</sub> Emissions in Estimating Capacity Factor. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38, 56–65. DOI:<https://doi.org/10.1002/ep.13076>
- Saunois, M., Stavert, A.R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J.G. vd., (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12, 1561–1623. DOI:<https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Shi, B., Xiang, W., Bai, X., Wang, Y., Geng, G., & Zheng, J. (2022). District Level Decoupling Analysis of Energy-related Carbon Dioxide Emissions from Economic Growth in Beijing, China. *Energy Reports*, 8, 2045–2051. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.124>

- Siddiqui, K. (2016). Will the Growth of the BRICS Cause a Shift in the Global Balance of Economic Power in the 21<sup>st</sup>. Century?. *International Journal of Political Economy*, 45, 315–338. DOI:<https://doi.org/1080/08911916.2016.1270084>
- Singh, K.P., Basant, A., Malik, A., & Jain, G. (2009). .Artificial Neural Network Modeling of the River Water Quality – A Case Study. *Ecological Modelling*, 220(6), 888–895.
- Şen, Z. (2022). İklim Değişikliği ve Türkiye. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 1,1-19.
- Tian, X., Sarkis, J., Geng, Y., Bleischwitz, R., Qian, Y., Xu, L., & Wu, R. (2020). Examining the Role of BRICS Countries at the Global Economic and Environmental Resources Nexus. *Journal of Environmental Management*, 262, 110330. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110330>
- Türkeş, M. (2021). Sera Gazları, Kuvvetlenen Sera Etkisi ve Küresel İklim Değişikliği. *İktisat ve Toplum*, 129, 1-17.
- Uma, M.J., Yun, H., Jeong, C.S., & Heo, J.H. (2011). Factor Analysis and Multiple Regression between Topography and Precipitation on Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology*, 410, 189–203. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.016>
- Ummalla, M., Samal, A., & Goyari, P. (2019). Nexus among the Hydropower Energy Consumption, Economic Growth, and CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 35010–35022. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06638-1>
- Urbano, R.C. (2013). Using Secondary Datasets to Understand Persons with Developmental Disabilities and Their Families. *International Review Research in Developmental Disabilities*, Disabi: Amsterdam, The Netherlands.
- Uzlu, E. (2021). Estimates of Greenhouse Gas Emission in Turkey with Grey Wolf Optimizer Algorithm-Optimized Artificial Neural Networks. *Neural Computing and Applications*, 33, 13567–13585. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00521-021-05980-1>
- WBI. (2023, Temmuz 01). Worldbank indicators on urban population. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> adresinden alınmıştır.
- Yang, B., Jahanger, A., & Ali, M., (2021). Remittance Inflows Affect the Ecological Footprint in BRICS Countries: Do Technological Innovation and Financial Development Matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 23482–23500. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-12400-3>
- Zakarya, Y.G., Mostefa, B., Abbes, S.M., & Seghir, M.G. (2015). Factors Affecting CO<sub>2</sub> Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*, 26, 114–125. DOI:[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00890-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00890-4)
- Zhang, Y.J., & Wang, W. (2019). Do Renewable Energy Consumption and Service Industry Development Contribute to CO<sub>2</sub> Emissions Reduction in BRICS Countries?.

*Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31632–31643.  
DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06330-4>

Zhao, W., Zhong, R., Sohail, S., Majeed, M.T., & Ullah, S. (2021). Geopolitical Risks, Energy Consumption, and CO<sub>2</sub> Emissions in BRICS: An Asymmetric Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 39668–39679. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-13505-5>

Zhu, H., Xia, H., Guo, Y., Peng, C. (2018). The Heterogeneous Effects of Urbanization and Income Inequality on CO<sub>2</sub> Emissions in BRICS Economies: Evidence from Panel Quantile Regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 17176–17193. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1900-y>



## 10. EKLER

**Ek Tablo 1.** F tablosu ( $\alpha = 0,05$ )

| df2  | df1   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 12    | 24    | 1000  |
| 1    | 161.4 | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 243.9 | 249.1 | 254.2 |
| 2    | 18.51 | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.41 | 19.45 | 19.49 |
| 3    | 10.13 | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.74  | 8.64  | 8.53  |
| 4    | 7.71  | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 5.91  | 5.77  | 5.63  |
| 5    | 6.61  | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.68  | 4.53  | 4.37  |
| 6    | 5.99  | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.00  | 3.84  | 3.67  |
| 7    | 5.59  | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.57  | 3.41  | 3.23  |
| 8    | 5.32  | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.28  | 3.12  | 2.93  |
| 9    | 5.12  | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.07  | 2.90  | 2.71  |
| 10   | 4.96  | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 2.91  | 2.74  | 2.54  |
| 12   | 4.75  | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.69  | 2.51  | 2.30  |
| 14   | 4.60  | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.53  | 2.35  | 2.14  |
| 16   | 4.49  | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.42  | 2.24  | 2.02  |
| 18   | 4.41  | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.34  | 2.15  | 1.92  |
| 20   | 4.35  | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.28  | 2.08  | 1.85  |
| 30   | 4.17  | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.09  | 1.89  | 1.63  |
| 50   | 4.03  | 3.18  | 2.79  | 2.56  | 2.40  | 2.29  | 2.20  | 2.13  | 1.95  | 1.74  | 1.45  |
| 100  | 3.94  | 3.09  | 2.70  | 2.46  | 2.31  | 2.19  | 2.10  | 2.03  | 1.85  | 1.63  | 1.30  |
| 1000 | 3.85  | 3.00  | 2.61  | 2.38  | 2.22  | 2.11  | 2.02  | 1.95  | 1.76  | 1.53  | 1.11  |

**Ek Tablo 2.** t tablosu ( $\alpha = 0,05$ )

| $\alpha$   | t.50  | t.75  | t.80  | t.85  | t.90  | t.95  | t.975 | t.99  | t.995 | t.999  | t.9995 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Tek yönlü  | 0.50  | 0.25  | 0.20  | 0.15  | 0.10  | 0.05  | 0.025 | 0.01  | 0.005 | 0.001  | 0.0005 |
| Çift yönlü | 1.00  | 0.50  | 0.40  | 0.30  | 0.20  | 0.10  | 0.05  | 0.02  | 0.01  | 0.002  | 0.001  |
| df         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
| 1          | 0.000 | 1.000 | 1.376 | 1.963 | 3.078 | 6.314 | 12.71 | 31.82 | 63.66 | 318.31 | 636.62 |
| 2          | 0.000 | 0.816 | 1.061 | 1.386 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 22.327 | 31.599 |
| 3          | 0.000 | 0.765 | 0.978 | 1.250 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 10.215 | 12.924 |
| 4          | 0.000 | 0.741 | 0.941 | 1.190 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 7.173  | 8.610  |
| 5          | 0.000 | 0.727 | 0.920 | 1.156 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 5.893  | 6.869  |
| 6          | 0.000 | 0.718 | 0.906 | 1.134 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 5.208  | 5.959  |
| 7          | 0.000 | 0.711 | 0.896 | 1.119 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 4.785  | 5.408  |
| 8          | 0.000 | 0.706 | 0.889 | 1.108 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 4.501  | 5.041  |
| 9          | 0.000 | 0.703 | 0.883 | 1.100 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.250 | 4.297  | 4.781  |
| 10         | 0.000 | 0.700 | 0.879 | 1.093 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.169 | 4.144  | 4.587  |
| 11         | 0.000 | 0.697 | 0.876 | 1.088 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 4.025  | 4.437  |
| 12         | 0.000 | 0.695 | 0.873 | 1.083 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 3.930  | 4.318  |
| 13         | 0.000 | 0.694 | 0.870 | 1.079 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 3.852  | 4.221  |
| 14         | 0.000 | 0.692 | 0.868 | 1.076 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 3.787  | 4.140  |
| 15         | 0.000 | 0.691 | 0.866 | 1.074 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 3.733  | 4.073  |
| 16         | 0.000 | 0.690 | 0.865 | 1.071 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 3.686  | 4.015  |
| 17         | 0.000 | 0.689 | 0.863 | 1.069 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.646  | 3.965  |
| 18         | 0.000 | 0.688 | 0.862 | 1.067 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.610  | 3.922  |
| 19         | 0.000 | 0.688 | 0.861 | 1.066 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.579  | 3.883  |
| 20         | 0.000 | 0.687 | 0.860 | 1.064 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.552  | 3.850  |
| 21         | 0.000 | 0.686 | 0.859 | 1.063 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.527  | 3.819  |
| 22         | 0.000 | 0.686 | 0.858 | 1.061 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.505  | 3.792  |
| 23         | 0.000 | 0.685 | 0.858 | 1.060 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.485  | 3.768  |
| 24         | 0.000 | 0.685 | 0.857 | 1.059 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.467  | 3.745  |
| 25         | 0.000 | 0.684 | 0.856 | 1.058 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.450  | 3.725  |
| 26         | 0.000 | 0.684 | 0.856 | 1.058 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.435  | 3.707  |
| 27         | 0.000 | 0.684 | 0.855 | 1.057 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.421  | 3.690  |
| 28         | 0.000 | 0.683 | 0.855 | 1.056 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.408  | 3.674  |
| 29         | 0.000 | 0.683 | 0.854 | 1.055 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.396  | 3.659  |
| 30         | 0.000 | 0.683 | 0.854 | 1.055 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.385  | 3.646  |
| 40         | 0.000 | 0.681 | 0.851 | 1.050 | 1.303 | 1.684 | 2.021 | 2.423 | 2.704 | 3.307  | 3.551  |
| 60         | 0.000 | 0.679 | 0.848 | 1.045 | 1.296 | 1.671 | 2.000 | 2.390 | 2.660 | 3.232  | 3.460  |
| 80         | 0.000 | 0.678 | 0.846 | 1.043 | 1.292 | 1.664 | 1.990 | 2.374 | 2.639 | 3.195  | 3.416  |
| 100        | 0.000 | 0.677 | 0.845 | 1.042 | 1.290 | 1.660 | 1.984 | 2.364 | 2.626 | 3.174  | 3.390  |
| 1000       | 0.000 | 0.675 | 0.842 | 1.037 | 1.282 | 1.646 | 1.962 | 2.330 | 2.581 | 3.098  | 3.300  |
| z          | 0.000 | 0.674 | 0.842 | 1.036 | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 3.090  | 3.291  |

## ÖZGEÇMİŞ

Büşra DEMİR AVCI, İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Sağlık meslek lisesi hemşirelik bölümü mezuniyeti sonrasında iki yıl İstanbul Bahçelievler'de faaliyet gösteren özel bir hastanenin genel yoğun bakım ünitesinde görev yaptı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nde başladığı Lisans eğitimini, 2018 yılı Haziran ayında bölüm üçüncüsü olarak tamamladı. Aynı üniversite ve bölümde yüksek lisans eğitimine başlayıp yaklaşık 3 yıl Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) desteklenen bir araştırma projesinde lisansüstü bursiyeri olarak bilimsel çalışmalarda bulundu. Yüksek lisans eğitimine zorunlu olarak bir süre ara veren Büşra DEMİR AVCI, farklı zaman aralıklarında sırasıyla kurşun çinko bakır üretimi yapan bir firmanın flotasyon tesisinde sorumlu mühendis, bakır üretimi yapan bir firmanın yeraltı işletmesinde delme patlatma mühendisi ve krom üretimi yapan bir firmanın da yeraltı işletmesinde maden planlama mühendisi olarak görev yaptı. Ağustos 2022 itibarı Yüksek lisans eğitimine devam etme kararı alan Büşra DEMİR AVCI, evli olup yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

### Tez Kapsamında Üretilmiş Yayınlar:

Karakurt, I., Avcı Demir, B., Aydın, G. 2023. Leveraging the trend analysis for modelling of the greenhouse gas emissions associated with coal combustion. Environmental Science and Pollution Research (**Hakem değerlendirmesinde**).