

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ANTROPOJENİK FAKTÖRLERİN TÜRKİYE'NİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÜZERİNDEKİ  
ETKİSİ: 2030 YILI CO2 EMİSYONU VE KÜRESEL SICAKLIK PROJEKSİYONLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza GÜDEK

NİSAN - 2024

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ANTROPOJENİK FAKTÖRLERİN TÜRKİYE’NİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÜZERİNDEKİ  
ETKİSİ: 2030 YILI CO2 EMİSYONU VE KÜRESEL SICAKLIK PROJEKSİYONLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza GÜDEK

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÜRCAN

NİSAN - 2024

TRABZON

## ONAY

Beyza GÜDEK tarafından hazırlanan “Antropojenik Faktörlerin Türkiye’nin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi: 2030 Yılı CO2 Emisyonu ve Küresel Sıcaklık Projeksiyonları” adlı Çalışma 07/05/2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı’nda **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

| Jüri Üyesi                  |          | Karar                    |                          | İmza |
|-----------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|------|
| Unvanı - Adı ve Soyadı      | Görevi   | Kabul                    | Ret                      |      |
| Prof. Dr. Bünyamin ER       | Başkan   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Doç. Dr. Mehmet KOKOÇ       | Üye      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |
| Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÜRCAN | Danışman | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |      |

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım.

Prof. Dr. Tülay İLHAN NAS  
Enstitü Müdürü

## BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca KTÜ – Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yararlanılan kaynakların tümüne eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Beyza GÜDEK

15.04.2024

## ÖNSÖZ

Bu tezin hikayesi, kuruyan ve yok olmak üzere olan bir gölün ve etrafında hayatını kaybeden yüzlerce canlının tam ortasında yürütülen bir proje ile başlamıştır. Küresel ısınmanın canlı yaşamına etkisinin incelendiği bu projede, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki yıkıcı etkileri doğrudan gözlemlenmiştir. Bununla birlikte teknoloji ve çevrenin çatışmalı ilişkisini incelediğimiz yurt dışı seyahatleri, teknolojinin sürdürülebilirliğin anahtarı olarak görülürken aynı zamanda çevre üzerindeki olumsuz etkilerini de görme fırsatı sunmuştur. Sonuçta, bu deneyimler 16. yüzyıldan bu yana çeşitli nedenlerle artan ve 18. yüzyılın sonlarında Sanayi Devrimi ile ivme kazanmış küresel ısınma konusunu çalışmaya yönlendirmiştir.

İnsan faaliyetleri sonucunda doğal ekosistemin insanlığın sosyoekonomik yapısı ve daha önemlisi bütün doğal yaşam ciddi bir tehditle yüzleşmektedir. İnsanlığın çevre ve doğal yaşama yönelik geç kalmış ilgisi ise ancak son birkaç on yıl içinde belirginleşmiştir. Türkiye'nin de taraf olduğu Paris İklim Anlaşması ile çevre konusu uluslararası politika gündeminin merkezine girmiştir. Paris İklim Anlaşması küresel ısınma, iklim değişikliği ve en büyük etki faktörlerinden CO<sub>2</sub> emisyonu konusunda ulusal ve uluslararası aktörlere sorumluluklar yüklemiştir. Bu sorumlulukların bir parçası olarak, bu tez ile küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununda Türkiye'nin hedefleri arasında bulunan CO<sub>2</sub> emisyonu azaltılması amacına odaklanmaktadır. Türkiye'nin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisini çok faktörlü model ile analiz ederek öngörü oluşturmayı, böylece ortaya çıkan projeksiyon ile politika önerisi sunarak literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarını derinlemesine yaşadığım bu tezin tüm süreçlerinde, desteğini hissettiğim birçok kişinin emeğiyle tezi tamamlamam mümkün olmuştur. Zamana çok ihtiyaç duyduğum bu dönemde sabırlarını ve desteklerini eksik etmeden daima yanımda olan sevgili ailem, hayat arkadaşım ve kıymetli bölüm hocalarıma minnettarım. Son olarak, süreçteki bilgi ve desteğini hissettiren tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÜRCAN'a teşekkür ederim.

Nisan, 2024

Beyza GÜDEK

## İÇİNDEKİLER

|                          |      |
|--------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....               | I    |
| İÇİNDEKİLER .....        | II   |
| ÖZET.....                | V    |
| ABSTRACT .....           | VI   |
| TABLolar LİSTESİ.....    | VII  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....    | VIII |
| GRAFİKLER LİSTESİ.....   | IX   |
| KISALTMALAR LİSTESİ..... | X    |
| GİRİŞ .....              | 1-3  |

## BİRİNCİ BÖLÜM

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| 1. KÜRESEL ISINMA VE CO <sub>2</sub> EMİSYONU: TEORİK ÇERÇEVE ..... | 4-12 |
| 1.1. Küresel Isınma ve CO <sub>2</sub> Emisyonu.....                | 4    |
| 1.1.1. Fosil Yakıt Tüketimi ve Sera Gazı Emisyonları .....          | 6    |
| 1.1.2. Orman Tahribatı ve Karbon Döngüsü .....                      | 6    |
| 1.1.3. Endüstriyel Süreçler ve İklim Değişikliği .....              | 7    |
| 1.2. Dünyada Küresel Isınma.....                                    | 8    |
| 1.3. Bir Antropojenik Tehlike: Türkiye’de Küresel Isınma .....      | 10   |

## İKİNCİ BÖLÜM

|                                                                              |       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 2. TÜRKİYE’DE KÜRESEL ISINMANIN ANTROPOJENİK DEĞİŞKENLERİ .....              | 13-29 |
| 2.1. Çevresel Değişkenler .....                                              | 13    |
| 2.1.1. CO <sub>2</sub> Emisyonu (kt) .....                                   | 13    |
| 2.1.2. Sıcaklık Etkisi (°C).....                                             | 14    |
| 2.1.3. CO <sub>2</sub> Yoğunluğu (kg başına petrol eşdeğeri enerji) .....    | 16    |
| 2.1.4. Toplam Sera Gazı (kt CO <sub>2</sub> eşdeğeri) .....                  | 17    |
| 2.1.5. Ormanlık Alan (km <sup>2</sup> ) .....                                | 18    |
| 2.2. Enerji Kullanımı ve Tüketimi .....                                      | 20    |
| 2.2.1. Petrol, Gaz ve Kömür Kaynaklarından Elektrik Üretimi (toplam %) ..... | 20    |
| 2.2.2. Enerji Kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg).....          | 23    |
| 2.2.3. Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (toplam %).....                           | 24    |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4. Yenilenebilir Enerji Tüketimi (toplam nihai enerji tüketimi %) ..... | 25 |
| 2.3. Ekonomik ve Demografik Değişkenler .....                               | 26 |
| 2.3.1. GSYH (US\$) .....                                                    | 27 |
| 2.3.2. Nüfus (toplam).....                                                  | 28 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

|                                                                                                        |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>3. AMPİRİK LİTERATÜR.....</b>                                                                       | <b>30-52</b> |
| 3.1. Veri Madenciliği .....                                                                            | 30           |
| 3.2. Zaman Serisi ile Tahminleme .....                                                                 | 32           |
| 3.2.1. Zaman Serisi Verileri ve Özellikleri.....                                                       | 33           |
| 3.2.2. Zaman Serisi Analizinin Amaçları .....                                                          | 33           |
| 3.2.3. Zaman Serisi Verilerinin Modellenmesi.....                                                      | 34           |
| 3.2.3.1. Hareketli Ortalama (Moving Average-MA).....                                                   | 34           |
| 3.2.3.2. Üstel Yumuşatma (Exponential Smoothing).....                                                  | 35           |
| 3.2.3.2.1. Basit Üstel Yumuşatma (Single Exponential Smoothing – SES) .....                            | 36           |
| 3.2.3.2.2. Çift Üstel Yumuşatma (Double Exponential Smoothing – DES).....                              | 37           |
| 3.2.3.2.3. Üçlü Üstel Yumuşatma (Triple Exponential Smoothing – TES).....                              | 37           |
| 3.2.3.3. Doğrusal Regresyon (Linear Regression).....                                                   | 38           |
| 3.3. Tahmin Modelinin Performans Ölçümü .....                                                          | 38           |
| 3.3.1. Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error – MAPE) .....                      | 40           |
| 3.3.2. Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hatası – (Symmetric Mean Absolute Percentage Error – SMAPE)..... | 41           |
| 3.4. Regresyon Analizi (Regression Analysis) .....                                                     | 41           |
| 3.4.1. En Küçük Kareler Yöntemi (Least Squares Method – LS) .....                                      | 44           |
| 3.4.2. Doğrusal Regresyon (Linear Regression – LR).....                                                | 45           |
| 3.4.3. Doğrusal Olmayan Regresyon (Polynomial Regression – PR) .....                                   | 45           |
| 3.5. Korelasyon Analizi .....                                                                          | 47           |
| 3.6. Çok Değişkenli Regresyon Analizinde Model Oluşturma.....                                          | 47           |
| 3.6.1. Geriye Doğru Eleme (Backward Elimination) .....                                                 | 48           |
| 3.6.2. İleriye Doğru Seçim (Forward Selection) .....                                                   | 49           |
| 3.6.3. Adım Adım Regresyon (Stepwise Regression) .....                                                 | 50           |
| 3.7. CO2 ve Küresel Sıcaklık İlişkisini Ölçen Ampirik Literatür.....                                   | 50           |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

|                                                                           |              |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>4. DENEYSEL ANALİZ .....</b>                                           | <b>53-83</b> |
| 4.1. Tezin Amacı ve Kapsamı.....                                          | 53           |
| 4.2. Tezin Yöntemi .....                                                  | 54           |
| 4.3. Verilerin Toplanması .....                                           | 55           |
| 4.4. Özellik Seçimi.....                                                  | 60           |
| 4.4.1. CO2 Emisyonu Özellik Seçimi .....                                  | 60           |
| 4.4.2. Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi .....                       | 62           |
| 4.4.3. Özellik Seçimi Sonuçları.....                                      | 64           |
| 4.5. Tahminleme .....                                                     | 65           |
| 4.5.1. Tahmin Simülasyonları ve Sonuçları .....                           | 66           |
| 4.5.2. Eşleşen Tahmin Yöntemleri ile MLR Modeli .....                     | 68           |
| 4.5.2.1. Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO2 Emisyonu Modeli .....             | 68           |
| 4.5.2.2. Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Modeli .....  | 70           |
| 4.5.3. Çoğunluk Oyu (Majority Vote) ile MLR Modeli .....                  | 71           |
| 4.5.3.1. Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO2 Emisyonu Modeli .....               | 72           |
| 4.5.3.2. Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Modeli .....    | 73           |
| 4.6. Bulgular .....                                                       | 75           |
| 4.7. Tartışma .....                                                       | 80           |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                             | <b>84</b>    |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                     | <b>89</b>    |
| <b>EKLER.....</b>                                                         | <b>102</b>   |
| Ek-1: Dünya Bankası Verileri.....                                         | 103          |
| Ek-2: Our Data in World Veriler .....                                     | 105          |
| Ek-3: CO <sub>2</sub> Tahmin Verileri (Çoğunluk Oyu Yöntemi).....         | 106          |
| Ek-4: Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmin Verileri (Çoğunluk Oyu Yöntemi)..... | 107          |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                      | <b>108</b>   |

## ÖZET

Küresel ısınmayla mücadele uluslararası politika gündeminin başat sorunlarından biri haline gelmiştir. Türkiye verilerine göre özellikle son yıllarda CO<sub>2</sub> salımı ve bu salımı tetikleyen faktörlerde artış gözlemlenmiştir. Türkiye'nin politika ve stratejilerinin başarılı olabilmesi için ısınmayı arttıran faktörlerin ve artış hızlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu gereklilik nedeniyle bu tez, zaman serileri ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi yöntemiyle ideal bir model oluşturarak, Türkiye'nin 2030'daki CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisini varsayımlar altında projeksiyon sunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda nüfus, gayri safi yurt içi hasıla (GSYH), CO<sub>2</sub> yoğunluğu, elektrik üretimi, fosil yakıt enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam sera gazı emisyonu ve ormanlık alan dağılımı değişkenlerinden yararlanılmıştır. Bu değişkenlerin 2030 yılına kadar değerleri, tahmin edilerek, CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisi regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. 2030 yılına kadar yapılan analizin bulgularına göre değişkenlerin tamamı artış göstermektedir. Bu artışlar 2030 yılında Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonu oranının %50,92 ve küresel sıcaklığa etki düzeyinin ise %19,93 oranında artmasına neden olacaktır.

Türkiye'nin stratejik planı ve hedefleri incelendiğinde bu konuda net bir programı olmadığı ve çoğunlukla enerji yoğunluğu, GSYH büyümesi ve yenilenebilir enerjilerle ilgili bir dizi iddialı hedef belirlediği görülmektedir. Bulgular, Türkiye'nin Stratejik Planı ve Olağan Durum (*Business as usual* – *BAU*) senaryosu kapsamında Paris Anlaşması'na yönelik taahhütlerini yerine getirmesinin zor olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin küresel sıcaklığa etkisi, Paris İklim Anlaşması kapsamında belirlenen sıcaklığı düşürme hedefi için de risk oluşturmaktadır. Bu nedenle CO<sub>2</sub> salımı ve küresel ısınmaya yönelik etkilerinde erken çözümüne yönelik umutlar zayıf görünmektedir. Bu tezin bulguları Türkiye'nin iklim değişikliği stratejilerine ve politikalarına katkı sağlaması öngörülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** CO<sub>2</sub> Emisyonu, Küresel Isınma, Regresyon Analizi, Zaman Serisi Analizi, Makine Öğrenmesi.

## ABSTRACT

As the fight against global warming has become a prominent issue on the international political agenda, data from Turkey indicate a recent increase in CO<sub>2</sub> emissions and the factors triggering these emissions. For Turkey's policies and strategies to be effective, it is essential to understand the factors that increase warming and the rate of increase. Therefore, this thesis aims to project Turkey's CO<sub>2</sub> emissions and its impact on global temperature by 2030, using time series and multiple linear regression (MLR) analysis to create an ideal model. This model utilizes variables such as population, gross domestic product (GDP), CO<sub>2</sub> intensity, electricity production, fossil fuel consumption, renewable energy consumption, total greenhouse gas emissions, and forest area distribution. The values of these variables are forecasted up to 2030, and their impact on CO<sub>2</sub> emissions and global temperature is analyzed through regression models. According to the findings of the analysis up to 2030, all variables show an increase. These increases are projected to lead to a 50.92% rise in Turkey's CO<sub>2</sub> emissions and a 19.93% increase in its impact on global temperature by 2030.

When Turkey's strategic plan and goals are examined, it is evident that there is no clear program, and the focus is primarily on ambitious targets related to energy intensity, GDP growth, and renewable energies. Findings indicate that it is challenging for Turkey to meet its commitments under the Paris Agreement as per its Strategic Plan and Business as Usual (BAU) scenario. Turkey's impact on global temperatures also poses a risk to achieving the temperature reduction targets set under the Paris Climate Agreement. Therefore, hopes for an early resolution to CO<sub>2</sub> emissions and their impact on global warming appear bleak. This thesis aims to contribute to Turkey's climate change strategies and policies.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Emissions, Global Warming, Regression Analysis, Time Series Analysis, Machine Learning.

## TABLÖLAR LİSTESİ

| Tablo Nr. | Tablo Adı                                                                          | Sayfa Nr. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1         | Türkiye 1988-2022 Yılları Arası Yangın Sayısı .....                                | 19        |
| 2         | Temel Metrik Özeti .....                                                           | 39        |
| 3         | Ampirik Literatür .....                                                            | 51        |
| 4         | Değişkenler & Değişken ID .....                                                    | 56        |
| 5         | Tanımlayıcı İstatistikler .....                                                    | 59        |
| 6         | CO2 Emisyonu Özellik Seçimi Öncesi .....                                           | 60        |
| 7         | CO2 Emisyonu Özellik Seçimi Öncesi İstatistiksel Değerleri .....                   | 61        |
| 8         | CO2 Emisyonu Özellik Seçimi Sonrası .....                                          | 61        |
| 9         | CO2 Emisyonu Özellik Seçimi Sonrası İstatistiksel Değerleri .....                  | 62        |
| 10        | Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Öncesi .....                                | 62        |
| 11        | Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Öncesi İstatistiksel Değerleri .....        | 63        |
| 12        | Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Sonrası .....                               | 63        |
| 13        | Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Sonrası İstatistiksel Değerleri .....       | 64        |
| 14        | Zaman Serisi Simülasyon Verileri .....                                             | 66        |
| 15        | Zaman Serisi Yöntemleri Hata Ölçümleri .....                                       | 68        |
| 16        | Zaman Serisi Yöntemleri Eşleşmesi .....                                            | 68        |
| 17        | Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO2 Emisyonu MLR Modeli .....                           | 69        |
| 18        | Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO2 Emisyonu MLR Modeli İstatistikleri .....            | 69        |
| 19        | Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli .....                | 70        |
| 20        | Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli İstatistikleri ..... | 70        |
| 21        | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO2 Emisyonu MLR Modeli .....                             | 72        |
| 22        | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO2 Emisyonu MLR Modeli İstatistikleri .....              | 72        |
| 23        | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli .....                  | 74        |
| 24        | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli İstatistikleri .....   | 74        |
| 25        | Eşleşen Yöntem & Çoğunluk Oyu Yöntemi .....                                        | 75        |
| 26        | CO2 Emisyonu & Bağımsız Değişken Oransal Artışları (%) .....                       | 78        |
| 27        | Küresel Sıcaklık Etkisi & Bağımsız Değişken Oransal Artışları (%) .....            | 80        |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

| Şekil Nr. | Şekil Adı                                  | Sayfa Nr. |
|-----------|--------------------------------------------|-----------|
| 1         | Sera Etkisi .....                          | 5         |
| 2         | Dünya Sıcaklık Göstergesi (1980-2023)..... | 10        |
| 3         | Veri Madenciliği Süreçleri .....           | 30        |
| 4         | Basit Sinir Hücresi .....                  | 32        |
| 5         | Hataların Dağılımı.....                    | 43        |
| 6         | Serpilme Diyagramı .....                   | 44        |
| 7         | Eğrisel Fonksiyonlar .....                 | 46        |
| 8         | Araştırmanın Uygulama Aşamaları.....       | 55        |
| 9         | Değişken Korelasyon Matrisi.....           | 56        |
| 10        | Bağımlı-Bağımsız Değişken Eşleşmeleri..... | 65        |

## GRAFİKLER LİSTESİ

| Grafik Nr. | Grafik Adı                                                                                   | Sayfa Nr. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1          | Türkiye BAU Senaryosu ve Azaltım Hedefi.....                                                 | 11        |
| 2          | Türkiye CO2 Emisyonu (1990-2020) .....                                                       | 14        |
| 3          | Türkiye'deki Sera Gazı Emisyonlarından Kaynaklı Yüzey Sıcaklığındaki Değişiklik ....         | 15        |
| 4          | Türkiye CO2Yoğunluğu (1960-2015).....                                                        | 16        |
| 5          | Türkiye Toplam Sera Gazı Emisyonları (1990-2020).....                                        | 17        |
| 6          | Türkiye 1988-2022 Yılları Arası Yanan Alan Miktar.....                                       | 19        |
| 7          | Türkiye Ormanlık Alan (1990-2021).....                                                       | 20        |
| 8          | Türkiye 1975-2022 Yılları Arası Elektrik Üretimi ve Tüketimi .....                           | 21        |
| 9          | Türkiye 1970-2022 Yılları Arası Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Kaynak Payları ..... | 22        |
| 10         | Türkiye Petrol, Gaz ve Kömür Kaynaklarından Elektrik Üretimi (1960-2015) .....               | 22        |
| 11         | Türkiye Enerji Kullanımı (1960-2015) .....                                                   | 24        |
| 12         | Türkiye Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (1960-2015).....                                         | 25        |
| 13         | Türkiye Yenilenebilir Enerji Tüketimi (1990-2020).....                                       | 26        |
| 14         | Türkiye 2013-2023 Yılları Arasındaki İthalat ve İhracat Göstergeleri .....                   | 27        |
| 15         | Türkiye Kişi Başına Düşen Gayri Safı Yurt İçi Hasıla (1960-2022) .....                       | 28        |
| 16         | Türkiye Nüfus (1960-2022) .....                                                              | 29        |
| 17         | Zaman Serisi Yöntemleri Simülasyon Modelleri.....                                            | 67        |
| 18         | Eşleşen Yöntem ile CO2 Emisyonu Tahmini .....                                                | 69        |
| 19         | Eşleşen Yöntem ile Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmini .....                                     | 71        |
| 20         | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO2 Emisyonu Tahmini.....                                           | 73        |
| 21         | Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmini.....                                | 74        |
| 22         | CO2 Emisyonu & Bağımsız Değişken İlişkileri .....                                            | 77        |
| 23         | Küresel Sıcaklık Etkisi & Bağımsız Değişken İlişkileri .....                                 | 79        |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|                  |                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------|
| ABD              | : Amerika Birleşik Devletleri                      |
| BAU              | : Olağan Durum                                     |
| BM               | : Birleşik Milletler                               |
| CH <sub>4</sub>  | : Metan                                            |
| COP              | : Taraflar Konferansı                              |
| CO <sub>2</sub>  | : Karbondioksit                                    |
| ETS              | : Üçlü Üstel Yumuşatma                             |
| FAO              | : Gıda ve Tarım Örgütü                             |
| GHG              | : Sera Gazı                                        |
| GISS             | : Goddard Uzay Araştırmaları Enstitüsü             |
| GSYH             | : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla                       |
| IPCC             | : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli         |
| LR               | : Doğrusal Regresyon                               |
| MA               | : Hareketli Ortalama                               |
| MAPE             | : Ortalama Mutlak Yüzde Hatası                     |
| MLR              | : Çoklu Doğrusal Regresyon                         |
| NASA             | : Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi                 |
| N <sub>2</sub> O | : Nitröz Oksit                                     |
| <i>Ppb</i>       | : Milyarda Bir Parçacık Birimi                     |
| <i>Ppm</i>       | : Milyonda Bir Parçacık Birimi                     |
| SMAPE            | : Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hatası            |
| UNFCCC           | : Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı |

## GİRİŞ

21. yüzyılın en tartışmalı bilimsel meselelerinden birisi olan küresel sıcaklığın artışı, küresel toplum yapısına meydan okumaktadır. Artan küresel sıcaklık ve beraberinde getirdiği pek çok sorun günümüzün endişe kaynağıdır. Bu sorunlar, bilimsel çalışmanın ötesinde bir dünya problemi olarak ulusal ve uluslararası bağlamda tüm insanlığı ilgilendirmektedir. Söz konusu sorunların başlıca nedenleri arasında yer alan fosil yakıtların tüketimi, sanayileşme, nüfus artışı ve ormansızlaşma gibi etkenlerin sonucunda atmosferdeki Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi sera gazları oranının çok fazla yükselmesidir. Sanayi devriminden bu yana istikrarlı artış gösteren CO<sub>2</sub> emisyonu ve diğer tüm faktörler küresel sıcaklığı doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Son yarım milyon yıldır, atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunluğunu en yüksek düzeye çıkmış olduğunu gösteren kanıtlar vardır. Bilim insanlarına göre bu durum, yerkürenin en azından son bin yıldır herhangi bir zamanda olduğundan daha hızlı ısınmasına yol açmaktadır (Maslin, 2011: 9).

Tyndall (1861: 185)'in çeşitli gazların iklim değişikliğine sebep olabileceğini ifade etmesinden 170; Arrhenius (1896: 274)'un fosil yakıtların küresel sıcaklığı artırabileceğini ve CO<sub>2</sub> yoğunluğunun iki katına çıkması durumunda küresel sıcaklıktaki artışın 5-6 °C'yi bulabileceğini belirtmesinin üzerinden 150 yıldan fazla süre geçmiştir. Bilim insanlarının sorunun ciddiyetine dikkat çeken çalışmalarına rağmen, sanayi devrimi sonrasında insan etkinliklerinden kaynaklı atmosferde biriken CO<sub>2</sub>'nin yol açtığı küresel ısınma tehdidi ancak 1970'li yıllardan sonra gündem oluşturmuştur. Tüm bilimsel uyarılara rağmen tüketimde ve fosil yakıt üretiminde bir azalma olmamakla birlikte kömür, petrol ve gaz üretiminde her yıl artış gözlenmektedir. Bununla birlikte, teknolojik gelişmenin hızı insan yaşamını kolaylaştırıp ekonomiyi güçlendirirken, eş zamanlı olarak kara, hava ve denizlerin kirlenmesine ve geri dönülemez çevresel tahribatların oluşmasına neden olmaktadır. Doğal çevre, insan faaliyetleri sonucu bozulduğunda, bu dengenin telafisi imkânsız hale gelmektedir.

Canlı yaşamının devamında önemli ve sınırlı bir doğal kaynak olan çevrenin korunması için uluslararası düzeyde çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Çevrenin bozulmasını engellemek ve bunun için de uluslararası düzeyde farkındalık oluşturmak amacıyla sürdürülen bu faaliyetlerin sonucunda Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Paris İklim Anlaşması gibi uluslararası metinler ortaya çıkmıştır. Böylece, olumsuz etkileri azaltma, iklim değişikliğiyle mücadelede farkındalık yaratma ve dünyayı sarmış böylesine hayati bir sorun için geç de olsa küresel bağlamda çözüme yönelik ciddi adımlar atılmaya başlanmıştır. Pek çok uluslararası aktör zaten geri döndürülmesi oldukça zor bir duruma gelmiş sıcaklığın ve karbon salımının iyimser raporlar ile cüzi

miktarlarda düşürülmesine yönelik gerçeklikten uzak hedefler belirlemiştir. Ancak bilimsel araştırmalar sonucundaki projeksiyonlar pek iç açıcı sonuçlar sunmamaktadır. Zira Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) (2007: 15), raporuna göre sıcaklık artışının en az 2°C civarında tutulabilmesi için gelişmiş ülkelerin salımlarını 2050 yılına kadar %80-%95 oranında azaltması gerekmektedir. Raporda, antropojenik kaynaklı sera gazı salımları dursa dahi etkilerinin yüzyıllar boyunca süreceği belirtilmiştir.

Bugün Birleşmiş Milletler (BM)'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Avrupa Birliği (AB)'nin henüz yeni sayılabilecek Endüstri 5.0 gündemi ile çevreye duyarlı ve sürdürülebilir üretime yönelik girişimler bulunmaktadır. Ancak günümüzde dahi yapılan eylemlerden, küresel ısınmaya ve altında yatan nedenlere ilişkin toplumsal bilincin yeterince gelişmemiş olduğu görülmektedir (Başoğlu, 2013). Daha az enerji tüketimi, sürdürülebilirlik ve çevreye duyarlılık etiketiyle piyasaya yeni teknolojik ürünler sunulurken, eski ürünlerin geri dönüşümünden ve bu yeni ürünlerin yol açtığı üretim artışına bağlı CO<sub>2</sub> salımından söz edilmemektedir. Fosil yakıt ve endüstri kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunda dünya standartlarının üzerinde olan Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin, Birleşik Krallık ve Hindistan gibi yüksek emisyonu sahip ülkeler öncelikli olmak üzere tüm dünyaya büyük sorumluluklar düşmektedir (Apergis ve Payne, 2010: 654). Uluslararası gündeme uyumlu şekilde Türkiye de iklim ve çevre konusunu politika gündemine dahil etmiştir.

Türkiye'nin de taraf olduğu 2015 tarihli Paris İklim Anlaşması, ortalama küresel sıcaklığı 2°C derecenin altına düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda tarafların yerine getirmesi gereken oldukça zorlu ve ciddi sorumluluklar bulunmaktadır. Türkiye bu sorumlulukları yerine getirmek için ulusal politika gündeminde çevre standartlarına ve iklim değişimine yer vermektedir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023). Yasal düzenlemeler ve strateji belgeleri ile Paris İklim Anlaşması'nın hedeflerine ulaşmak için çalışmalar yürütmektedir. Bu aşamada stratejik hedeflere yönelik yapılan eylem planlarının makul ve uygulanabilir olması büyük önem arz etmektedir. Değişen koşullara göre politika gündeminde güncellemeler yapılarak hedeflere ulaşmak için stratejik planların tasarlanması gerekmektedir.

Türkiye'nin politika ve stratejilerinin başarılı olabilmesi için ısınma faktörlerini arttıran etkenlerin ve artış hızının bilinmesi gerekmektedir. Bu gereklilik nedeniyle bu tez, Türkiye'de CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisini incelemektedir. Bu tezin temel amacı CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olan değişkenlerin etkisini göstermek ve küresel sıcaklığa etkisine dair bir projeksiyon sunmaktır. Değişkenler olarak nüfus, gayri safi yurt içi hasıla (GSYH), CO<sub>2</sub> yoğunluğu, elektrik üretimi, fosil yakıt enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam sera gazı ve ormanlık alanlar kullanılmıştır. Bu değişkenlerin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisinin öngörmesi hedeflenmektedir. Öngörü oluşturmak için zaman serisi, çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Tez, bu hedef doğrultusunda belirlenen yöntem ve uygulanan

model bakımından literatürdeki bu konu ile ilgili diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Elde edilen bulgular sonucunda Türkiye'nin iklim değişikliği stratejilerine ve politikalarına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu tez dört bölüm olarak planlanmıştır. Birinci bölümde öncelikle küresel ısınma ve CO<sub>2</sub> emisyonuna ilişkin teorik çerçeve oluşturulmakta, ardından konuya ilişkin dünyada ve Türkiye'de yapılan çalışmalar ele alınmaktadır. Böylece konuya ilişkin kavramsal çerçeve ve teorik arka plan sunulmaktadır. İkinci bölümde Türkiye'de CO<sub>2</sub> emisyonuna ve sıcaklığa etki eden antropojenik değişkenler incelenmektedir. Değişkenler çevresel faktörler, enerji kullanımı ve tüketimi ile ekonomik ve demografik değişkenler olmak üzere üç alt sınıflandırma yapılarak ele alınmıştır. Nüfus, GSYH, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, elektrik üretimi, fosil yakıt enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam sera gazı ve ormanlık alanlar olmak üzere toplamda dokuz değişken kullanılmıştır. Üçüncü bölümde tezde kullanılacak ampirik uygulamaların literatür analizine yer verilmiştir. Bu bölümde tezde kullanılacak yöntemleri inceleyen teknik çalışmalar değerlendirilmektedir. Dördüncü bölüm ise tezin uygulamasından oluşmaktadır. Tezde yapılan analiz ayrıntılı bir şekilde sunulmakta ve dördüncü bölüm Türkiye'nin 2030 yılındaki CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisinin tahminlemesi ile tamamlanmaktadır. Elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak tartışılmaktadır. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular Türkiye'nin hedefleri çerçevesinde değerlendirilmiş ve politika önerileri sunulmuştur.

## BİRİNCİ BÖLÜM

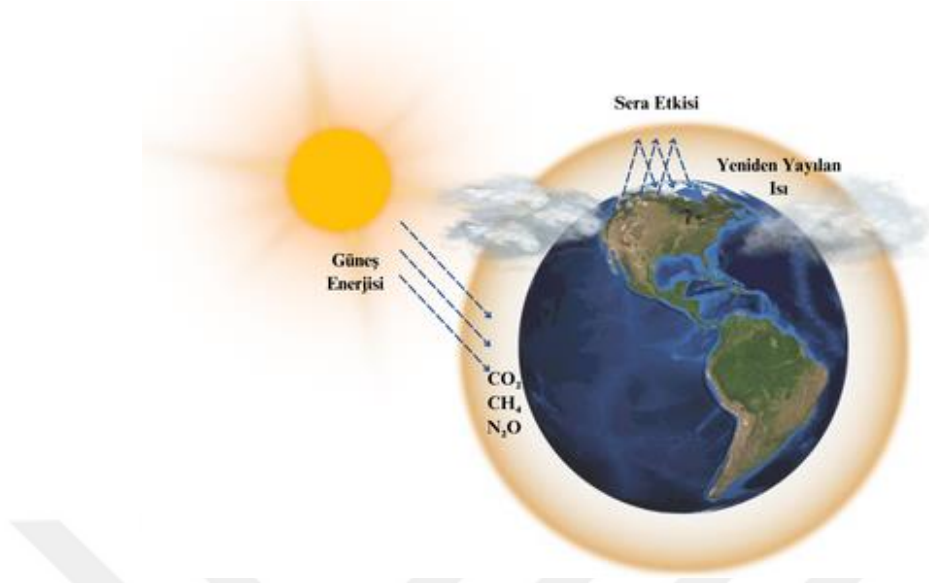
### 1. KÜRESEL ISINMA VE CO<sub>2</sub> EMİSYONU: TEORİK ÇERÇEVE

Küresel ısınma ve CO<sub>2</sub> emisyonunu konu edinen bir çalışma, öncelikle küresel ısınma kavramının sınırlarını çizerek etki faktörlerini açıklamalıdır. Yerkürenin ısınmasında rol oynayan tek ve sabit bir faktör olmaması, konunun dinamik yapısını ortaya çıkarmaktadır. Bu faktörlerin küresel ısınma ile ilişkileri eşit orantılara sahip değildir. Bu nedenle bu bölümde, öncelikle küresel ısınma sorununa ve bu sorunu yol açan her bir faktörün ilişkisinin ortaya konulması için öncelikle sorunun ortaya çıkış sebebi ve çözüm süreçleri ele alınmıştır.

#### 1.1. Küresel Isınma ve CO<sub>2</sub> Emisyonu

Yerkürenin sıcaklığı, Şekil 1’de gösterildiği gibi güneşten gelen enerji girdisi ve bu enerjinin yeniden uzayda kaybolması arasındaki denge ile belirlenmektedir. Bu sıcaklık dengesindeki kritik nokta sera gazlarıdır. Atmosferdeki bazı gazlara (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) sera gazı (*greenhouse gas – GHG*) adı verilmektedir. Güneşten yerküreye ulaşan enerji, kısa dalga ışıınımı formuna sahiptir. Diğer bir ifade ile görülebilir tayftadır ve morötesi ışıınımıdır ve yerküreye ulaşan güneş ışıınımının yaklaşık 3/1’i geri uzaya yansımaktadır. Geriye kalan 3/2’sinin küçük bir kısmı atmosfer, çoğu ise karalar ve okyanuslar tarafından soğurulmaktadır. Yerkürenin ısınması, uzun dalga “kızılötesi” ışıınımının yayılmasına sebep olur. Sera gazları bu uzun dalga ışıınımlarının bir kısmını tutar ve yeniden yayar. Bu durum atmosferin ısınmasına neden olur. Doğal sera gazları arasında yer alan su buharı, karbondioksit, metan, ozon ve diazot monoksit, bir araya gelerek doğal sera veya battaniye etkisi yaratır ve yerkürenin 35°C kadar ısınmasına yol açar. Gazların atmosferde karışık halde bulunarak yarattıkları battaniye etkisi, Şekil 1’de olduğu gibi dünyanın çevresindeki tek katman olarak gösterilmektedir (Maslin, 2011: 13-14). Yerküre sıcaklığının artışı küresel ısınma olarak adlandırılmıştır. Bununla birlikte küresel ısınma, dünyanın her yerinde sıcaklıkların arttığı anlamına gelmemektedir. Bir bölgede sıcaklık artışı görülürken farklı bir bölgede ise düşüş görülebilmektedir. Yerküre sıcaklığındaki değişimi vurgulayan küresel ısınma kavramının sonucunda ortaya çıkan etkiler ise iklim değişikliği kavramı ile nitelendirilmektedir.

Şekil 1: Sera Etkisi



Kaynak: White House, 2023

Sera gazları, insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan ve ağırlıklı olarak fosil yakıtların kullanımıyla atmosfere salınan gazlardır (Şimşek, 2020: 4). Atmosferdeki sera gazlarının miktarı, insan faaliyetleri sonucunda artması halinde yerkürenin sıcaklığında artışa neden olarak doğal dengenin değişmesine yol açabilmektedir (Houghton, 2005: 1346). Söz konusu sera etkisi ilk olarak 1827 yılında Fransız bilim insanı Jean-Baptiste Fourier tarafından tanıtılmıştır (Mudge, 2002: 245). İngiliz bilim insanı John Tyndall, 1860 yıllarında CO<sub>2</sub> ve su buharının kızılötesi radyasyonu emilimini ölçmüş ve buz çağlarının nedeninin CO<sub>2</sub>'nin sera etkisinin azalması olabileceğini öne sürmüştür. 1896 yılında sera gazlarının artan konsantrasyonun etkisini ilk kez hesaplayan İsveçli kimyager Svante Arrhenius, CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun iki katına çıkmasının küresel ortalama sıcaklığı 5-6°C artıracaklarını tahmin etmiştir (Houghton, 2005: 1346). Zaman içerisinde bilim insanlarının çağrıları ve doğada gözlemlenen sonuçlar ile sera gazı salımlarının önüne geçilmesi gerektiği üzerine konsensus oluşmuştur.

Sanayi Devrimi'nden bu yana yaşanan hızlı değişim süreci, artan nüfusun enerji, yiyecek vb. gibi daha pek çok taleplerini karşılamak amacıyla gerçekleştirilen üretimdeki artışlar sonucunda atmosfere salınan sera gazlarının miktarlarında önemli artışlar yaşanmıştır. İklim değişikliği açısından sera gazı miktarı, CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak *ppm* (milyonda bir parçacık birimi) cinsinden hesaplanır. CO<sub>2</sub>, atmosferdeki birikimini sanayi öncesi dönemde yaklaşık 280 *ppm*'den Mart 2020'de 414,46 *ppm*'e yükselmiştir. CH<sub>4</sub> birikimi, sanayi öncesi dönemde yaklaşık 715 *ppb* iken Temmuz 2020'de 1872 *ppb*'e (milyarda bir parçacık birimi) ulaşmıştır. Küresel atmosferik N<sub>2</sub>O birikimi ise sanayi öncesi dönemde yaklaşık 270 *ppb* seviyesindeyken, Temmuz 2020'de 333.1 *ppb*'e çıkmıştır. Bu seviyeler, küresel ısınmanın hızla büyüyen bir iklim krizine dönüşmesinde her

geçen gün daha fazla etki göstermektedir. Sera gazları atmosferde bir bütün halinde bulunsada kendi aralarındaki dağılımları değişiklik göstermektedir. Sera gazları içerisinde CO<sub>2</sub> %72, CH<sub>4</sub> %19, N<sub>2</sub>O %6 ve florlu gazlar ise %3 oranında bulunmaktadır (Baş, 2024).

Sera etkisine büyük oranda katkıda bulunan başlıca unsur CO<sub>2</sub>'dir (Houghton, 1990: 414). Sera gazı salımına neden olan faktörleri birbirlerinden kesin sınırlarla ayırmak mümkün değildir. Çünkü bu nedenlerden birinin değişmesi aynı anda diğerlerinin de değişmesine neden olabilmektedir. Buna rağmen sera gazı salımlarına neden olan faktörler esas olarak nüfus ve gelir artışı, teknolojik gelişmeler ve kentleşme şeklinde genel başlıklar altında toplanabilmektedir (Şimşek, 2020: 5). Buradan hareketle bu bölümde, atmosferdeki CO<sub>2</sub> salımı ve çeşitli parametrelerden kaynaklanan küresel sıcaklık etkisi ile ilgilenilmektedir.

#### **1.1.1. Fosil Yakıt Tüketimi ve Sera Gazı Emisyonları**

1990'lardan bu yana küresel ısınma ve iklim değişikliği tehdidi önemli bir endişe kaynağı olmuştur. Sera gazı emisyonları, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklandığından, enerji tüketimi ve üretimi iklim değişikliği tartışmalarının merkezinde yer almaktadır (Bölük ve Mert, 2014: 439). Ortak Araştırma Merkezi (*Joint Research Centre – EU-JRC*) raporunda (Olivier vd., 2012: 9), fosil yakıtların yanmasının toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %90'ını oluşturduğu ifade edilmiştir. Enerji tüketimi ile ekonomik kalkınma arasındaki ilişkide, ekonomik kalkınma ve çevre kirliliği son otuz yıldır yoğun bir şekilde araştırılmaktadır (Giovanis, 2013: 602; Huang vd., 2008: 239; Itkonen, 2012: 274).

Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yanma esnasında atmosfere salınan CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve diğer sera gazları, atmosferdeki sera etkisini ve dolayısıyla yerkürenin ısınıpısını artırır. Diğer bir ifade ile sera gazları, güneş ışınlarının atmosferde tutulmasına ve yeryüzündeki ısının çıkışını engelleyerek gezegen sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Maslin, 2011: 14). Küresel ısınma olarak adlandırılan iklim değişikliği, deniz seviyesinde yükselme, hava olayları gibi bir dizi olumsuz etkiye ve bunların sonucunda da ekolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve temiz enerji kaynaklarına yönelim, küresel ısınma ile mücadele kapsamında kritik bir rol oynamaktadır.

#### **1.1.2. Orman Tahribatı ve Karbon Döngüsü**

Ormanlar gıda, barınma ve diğer pek çok gereksinime kaynaklık etmektedir. Ormansızlaşma bu gereksinimlerin karşılanamamasının yanı sıra, çeşitli yerel ve çevresel etkilere de yol açmaktadır. Bu etkiler arasında toprak erozyonu, yağış rejimlerinin bozulması, toprağın su tutma kapasitesinin azalması, sel sıklığının ve şiddetinin artması, barajlarda çamur birikimi ve daha yüksek sıcaklıklar bulunmaktadır. Söz konusu etkiler, birçok yönden hayatta kalmak için doğrudan toprağa bağımlı

olan özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için büyük sorun oluşturmaktadır. Tüm bunların yanında ormansızlaşmanın küresel etkileri oldukça geniştir. Bunlar, türlerin yerine konamaz kaybını, potansiyel olarak verimli arazilerin azalarak canlıları destekleyecek kapasitesinden yoksun kalan araziye dönüşümünü, su döngüsünün, ısı dengesinin ve iklimlerin değişmesi ile atmosfere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve karbonmonoksit (CO) gibi kimyasal veya diğer gazların salımını içerir (Houghton, 1990: 414).

Atmosferdeki karbonun büyük bir bölümünü absorbe eden ve depolayan ormanların, insan faaliyetleri nedeniyle gerçekleşen tahribatı sonucunda, karbon depolarının serbest bırakılmasına ve atmosfere salınmasına neden olmaktadır (Şimşek, 2020: 22). Bu durum, sera gazlarının, özellikle CO<sub>2</sub>'nin, atmosferde birikimini artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Ormansızlaşma ile kaybolan biyolojik çeşitlilik ve bozulan ekosistem dengesi, iklim sistemlerinde daha fazla belirsizlik ve istikrarsızlık yaratmaktadır (Başoğlu, 2013; Maslin, 2011: 22). Orman tahribatının azaltılması ve sürdürülebilir ormancılık uygulamalarının teşvik edilmesi, karbon döngüsünün korunmasında kritik bir rol oynayarak küresel ısınma ile mücadelede önemli bir strateji olarak görülmektedir.

### **1.1.3. Endüstriyel Süreçler ve İklim Değişikliği**

Küresel ısınma olgusunda ortak görüşlerden biri, Sanayi Devrimi'nin başlangıcından bu yana atmosferdeki karbon düzeyinin sürekli yükseliş gösterdiği yönündedir. Yapılan gözlemlere göre, atmosferdeki CO<sub>2</sub> düzeyi, Sanayi Devrimi öncesine göre yaklaşık olarak %50 oranında artış göstermiştir (Maslin, 2011: 18-20; Global Carbon Atlas, 2023). Sanayileşmenin sera gazı emisyonu için etkisi iki yönde ele alınmaktadır. Bunlar; (1) yoğun olarak kullanılan fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu ve (2) artan üretim sonucunda ortaya çıkan atıklardan kaynaklanan emisyonlardır. Sanayi Devrimi, gelişen endüstrileşme ve teknolojik gelişmeler ve bunlarla birlikte gelen tüketim kapitalizmi günümüzde makroekonomi politikalarını şekillendirmektedir. Artan refah, zaman ve maliyet tasarrufu, finansal çıkarlar uğruna ülkeler çevreye duyarlı sanayileşmeyi ve doğayı tahrip etmeyi tercih etmişlerdir (Şimşek, 2020: 12).

Enerji üretimi, taşımacılık ve üretim sektörleri, fosil yakıt kullanımıyla birlikte atmosfere büyük miktarda CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve diğer sera gazların salımına neden olmaktadır. Bununla birlikte, endüstriyel süreçlerdeki enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlara dayanmaktadır. Bu durum enerji üretimindeki karbon salımını oldukça yüksek oranlara taşımaktadır. Yalnızca enerji sektörünü etkilemeyen bu olay, endüstriyel üretim ve taşımacılık gibi sektörlerin de iklim değişikliğine etkilediği anlamına gelmektedir (Dong vd., 2014: 277). Bu sebeple, endüstriyel faaliyetlerin sürdürülebilirlik ve karbon azaltma hedeflerine odaklanması, küresel ısınma ile mücadelede önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır.

## 1.2. Dünyada Küresel Isınma

Dünyada fosil yakıt tüketiminin artması, yeşil alanların yok edilmesi, ormansızlaşma ve diğer olumsuz insan faaliyetlerinde meydana gelen artış, sera gazı emisyonlarının artışı ile sonuçlanmaktadır. Artan sera gazları yerkürenin ısınarak buzulların ve kalıcı karların erimesine, deniz suyunun yükselmesine, ekstrem hava ve ısı olaylarının meydana gelmesine, düzensiz yağışlar sonucunda sel felaketlerinin ortaya çıkmasına ve kuraklığa neden olmaktadır. Ekosistemlerde meydana gelen değişim aynı zamanda çevre ve hava kirliliğine yol açmakta ve tüm canlı yaşamı üzerinde büyük olumsuz etkiler yaratmaktadır (Şimşek, 2020: 47-48). Söz konusu sera gazı salımlarının yol açtığı iklim değişikliği ve beraberinde getirdiği pek çok problemin önüne geçilebilmesi için BM, “*gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğini tehlikeye düşürmeden, şimdiki kuşağın ihtiyaçlarını karşılamasını sağlayacak kalkınma*” olarak tanımladığı Sürdürülebilir Kalkınma gündemini inşa etmiştir (UN, 1987). Küresel boyuttaki çevre sorunları, bu sorunlarla mücadele ve sürdürülebilirlik arasındaki bağları güçlendirmek amacıyla BM Çevre ve Kalkınma Konferansı (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) düzenlenmiştir (UNFCCC, 1992). Aynı yıl, Birleşik Devletler Ulusal Bilimler Akademisi (*National Academy of Sciences – NAS*) tarafından, tüm belirsizliklere karşın sera etkisinin potansiyel bir tehdit olduğunu belirten bir rapor yayımlanmıştır (Başoğlu, 2013). İklim değişikliğine sebep olan sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve belirli bir seviyede tutulması amacıyla düzenlenen konferanslardan biri de 1997 tarihli Taraflar Konferansı’dır (*Conference of the Parties – COP3*). Konferans sonunda kabul edilen Kyoto Protokolü ancak 1998 yılında imzaya açılmıştır. Bu Protokolün yürürlüğe girmesi için en az 55 ülkenin onayının gerekmesi nedeniyle Protokol ancak 2005 yılında yürürlüğe girmiştir (UNFCCC, 1998).

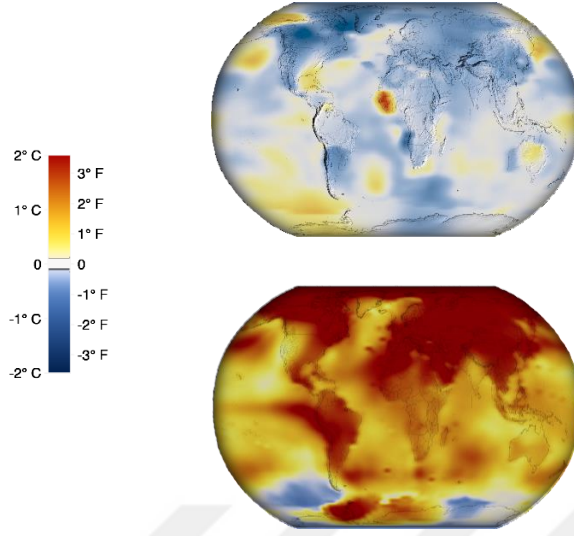
Daha önce yapılan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, sanayileşmiş ülkelere sera gazlarını azaltmaları yönünde bağlayıcı olmayan yükümlülükler vermiş olmasına rağmen, Kyoto Protokolü bu konuda bağlayıcı yükümlülükler getirmiştir. Bu protokol ile sanayileşmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütleri daha katı hale getirilerek, bunun belirli dönemler içerisinde gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. Protokolün belirlediği ilk zaman dilimi 2008-2012 yıllarını kapsamıştır (Ulueren, 2001: 3). Kyoto Protokolü’nde sera gazı emisyonlarının azaltılması için, sera gazı salımlarının %5’e çekilmesi, tüm taraf ülkelerin bütün sektörlerdeki fosil yakıt kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarını azaltması, enerji verimliliği ile yenilenebilir enerji üretim hacminin artırılması, atık yönetiminin belirli standartlara bağlanması ve vergilerin karbon emisyonuna bağlı olarak belirlenmesi gibi önlemler alınmıştır (Aydın, 2014: 430).

Fosil yakıt kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve enerjinin verimli kullanımı başta olmak üzere Kyoto Protokolü’nün yükümlülükleri yüksek maliyetli teknoloji ve altyapı gerektirmektedir. Bu maliyetlerin GSYH’yi azaltacağı, büyüme ve kalkınma hızını düşüreceği gibi kaygılar ortaya çıkarması, ülkelerin sera gazı salımlarını azaltma yüzeysel

girişimlerde bulunmasına yol açmıştır. Bunun üzerine 12 Aralık 2015 tarihinde Paris İklim Anlaşması imzalanmış ve 4 Kasım 2016'dan itibaren yürürlüğe girmiştir. Bu Anlaşma içerik itibarıyla ulusal ve uluslararası ölçekte ekonomiler, toplumlar ve çevre için radikal bir değişim gerektiren düzenlemeler içermektedir (Karakaya, 2016: 3). Bu anlaşmanın 2. Maddesinin 2 Bendinde geçen “tüm ülkelerin ortak ancak farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesini yansıtacak şekilde uygulanacaktır” ibaresi ile tüm ülkeleri kapsayacak bir sistem tasarlanmıştır (Şimşek, 2020: 57). Temel amacı aynı olsa da Paris İklim Anlaşması, Sanayi Devrimi öncesi seviyelere göre küresel ortalama sıcaklık artışını 2°C derecenin altında tutmak ve mümkünse 1.5 °C altına çekmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla, ülkelerin belirleyecekleri ulusal katkıları (*Nationally Determined Contributions – NDCs*) üzerinden emisyon azaltma taahhütlerinde bulunmalarını ve düzenli olarak bu taahhütlerini gözden geçirmelerini istemektedir. Ayrıca finansman, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme gibi konularda gelişmekte olan ülkelere destek sağlanması amacıyla küresel bir dayanışmaya yönelik çerçeve de oluşturulmuştur.

Tüm bu faaliyetlere rağmen küresel ısınmaya ilişkin tablolar iç açıcı görünmemektedir. Şekil 2, 1880 ve 2023 yılındaki Küresel Sıcaklık Anomalilerini göstermektedir. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*)’nin yaptığı analize göre, 2023 yılında Dünya’nın ortalama yüzey sıcaklığı, bu tarihe kadar kaydedilen en yüksek sıcaklık olmuştur. NASA’nın Uzay Araştırmaları Enstitüsü (*Goddard Institute for Space Studies – GISS*)’nden, bilim insanları, 2023 yılında küresel sıcaklıkların 1951-1980 yılları ortalamasının yaklaşık 1,1°C (2 °F) üzerinde olduğunu bildirmiştir (GISS, 2024). 2023 yılında dünya çapındaki yüz milyonlarca insan aşırı sıcaklarla karşılaşmış ve söz konusu yılda Haziran ayından Aralık ayına kadar her ay, ilgili ay için küresel bir rekor kırmıştır. 2023 yılı Temmuz ayı, şimdiye kadar en sıcak ay olarak kaydedilmiştir. Genel olarak dünya, 2023 yılında modern kayıt tutmanın başladığı 19. yüzyılın sonlarındaki ortalamadan yaklaşık  $\pm 1,36$  °C (2,45 °F) derece daha sıcak geçmiştir (NASA, 2024).

Şekil 2: Dünya Sıcaklık Göstergesi (1980-2023)



Kaynak: NASA, 2024

Bu durumu NASA, GISS direktörü Gavin Schmidt bu durumu şu şekilde ifade etmiştir (NASA, 2024): “Yaşadığımız olağanüstü ısınma, tür olarak daha önce gördüğümüz bir şey değil. Bu öncelikle fosil yakıt emisyonlarımızdan kaynaklanıyor ve etkilerini sıcak hava dalgaları, yoğun yağışlar ve kıyı taşkınlarında görüyoruz.”

Bilim insanlarının yerkürenin uzun vadeli ısınma eğiliminin insan faaliyetlerinden kaynaklandığına dair kesin kanıtları da mevcuttur. Buna rağmen aerosoller, kirlilik, volkanik patlamalar gibi iklimi etkileyebilecek olaylar hala incelenmektedir (NASA, 2024).

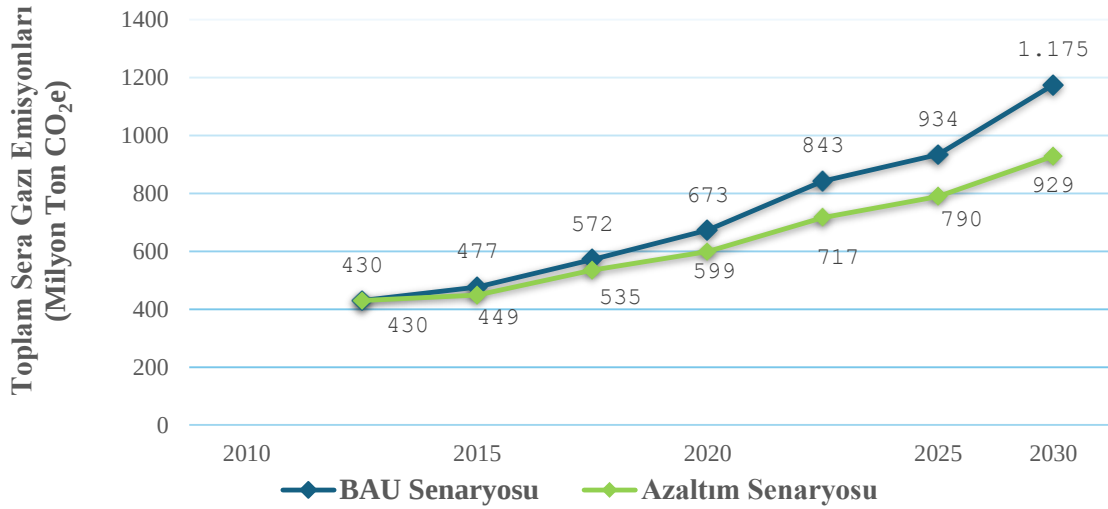
### 1.3. Bir Antropojenik Tehlike: Türkiye’de Küresel Isınma

Türkiye’nin Küresel Isınma ve İklim Değişikliği rejimindeki konumu, 1992 yılında gerçekleştirilen Rio Toplantısı’ndan bu yana oldukça sancılıdır. Rio Toplantısı’nda kabul edilen UNFCCC (1992)’e, göre Türkiye, sera gazı azaltımı yükümlülüğü alması gereken ülkeleri belirleyen Ek-I listesine dahil edilmiştir. Ayrıca, Türkiye, OECD üyesi olması nedeniyle, finansal, teknolojik ve kapasite geliştirme desteği sağlamak amacıyla Ek-II listesinde de yer almıştır. Ancak, ilerleyen yıllarda Türkiye’nin bu konumlandırmaya itiraz etmesiyle, 2001 yılında Ek-II gelişmiş ülkeler listesinden çıkarılmıştır. Bununla birlikte, özel koşulları tanınan bir ülke olarak Ek-I ülkeleri listesinde kalmış ve bu durum, Türkiye’nin iklim değişikliği ile mücadelede ulusal düzeyde geri kalmasına, esneklik mekanizmalarından yeterince faydalanamamasına ve ciddi bir farkındalık oluşturamamasına neden olmuştur (Karakaya, 2016: 5).

Durban Platformu çerçevesinde, 2020 yılı sonrası için ulusal azaltım katkıları belirlenirken, ekler listesine referans verilmeden, tüm ülkelere bu konuda taahhütlerini sunmaları istenmiştir (Bodansky, 2012; Karakaya, 2016: 5-6). Bunun üzerine ulusal azaltım hedeflerini belirleme sürecine

daha geniş bir perspektiften katılım gösterme fırsatı bulan Türkiye, UNFCCC'nin 2. Maddesi'nde belirtilen nihai hedefe ulaşma amacıyla, Ulusal Belirlenmiş Katkılarını (INDC, 2015) beyan etmiştir. Türkiye, bu beyanda, Grafik 1'de gösterildiği gibi, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını olağan seyir (*Business as usual* – BAU) referans senaryosundan %21 daha az artırmayı hedeflediğini belirtmiştir. Türkiye ayrıca, INDC (2015), kapsamında özellikle enerji sektöründe yenilenebilir enerji kullanımı ve nükleer enerjiye geçiş konusunda belirlediği hedefleri vurgulamıştır. Ayrıca sanayide, ulaşımda ve kentleşmede gerçekleştireceği düşük karbonlu yatırımlar aracılığıyla enerji verimliliğini artırarak, sera gazı emisyonlarını azaltmayı taahhüt etmiştir.

**Grafik 1: Türkiye BAU Senaryosu ve Azaltım Hedefi**



**Kaynak:** INDC, 2015

2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin temelini oluşturan Paris İklim Anlaşması, küresel olarak tüm ülkelerin sera gazı emisyon azaltım taahhütlerini içermektedir. Anlaşma, 5 Ekim 2016'da küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın onaylamasıyla yürürlüğe girmiştir. İnsan kaynaklı sera gazı salımlarını sınırlayarak küresel sıcaklık artışını 2 °C derecenin altında tutmayı hedefleyen Paris İklim Anlaşması, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin farklı sorumluluklar ve kabiliyetler çerçevesinde emisyon azaltımına katkıda bulunmasını öngörmektedir. Anlaşma, ulusal katkı beyanları, azaltım, uyum, finansman, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme gibi konularda bir çerçeve oluşturmaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023).

Paris İklim Anlaşması'nı 22 Nisan 2016'da imzalayan Türkiye, buna uygun olarak Ulusal Beyanı'nı ilan etmiştir. Anlaşma, 7 Ekim 2021'de Cumhurbaşkanı Kararı ile onaylanmış, iç hukuk süreci tamamlanarak 11 Ekim 2021'de BM Sekreteryası'na tevdi edilmiştir. Ayrıca, Cumhurbaşkanı tarafından 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi ilan edilmiştir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023). Paris

İklim Anlaşması'nın uygulanmasına yönelik çalışma programı, (UNFCCC, 2021), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Toplantısı (*Conference of the Parties of the UNFCCC – COP*) COP 26'da tamamlanmıştır. UNFCCC (2022), COP 27'de Çevre Bakanı, 2030 yılına kadar olan emisyon azaltım hedefini %41'e yükselterek, 2038 yılında emisyon tepe noktasına ulaşmayı planladıklarını açıklamıştır.



## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. TÜRKİYE’DE KÜRESEL ISINMANIN ANTROPOJENİK DEĞİŞKENLERİ

CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olan çeşitli sosyoekonomik ve teknolojik faktörler bulunmaktadır. Ancak CO<sub>2</sub> emisyonlarının itici güçleri, bölgenin gelişmişlik düzeyi, ekonomik yapısı ve enerji sistemleri gibi belirleyici unsurlara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Hosseini vd., 2019: 625). Literatürdeki CO<sub>2</sub> emisyonlarının itici güçleri ele alınarak bu tezin değişkenleri belirlenmiştir. Buna göre bu tezin bağımsız değişkenleri Türkiye’deki; “*nüfus, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, kişi başına düşen GSYH, elektrik üretiminde fosil yakıtların payı, yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına enerji kullanımını toplam sera gazı ve ormanlık alan*”, bağımlı değişkenleri ise “*CO<sub>2</sub> emisyonu*” ve “*küresel sıcaklık*” olarak belirlenmiştir. Bu bölüm, belirlenen değişkenlerin CO<sub>2</sub> ve küresel sıcaklık ile ilişkilerinin teorik çerçevesini oluşturmaktadır. Her değişken ayrı bir başlıkta ele alınmakta ve her bir değişken için Türkiye değerlerine yer verilmektedir.

#### 2.1. Çevresel Değişkenler

Bu bölümde küresel sıcaklığın artışına neden olan CO<sub>2</sub> emisyonunun etki çevresel etki faktörleri incelenecektir.

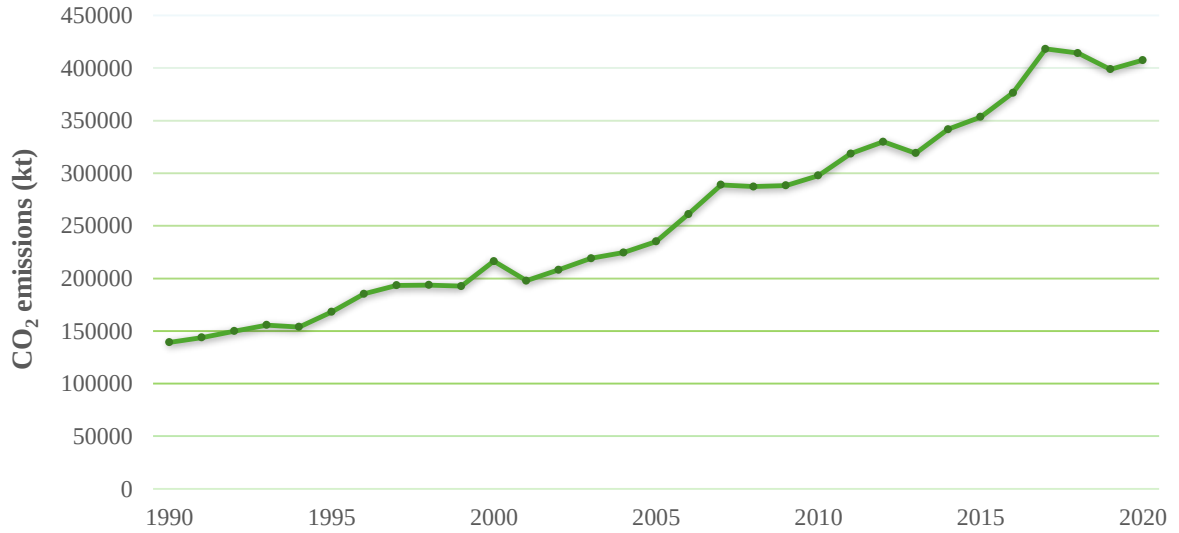
##### 2.1.1. CO<sub>2</sub> Emisyonu (kt)

Karbon ve oksijen atomlarının bileşimi olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), atmosferde bulunan doğal bir bileşendir. Ancak insan kaynaklı faaliyetler (fosil yakıtların yanması, endüstriyel faaliyetler, ormansızlaşma vb.) atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonu ise CO<sub>2</sub> sera gazının atmosfere salımını ifade etmektedir. Bu gaz, insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. CO<sub>2</sub> atmosferde birikmesi sera etkisinin oluşmasına neden olmaktadır. Bir diğer ifade ile güneşten gelen ışınları tutar ve yeryüzüne geri yansıtır. Bu durum küresel sıcaklığın artışına neden olmaktadır. Bu olgu günümüz koşullarının en büyük sorunu olan küresel ısınma olarak ifade edilmektedir (Yoro ve Daramola, 2020: 9).

CO<sub>2</sub> emisyonu artışına neden olan başta fosil yakıtların kullanımı ve bu kaynaklardan enerji üretimidir. Isınmadan, ulaşımına pek çok ürün veya hizmetin ana kaynağı olan fosil yakıt kullanımının en temel sebebi maddi kazanç sağlamaktır (Başoğlu, 2013). Çoğu durumda, bu eylemlerin ekonomik büyümeye üzerinde küçük bir etkisi bulunsa da enerji tüketiminde ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında büyük bir

etkiye neden olmaktadır (Kais ve Sami, 2016: 1107). ABD'nin Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2021) raporuna göre, CO<sub>2</sub> değeri her yıl 2 ppm'in üzerinde artış göstermektedir ve 1880 yılında yaklaşık 291 ppm olan CO<sub>2</sub> değeri, 2021 yılında %44 artarak 418 ppm'e ulaşmıştır. Küresel Karbon Bütçesi'nde (*Global Carbon Budget* 2023) yayımlanan rapordaki verilere göre dünya çapında fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu 2023'te en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Buna ilaveten hızlı sanayileşen ve yüksek enerji tüketimine sahip gelişmekte olan ülkelerin CO<sub>2</sub> emisyonu 1990 yılından itibaren üç kat artış göstermiştir. Türkiye ise küresel CO<sub>2</sub> emisyonu sıralamasında ülkeler arasında 1970 yılında 34. sırada yer alırken, 2021 yılında 13. sıraya gelmiştir (Global Carbon Atlas, 2023).

**Grafik 2: Türkiye CO<sub>2</sub> Emisyonu (1990-2020)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

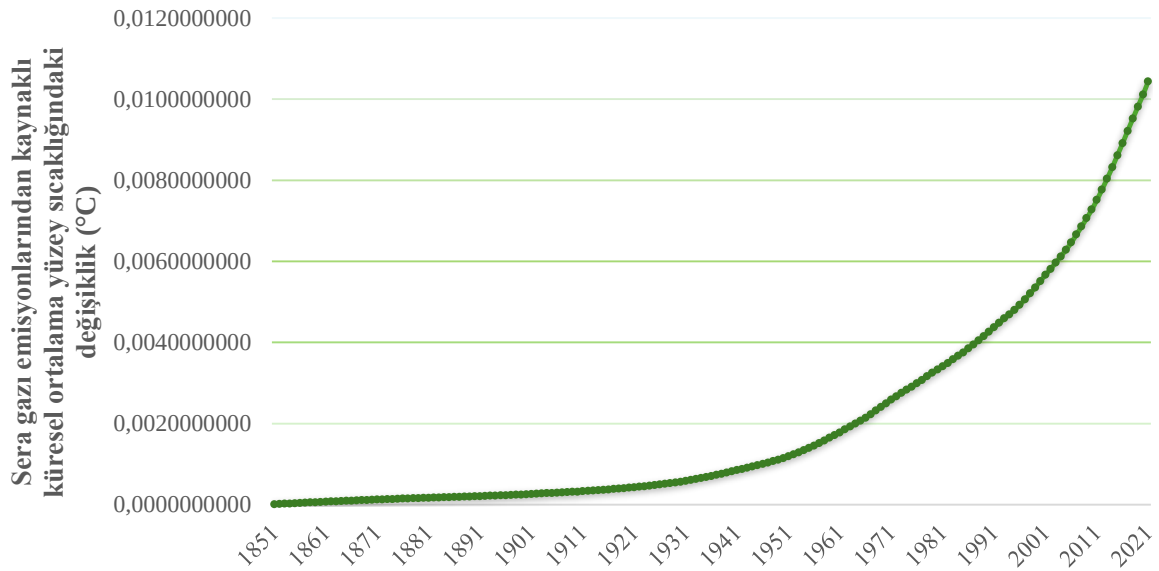
Türkiye'nin 1990-2020 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyonunu gösteren Grafik 2'de, Türkiye'nin CO<sub>2</sub> salımının sürekli olarak artma eğiliminde olduğu ve dolayısıyla, azaltma yönündeki eğilimlerde istikrarlı bir eylemin gerçekleşmediği görülmektedir.

### 2.1.2. Sıcaklık Etkisi (°C)

Küresel ısınma, özellikle fosil yakıtların yanması ve büyük ölçekli orman kesimleri gibi insan kaynaklı faaliyetlerin iklim üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Bu etkenler, atmosfere büyük miktarda sera gazı emisyonu salımına neden olmaktadır. Bu gazların en önemlisi CO<sub>2</sub>'dir. CO<sub>2</sub> ve diğer gazların salımı yeryüzünde yayılan kızılötesi radyasyonu emerek, yüzeyin normalden daha sıcak olmasına yol açmaktadır. Yüzeyin ısınması, iklim rejimlerindeki değişiklikleri de beraberinde getirmektedir (Houghton, 2005: 1346). Küresel sıcaklığın artmasında birbiriyle ilişkili birçok neden

etkili olmaktadır. Bunlar arasında sera gazlarının atmosfere etkisi, ormanlık alanların kesilmesi, artan nüfus ve endüstriyel süreçler gibi insan kaynaklı çok sayıda faaliyet bulunmaktadır. Küresel ısınmanın tek bir nedeni olmadığı gibi tek bir sonucu da bulunmamaktadır. Küresel ısınma dünya üzerinde bir dizi radikal ve geri döndürülemez değişikliğe yol açmaktadır. Bunlardan en belirginini sıcaklığın artmasının neden olduğu iklim değişikliğidir. İklim değişikliğinin en büyük sonucu, sıcak bölgelerde görülen daha soğuk, soğuk bölgelerde görülen daha sıcak hava olaylarının ekosistemlere verdiği tahribattır. Sıcaklığın artmasının sebep olduğu buzulların erimesi, deniz seviyesinde yükselmelere yol açmaktadır. Bu durum özellikle kıyı bölgelerde sel ve erozyon riskine neden olmaktadır. Hava olaylarındaki dengesizlikler tarımı olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bunun sonucunda ise gıda ve su kıtlığı görülebilmektedir. Diğer taraftan, iklimlerdeki değişimler insanlar arasındaki salgın hastalıkların yayılımında önemli bir rol oynamaktadır (Jones ve Wigley, 1990: 84; Kessel, 2000: 158; Khilyuk, 2003: 357-359; Venkataramanan, 2011: 228).

**Grafik 3: Türkiye’deki Sera Gazı Emisyonlarından Kaynaklı Yüzey Sıcaklığındaki Değişiklik (1851-2021)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

Küresel ısınmanın etkileri çok yönlü ve karmaşıktır. Bunlar sadece yerel düzeyde değil, aynı zamanda dünya genelinde de çeşitli olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu nedenle küresel ısınmanın önüne geçilebilmesi için uluslararası bir yönetim süreci inşa edilmektedir. Dünya genelinde küresel sıcaklık hızla artış göstermektedir. Bu artışta ülkelerin rolü oldukça önemlidir. Küresel bağlamda incelendiğinde ABD ve Çin’in fosil kaynak kullanımı ile yüzey sıcaklığı artışına etkisi oldukça fazladır. Türkiye için de benzer bir sorun söz konusu olmaktadır. Grafik 3, Türkiye’nin 1851-2021 yılları arasındaki fosil kaynak kullanımına bağlı küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışına katkı oranlarını ifade etmektedir (Our World in Data, 2021). Grafik 3’te görüldüğü gibi, 1940’lardan itibaren Türkiye’nin yüzey sıcaklığındaki değişiklik hızlı bir artış trendine girmiştir.

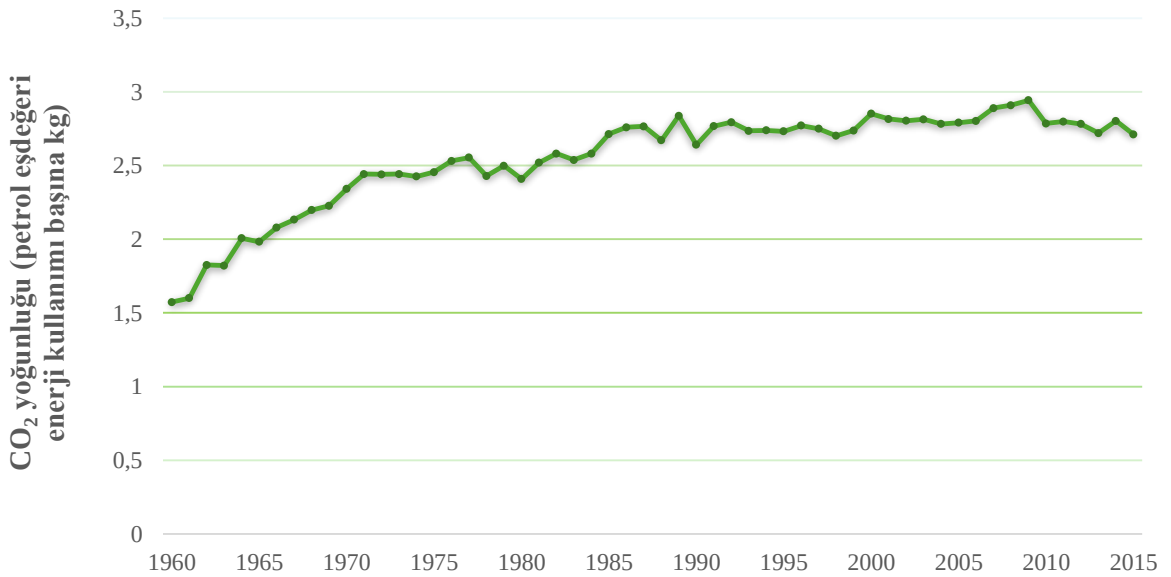
### 2.1.3. CO<sub>2</sub> Yoğunluğu (kg başına petrol eşdeğeri enerji)

Katı yakıt tüketiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonları, kömür gibi katı yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda CO<sub>2</sub> yoğunluğu, enerji üretimi sırasında bir birim enerji kullanımı sonucunda ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarının oranı veya birim enerji başına düşen CO<sub>2</sub> miktarını ifade etmektedir. Emisyon yoğunlukları farklı yakıtların veya faaliyetlerin çevresel etkilerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub> yoğunluğu ve emisyon faktörü genellikle birbirinin yerine kullanılmaktadır (The World Bank, 2023).

Fosil yakıtların yanması ve çimento üretimi, enerji üretimi ve kullanımının yan ürünü olan CO<sub>2</sub> emisyonları küresel ısınmaya yol açmaktadır. Farklı fosil yakıtları, enerji üretimi sırasında aynı miktarda CO<sub>2</sub> salımına neden olmamaktadır. Petrol, doğal gazla kıyasla %50 daha fazla CO<sub>2</sub> salımına neden olurken, kömür iki kat daha fazla CO<sub>2</sub> salımı ortaya çıkarmaktadır (The World Bank, 2023).

Teknolojideki ilerlemenin CO<sub>2</sub> emisyon miktarı üzerinde önemli etkisi olduğu ifade edilmektedir (Hosseini vd., 2019: 620). Gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlarda, enerji altyapısının geliştirilmesi de daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonları sağlamıştır (Liou ve Wu, 2011: 12386). Literatürde enerji yoğunluğu, CO<sub>2</sub> emisyon oranını doğrudan etkileyen teknolojik ilerlemenin bir ölçüsü olarak önerilmiştir. Bu nedenle düşük enerji etkinliğinin görüldüğü toplumlara, CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmak için yüksek enerji verimliliği ve yenilikçi enerji sistemlerine geçiş önerilmektedir (Donglan vd., 2010: 3381; Liou ve Wu, 2011: 12380; Yue vd., 2013: 1019).

**Grafik 4: Türkiye CO<sub>2</sub> Yoğunluğu (1960-2015)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

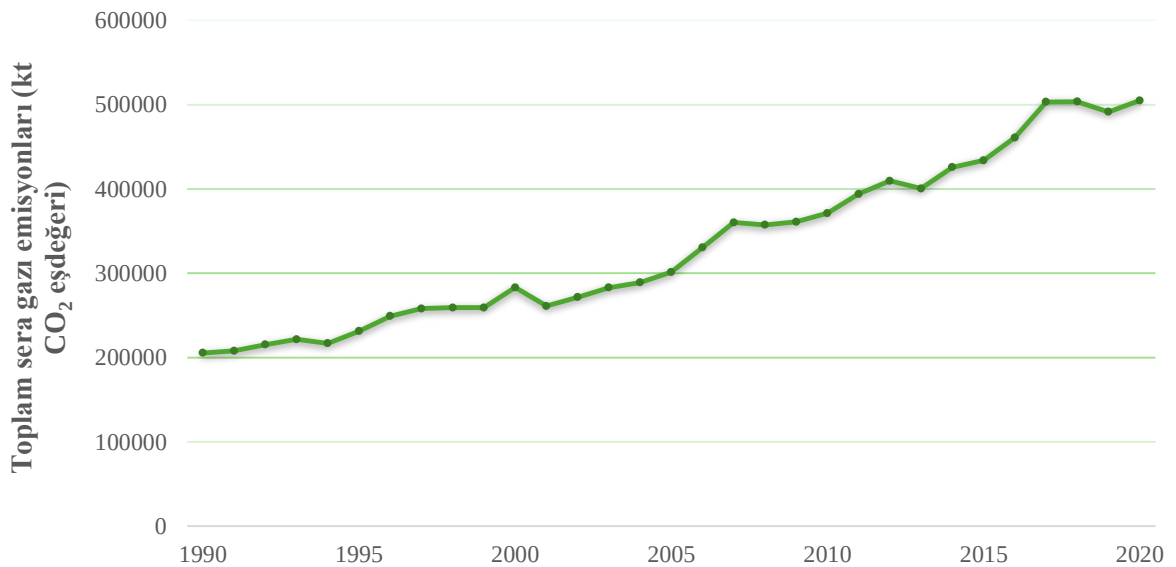
Grafik 4, Türkiye'nin 1960-2015 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> yoğunluğunun eğilimini göstermektedir. Bu eğilime göre Türkiye, 1960'tan 1970'lere kadar yükselen CO<sub>2</sub> yoğunluğunu sabit tutmak için çaba gösterse de bu eğilim küçük oranlar ile yukarı yönlü bir seyir izlemektedir.

#### 2.1.4. Toplam Sera Gazı (kt CO<sub>2</sub> eşdeğeri)

Küresel ısınmada başat rol oynayan CO<sub>2</sub> emisyonudur. Ancak CO<sub>2</sub> haricinde de pek çok sera gazı türü bulunmaktadır. Sera gazı emisyonları (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve F gazları) farklı kaynaklardan salınmakta ve bu tür emisyonlar kaynaklarına göre modellenmektedir (Nong vd., 2021: 2). Literatürde CO<sub>2</sub> olmayan sera gazı azaltımına ve iklim etkisine yönelik kapsamlı bir değerlendirme bulunmamaktadır. Bunun sebebi farklı sektörlerden yayılan farklı gazlar için çok sayıda olasılığın ve parametrenin bulunmasıdır (Ou vd., 2021: 2). Toplam sera gazı emisyonları, kısa döngülü biyokütle yanmaları (tarımsal atık yakma ve savana yakma) hariç, diğer biyokütle yanmaları (orman yangınları, sonrasındaki çürüme, turba yangınları ve drenajlı turba arazilerinin çürümesi), tüm antropojenik CH<sub>4</sub> kaynakları, N<sub>2</sub>O kaynakları ve F-gazları (HFC'ler, PFC'ler ve SF<sub>6</sub>) içermektedir (The World Bank, 2023).

Yoro ve Daramola (2020: 5), diğer sera gazı emisyon kaynaklarının (petrol, doğal gaz vb.) CO<sub>2</sub> emisyonuna kıyasla daha az olsa da atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun artmasına katkıda bulunduğunu belirtmektedir. Nong vd. (2021: 2), iklim değişikliğine yönelik politikalarda yalnızca CO<sub>2</sub> emisyonunun dikkate alınmasının ve CO<sub>2</sub> dışı sera gazı emisyonlarının göz ardı edilmesinin, belirli ekonomiler için önemli ölçüde yanıltıcı sonuçlara ve etkilere yol açabileceğini ifade etmiştir.

Grafik 5: Türkiye Toplam Sera Gazı Emisyonları (1990-2020)



Kaynak: The World Bank, 2023

Grafik 5, 1990-2020 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyonlarının eğilimini göstermektedir. Grafik 5'e göre, sera gazı emisyonları CO<sub>2</sub> emisyonu ile paralel bir artış göstermektedir. Bununla birlikte, sera gazı emisyonları Türkiye'deki tüm diğer etken faktörlerden kaynaklı bir yükseliş eğilimindedir.

### 2.1.5. Ormanlık Alan (km<sup>2</sup>)

Ormanlar, çevreden gelen karbondioksiti absorbe ederek azaltmaya yardımcı olan karbon yutucu bir özelliğe sahiptir. Buna karşın, ormanlar çeşitli şekillerde CO<sub>2</sub> emisyonunun artışına da sebep olabilmektedir. Bu durumun başlıca sebebi orman yangınları sonucunda CO<sub>2</sub>'nin ortaya çıkmasıdır. Yangınların olmaması halinde, ormanlar karbon kaynağı olmaktan çıkarak, tamamen karbon yutucu nitelikte olacaktır. Ancak dünyada artan ormansızlaşma, CO<sub>2</sub> emisyonu artışının temel nedenlerinden biridir (Baccini vd., 2012: 182; Solomon vd., 2007: 24). Waheed vd. (2018: 4233), ormansızlaşmanın yılda yaklaşık 5800 milyon ton karbondioksitten (MtCO<sub>2</sub>/yıl) sorumlu olduğunu ifade etmiştir.

Stern (2008: 11) yaptığı çalışmada, ormansızlaşmayla mücadelenin; su havzalarının korunmasında, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir kılınmasında ve yerel geçim kaynaklarının desteklenmesinde etkin olabileceğini ve ormansızlaşma faaliyetlerinin kontrol altına alınmasının veya durdurulmasının CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmanın en ucuz yollarından biri olduğunu ifade etmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması ve dolayısıyla küresel iklim koşullarının korunmasında orman verimli bir araçtır. İçerisinde yaşayan pek çok canlı türünün korunması ve mevcut ekosistemin daha fazla bozulmaması ve canlandırılması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir (Waheed vd., 2018: 4232).

BM Gıda ve Tarım Örgütü (*Food and Agriculture Organization – FAO*)'nın 2020 yılı raporuna göre, dünyadaki orman alanları her gün azalmaktadır (FAO, 2020: 18). Ormansızlaşmanın önüne geçilmesi için BM Çerçeve Sözleşmesi, finansman desteğinde bulunmaktadır. Buna rağmen hem ulusal hem de uluslararası düzeydeki sermaye eksikliğinden kaynaklanan orman yangınlarıyla mücadele eksikliği, henüz çözülememiştir. Aşağıda yer alan tablo bu sorunun Türkiye örneğini sunmaktadır.

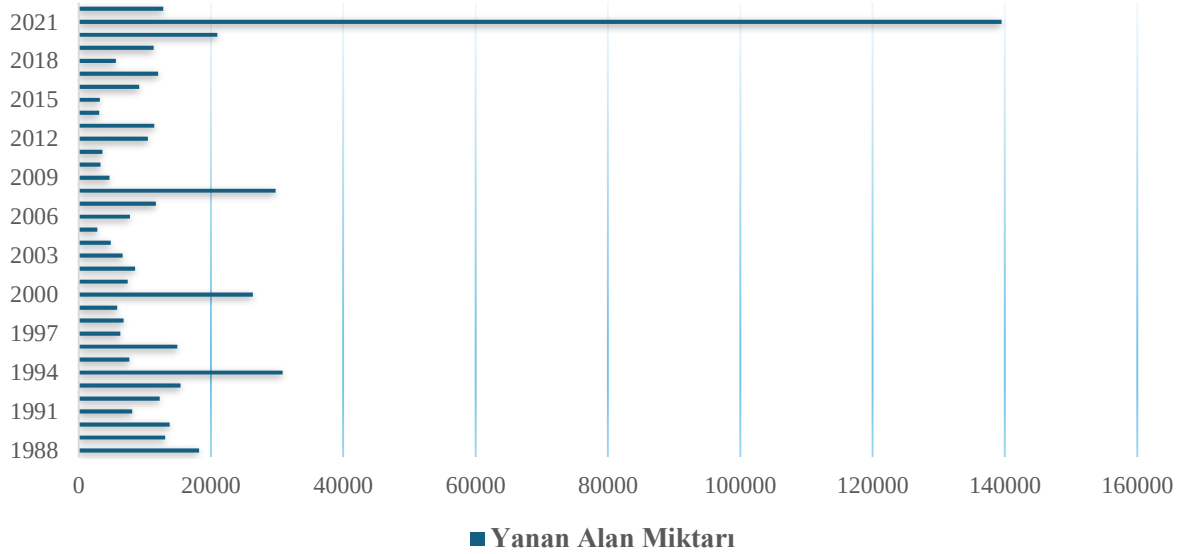
**Tablo 1: Türkiye 1988-2022 Yılları Arası Yangın Sayısı**

| Yıl  | Yangın Sayısı | Yıl  | Yangın Sayısı | Yıl  | Yangın Sayısı | Yıl  | Yangın Sayısı |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1988 | 1 372         | 1997 | 1 339         | 2006 | 2 227         | 2015 | 2 150         |
| 1989 | 1 633         | 1998 | 1 932         | 2007 | 2 829         | 2016 | 3 188         |
| 1990 | 1 750         | 1999 | 2 075         | 2008 | 2 135         | 2017 | 2 411         |
| 1991 | 1 481         | 2000 | 2 353         | 2009 | 1 793         | 2018 | 2 167         |
| 1992 | 2 117         | 2001 | 2 631         | 2010 | 1 861         | 2019 | 2 688         |
| 1993 | 2 545         | 2002 | 1 471         | 2011 | 1 954         | 2020 | 3 399         |
| 1994 | 3 239         | 2003 | 2 177         | 2012 | 2 450         | 2021 | 2 793         |
| 1995 | 1 770         | 2004 | 1 762         | 2013 | 3 755         | 2022 | 2 160         |
| 1996 | 1 645         | 2005 | 1 530         | 2014 | 2 149         |      |               |

**Kaynak:** OGM, 2022

Tablo 1, Türkiye’de yıllara göre yangın sayıları verilmiştir. Bu yangınlara bağlı olarak pek çok canlı türü hayatını kaybetmekte, kilometrelerce alan ormansızlaşmakta ve çevreye çok ciddi şekilde CO<sub>2</sub> emisyonu yayılmaktadır.

**Grafik 6: Türkiye 1988-2022 Yılları Arası Yanan Alan Miktarı**

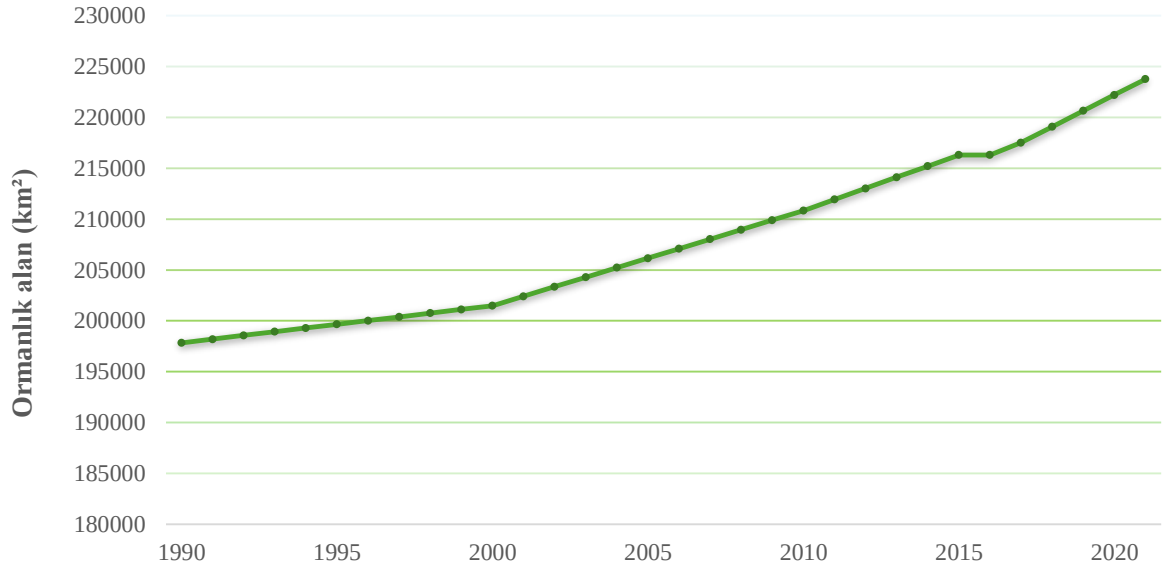


**Kaynak:** OGM, 2022

Grafik 6 ise 1988-2022 yılları arasında yanan alan miktarını (hektar) göstermektedir. Her yıl ortaya çıkan binlerce yangın büyük bedeller ödetmektedir. Özellikle Türkiye’nin 28 Temmuz 2021 tarihinde Antalya’nın Manavgat ilçesinde başlayan yangın, uzun süre söndürülemedi ve çevre illere de yayılmıştır. Grafik 6’daki verilerden de görülebileceği gibi Türkiye tarihinin en ciddi yangını olarak, 139503 hektarlık ormanlık alanını yok etmiştir. Elbette bu yangın yalnızca ormanları değil

beraberinde birçok canlı hayatına da son vermiştir. Bununla birlikte, çok ciddi bir CO<sub>2</sub> salımına neden olmuştur.

**Grafik 7: Türkiye Ormanlık Alan (1990-2021)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

Grafik 7, Türkiye’deki 1990-2021 yılları arasındaki ormanların kapladığı alanların eğilimini göstermektedir. Eğim ne kadar pozitif bir artış gösteriyor olsa da diğer tüm negatif unsurların önüne geçememektedir. Zira 1990 yılında yaklaşık 197 km<sup>2</sup> olan ormanlık alan 2020 yılında yaklaşık 223 km<sup>2</sup>’ye yükselmiştir. Bu artış CO<sub>2</sub> emisyonunun artışı ile orantılı olmamakla birlikte CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları ile mücadelede yetersiz kalmaktadır.

## 2.2. Enerji Kullanımı ve Tüketimi

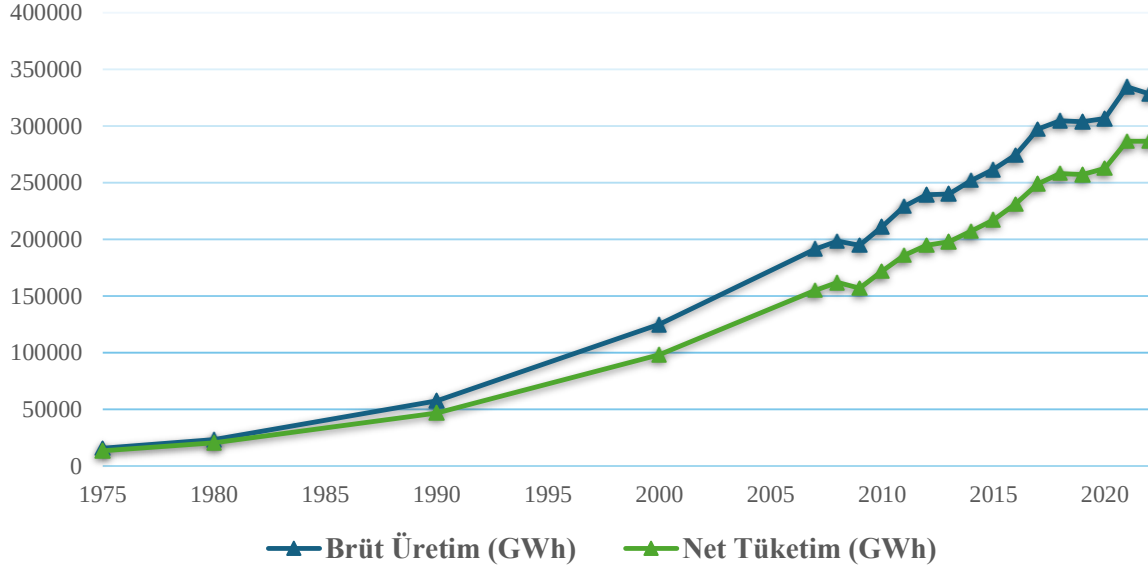
Bu bölümde enerji kullanımına bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu faktörleri incelenecektir.

### 2.2.1. Petrol, Gaz ve Kömür Kaynaklarından Elektrik Üretimi (toplam %)

Nüfusta meydana gelen artış, dünya üzerindeki net elektrik tüketimini de artırmaktadır (Cristóbal vd., 2012: 266). Tüketim ise üretimin doğal sebebidir ve elektrik üretim gereksinimine yol açmaktadır. Elektrik kaynakları, enerji üretiminde kullanılan girdiler ile aynıdır (Ang vd., 2011: 2482; Voumik vd., 2022: 12). Petrol, gaz, kömür ve turba gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen enerji, elektrik üretiminde önemli rol oynamaktadır (The World Bank, 2023). Bu durum CO<sub>2</sub> emisyonunun artışına da neden olmaktadır.

Grafik 8, Türkiye'nin yıllar içerisindeki elektrik üretim ve tüketim verilerini içermektedir (TEİAŞ, 2022b). Buradan elektrik üretimi ve tüketiminin bağlantılı olarak her yıl arttığı gözlemlenmektedir. Bu konudaki diğer önem arz eden etken ise elektrik üretiminin kaynağıdır.

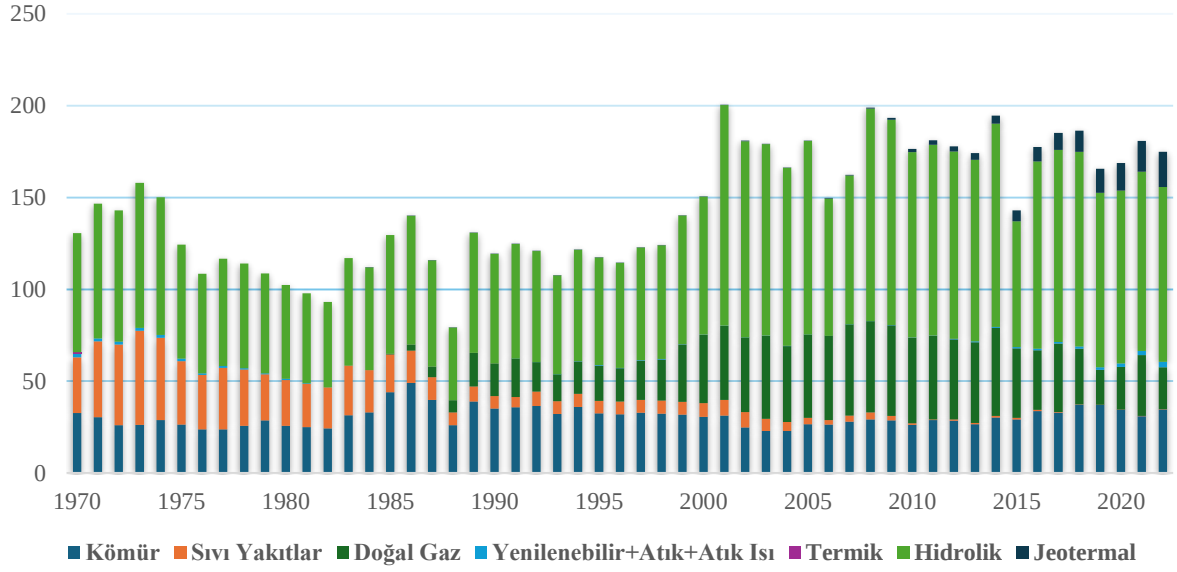
**Grafik 8: Türkiye 1975-2022 Yılları Arası Elektrik Üretimi ve Tüketimi**



**Kaynak:** TEİAŞ, 2022a

Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynakları çeşitlilik gösterebilmektedir. Bunların başlıcaları; petrol, doğalgaz, kömür ve doğal enerjiler olarak sıralanabilmektedir. Aşağıda verilmiş olan Grafik 9, Türkiye'nin brüt elektrik enerjisi üretiminde birincil enerji kaynak paylarının yıllar itibarıyla değişimini (%) göstermektedir (TEİAŞ, 2022a). Buradan hareketle Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir atık, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi kaynak kullanımında 2010 yılı itibarıyla nispeten artış bulunsa da katı yakıt (kömür, linyit) kullanımındaki istikrar devam etmektedir.

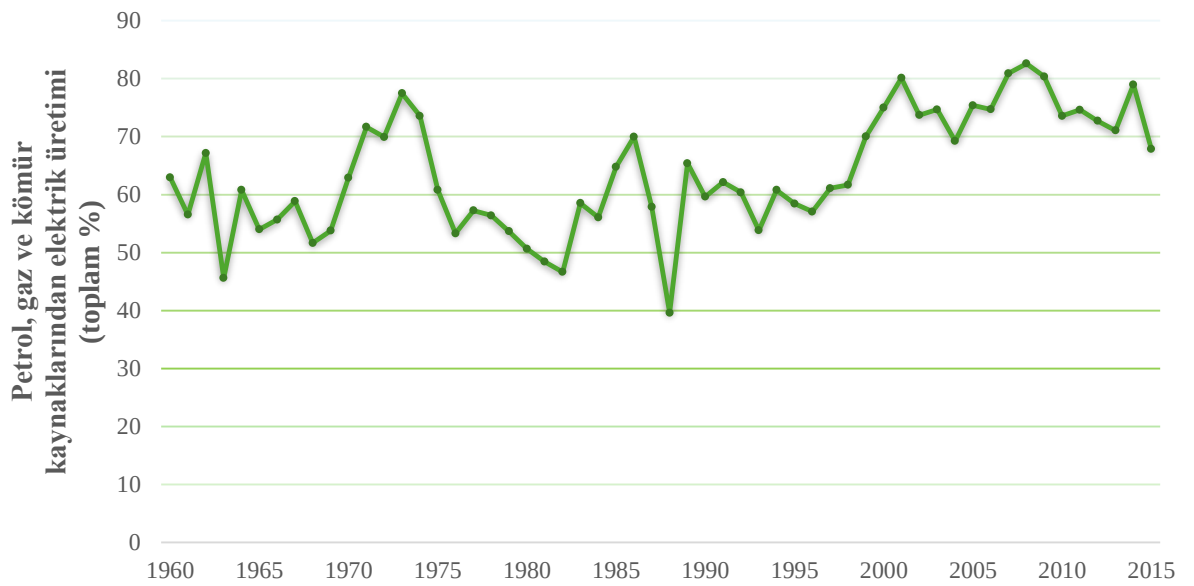
**Grafik 9: Türkiye 1970-2022 Yılları Arası Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Kaynak Payları**



**Kaynak:** TEİAŞ, 2022b

Türkiye, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı doğrultusunda belirlediği politikalar ile 2023 yılında elektrik üretiminin %36,3'ünü kömür, %21,4'ünü doğal gaz, %19,6'sını hidrolik enerji, %10,4'ünü rüzgâr, %5,7'sini güneş, %3,4'ünü jeotermal enerji ve %3,2'sini diğer kaynaklardan sağlamıştır. Bununla birlikte, bu hedef doğrultusunda 2035 yılına kadar toplam elektrik tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

**Grafik 10: Türkiye Petrol, Gaz ve Kömür Kaynaklarından Elektrik Üretimi (1960-2015)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

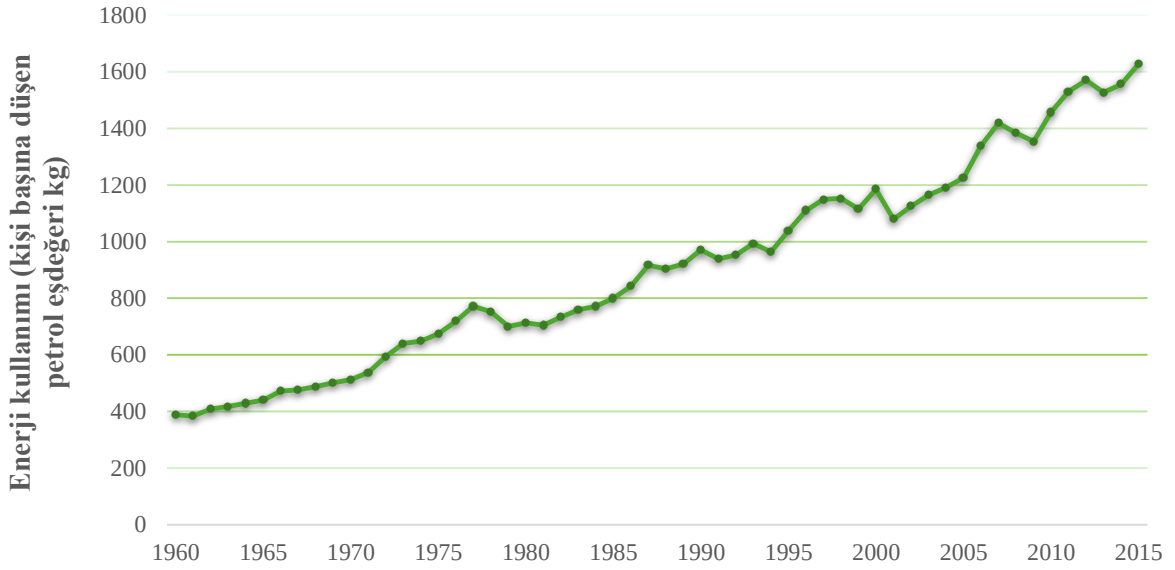
Grafik 10, Türkiye'nin 1960-2015 yılları arasındaki petrol, gaz ve kömür kaynaklarından elektrik üretim oranlarını göstermektedir. Grafik 10'a göre Türkiye geçmişten bu yana elektrik üretiminin  $\pm\%60$ 'ını petrol, gaz ve kömür kaynaklarından sağlamaktadır.

### **2.2.2. Enerji Kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg)**

CO<sub>2</sub> emisyonu, fosil yakıt tüketiminin bir ürünüdür. Bu durum CO<sub>2</sub> emisyonu ile enerji tüketimi arasındaki pozitif ilişkiyi göstermektedir. Küresel ve bölgesel bağlamda enerji tüketimi CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Hosseini vd., 2019: 620). Enerji kullanımı, bir ülkenin diğer kullanım yakıtları için dönüştürülmeden önceki birincil enerjinin tüketimidir. Bu, yerel üretim, ithalat ve stok değişikliklerinin toplamını ifade etmektedir ve bunun üzerinden ihracat, uluslararası taşımacılık yapan gemilere ve uçaklara sağlanan yakıtların düşülmesiyle hesaplanmaktadır (The World Bank, 2023). Obradović ve Lojanica (2017: 520), çalışmalarında enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, ekonomik büyüme ve enerji kullanımının, CO<sub>2</sub> emisyonuna pozitif yönde etkisi bulunduğunu ve enerji kullanımındaki artışın CO<sub>2</sub> emisyonunun artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Stephenson ve Saha (1980), Yeni Zelanda üzerinde yaptığı bir araştırmada bu ülkenin ithalatında yer alan enerjinin, toplam ithalatın %47'sine, ihracatında yer alan enerjinin ise toplam enerji tüketiminin %26'sına tekabül ettiğini vurgulamışlardır. Machado (2000: 10) ise araştırmasında, uluslararası ticaretin enerji kullanımı ve karbon emisyonu üzerindeki etkisini analiz ederek çevreye verdiği zararı Brezilya özelinde değerlendirmiştir. Bulguları, Brezilya'nın dikkate alınan tüm yıllardaki ithalat ve ihracatının enerji kullanımını artırdığını ve bu artışın CO<sub>2</sub> emisyonundaki artışa da sebep olduğu yönündedir.

**Grafik 11: Türkiye Enerji Kullanımı (1960-2015)**



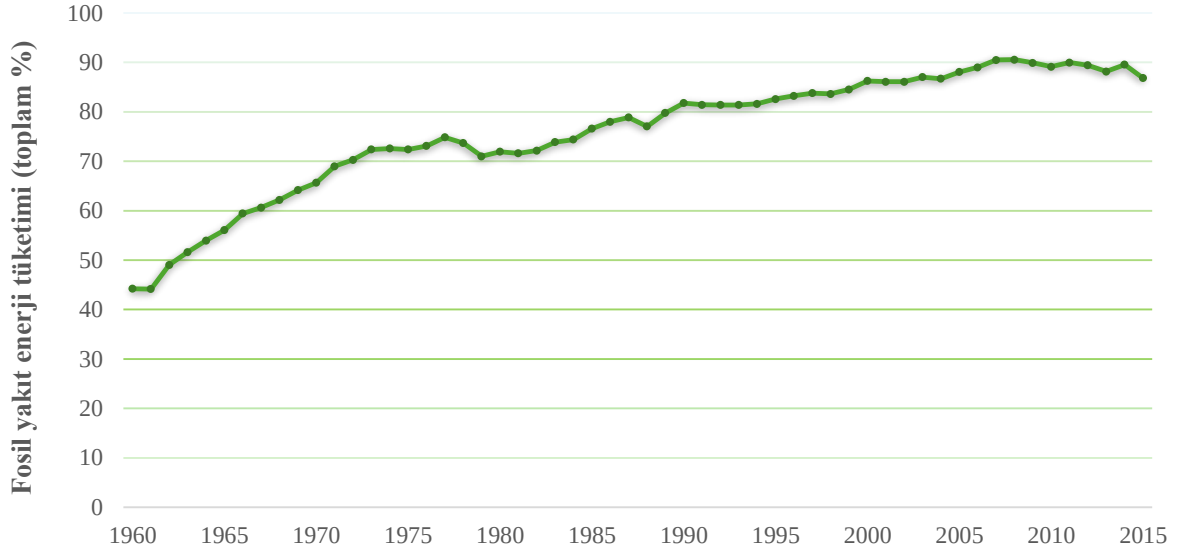
**Kaynak:** The World Bank, 2023

Aşağıda yer alan Grafik 14, Türkiye'nin ihracat ve ithalat istatistiklerini göstermektedir. 2021 yılından itibaren belirgin bir artış gösteren bu ticari aksiyon, enerji kullanımını dolayısıyla da CO<sub>2</sub> emisyonunu etkilemektedir. Bununla birlikte Türkiye'nin 1960-2015 yılları arasındaki enerji kullanımı Grafik 11'de verilmiştir. Bu oranlar, Grafik 2 ile gösterilen CO<sub>2</sub> emisyonu arasında paralellik göstermektedir.

### 2.2.3. Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (toplam %)

CO<sub>2</sub> emisyonu başlıca fosil yakıt tüketiminin sonucu olduğu için enerji tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Hosseini vd., 2019: 620). Fosil yakıtlar ise kömür, petrol ve doğal gaz gibi karbon içeren organik maddelerden elde edilen enerji kaynaklarıdır. Bu yakıtların yanması sırasında, atmosfere büyük miktarda CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları salınımı gerçekleşir. Günümüzde ülkeler daha çok endüstriyel süreçler olmak üzere pek çok alanda farklı kaynaklardan üretilen enerjiden faydalanmaktadır (Jorgenson ve Clark, 2010: 36; Lotfalipour vd., 2010: 5115). Ancak ABD ve Çin başta olmak üzere, fosil yakıt tüketen ülkelerde CO<sub>2</sub> emisyonu oldukça yüksektir (Apergis ve Payne, 2010: 654; Heidari vd., 2015: 790; Kais ve Sami, 2016: 1103; Kaivo-oja vd., 2016: 465; Soytaş vd., 2007: 484). Türkiye de fosil yakıt enerji tüketiminde bu ülkeler arasında yer almaktadır.

**Grafik 12: Türkiye Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (1960-2015)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

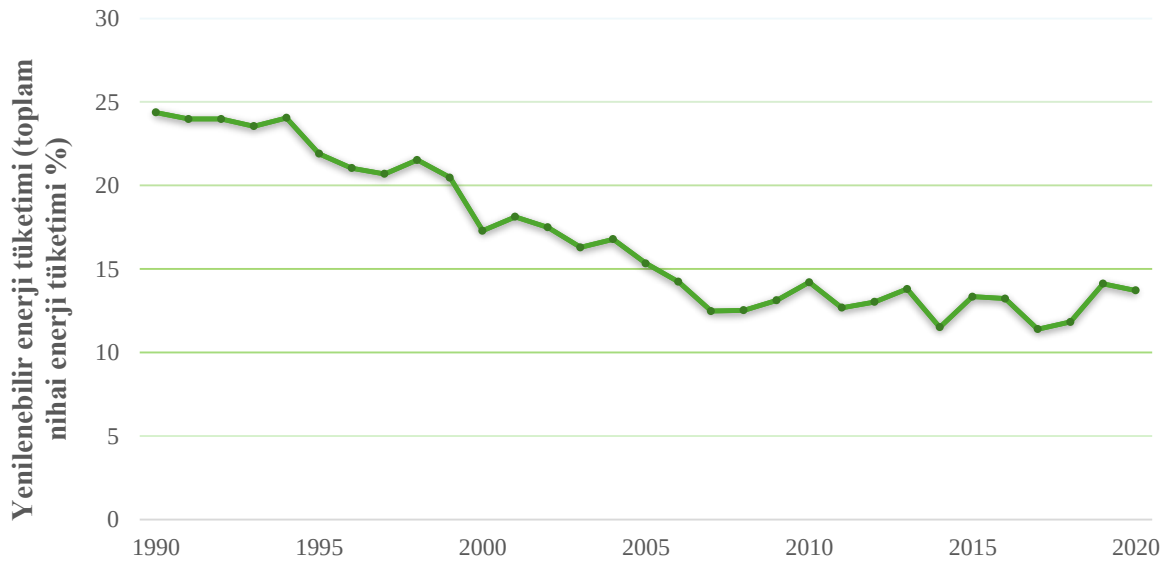
Grafik 12’de, Türkiye’nin 1960-2015 yılları arasındaki fosil yakıt enerji tüketimindeki büyüme eğilimi gösterilmektedir. Nüfusla birlikte enerji kullanımı da artış göstermiş ve bu durum fosil yakıt tüketimini etkilemiştir. Fosil yakıtlar birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de ana enerji kaynağını teşkil etmektedir. Eurostat (2022) tarafından açıklanan istatistikî verilere göre Türkiye’nin enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı devam etmektedir. Verilere göre Türkiye halen %80 oranında fosil yakıt kullanmaktadır.

#### **2.2.4. Yenilenebilir Enerji Tüketimi (toplam nihai enerji tüketimi %)**

Yenilenebilir enerji, doğadan elde edilen ve sınırsız kaynaklara dayanan enerji kaynaklarını ifade etmektedir ve bu kaynakların kullanılması CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinde sınırlı etkiye sahiptir. Yenilenebilir enerji tüketiminin, fosil enerji tüketiminin ve ekonomik gelişmenin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini inceleyen Bölük ve Mert (2014: 444), fosil yakıt tüketimine kıyasla, yenilenebilir enerjinin CO<sub>2</sub> emisyonunu üzerinde daha az bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Cerdeira Bento ve Moutinho (2016: 153), yenilenebilir ve yenilenemez elektrik üretimi ve diğer değişkenleri ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmalarında, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Benzer şekilde, Paramati vd. (2017: 369) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik gelişme ve nüfus değişkenleri analiz edilmiştir. Çalışmada, yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı gözlemlenmiştir. Waheed vd. (2018: 4232) de elektrik üretiminde fosil yakıtlardan ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının, CO<sub>2</sub> emisyonun azaltılabileceğini ifade etmiştir.

Türkiye, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını dış kaynaklardan karşılamaktadır. Dışa bağımlılığı azaltmak ve fosil yakıtların çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ciddi yatırımlar yapılmaktadır (Okumuş, 2020: 23). Türkiye'nin 2011'den 2021 yılına kadar yenilenebilir enerji tüketimi %12,1 oranında artmıştır. Ancak kömür gibi fosil yakıtların tüketimi halen %2,1 artış göstermektedir (BP, 2022). Yenilenebilir enerjideki bu artışın fosil yakıt tüketimindeki yoğun kullanımın önüne geçmek için yeterli olmayacağı, ancak yalnızca mevcut durumun istikrarını sağlayacağı söylenebilir.

**Grafik 13: Türkiye Yenilenebilir Enerji Tüketimi (1990-2020)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

Grafik 13, Türkiye'deki 1990-2020 yılları arasındaki yenilenebilir enerji tüketimini göstermektedir. Her ne kadar fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilse de bu politikalar yeterli gelmemiştir. Zira Grafik 13, tüm grafiklerin aksine bir düşüş eğilimi göstermektedir. CO<sub>2</sub> emisyonu ile ters orantılı olan yenilenebilir enerji tüketimi Türkiye'nin gündemindedir ve son yıllarda küçük oranlarla artış göstermektedir. Ancak bu artış yüksek CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı salımlarının önüne geçilmesinde yeterli olmamaktadır.

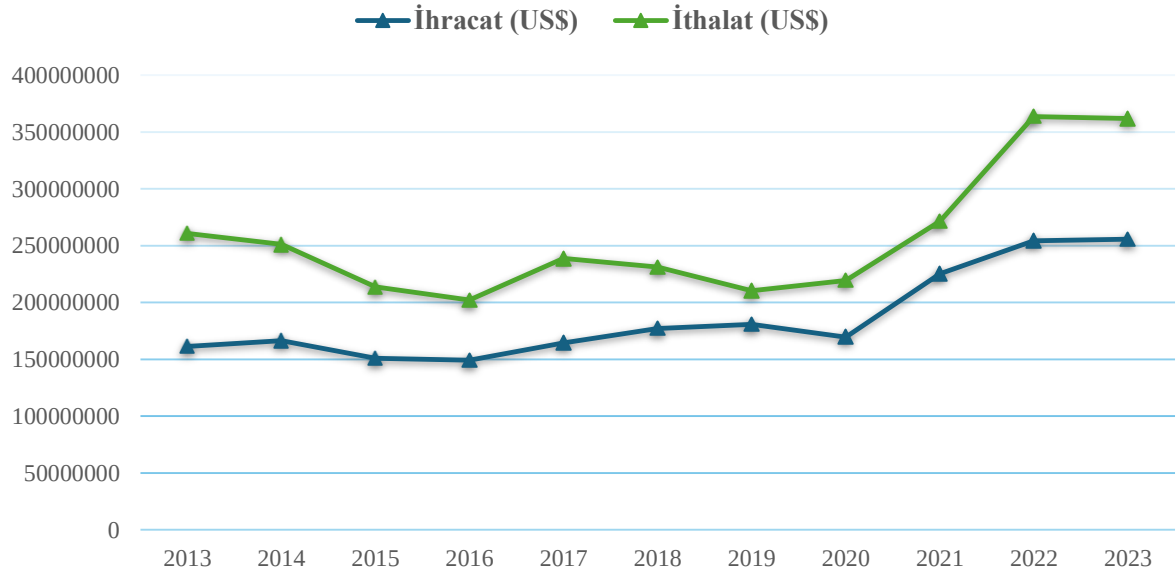
### 2.3. Ekonomik ve Demografik Değişkenler

Bu bölümde CO<sub>2</sub> emisyonunun neden olan ekonomik ve demografik faktörler ele alınacaktır.

### 2.3.1. GSYH (US\$)

CO<sub>2</sub> emisyonunu tetikleyen diğer bir faktör ise GSYH'dir. Bu iki değişken birbirlerine sıkı derecede bağlıdır (Jorgenson ve Clark, 2010: 36; Lane, 2011: 917). Bunun nedeni GSYH'nin ülkeler için ticaret düzeyinin bir göstergesi olmasıdır. Ticaret düzeyi, bir ülkedeki yıllık ithalat ve ihracat düzeyini ifade etmektedir. Ticaret düzeyinde meydana gelen herhangi bir artış özellikle Çin, Hindistan, Malezya (Hosseini vd., 2019: 623; Jayanthakumaran vd., 2012: 455; Shahbaz vd., 2016: 92) ve Türkiye gibi bazı ülkelerde daha yüksek düzeyde CO<sub>2</sub> emisyonu ile sonuçlanmaktadır (Halıcıoğlu, 2009: 1161; Öztürk ve Acaravcı, 2013: 265).

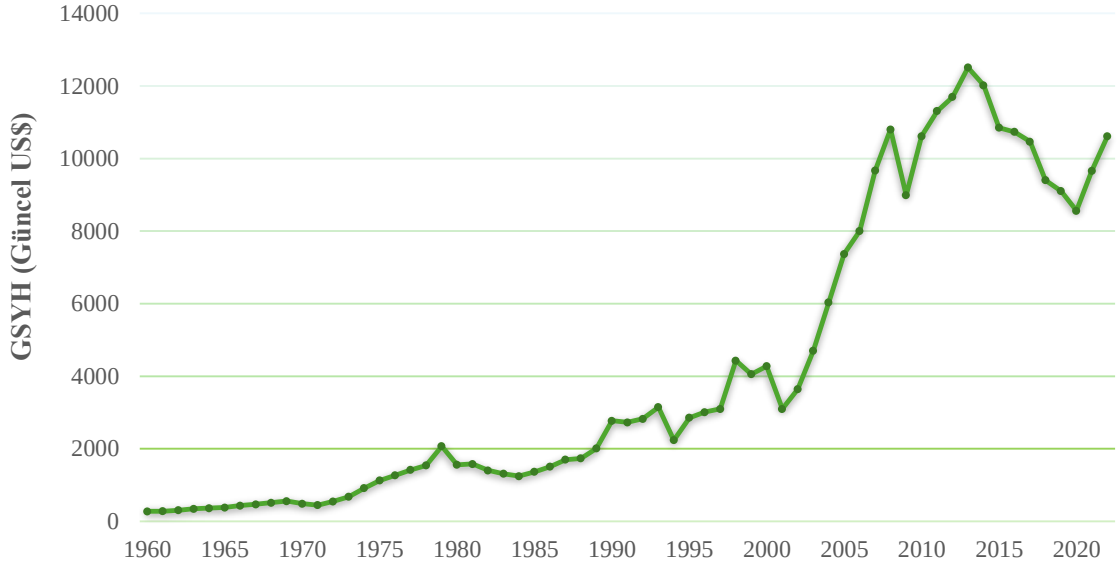
**Grafik 14: Türkiye 2013-2023 Yılları Arasındaki İthalat ve İhracat Göstergeleri**



**Kaynak:** TÜİK, 2023

Grafik 14, Türkiye'nin 2013-2023 yılları arasındaki ABD doları (\$) cinsinden ticaretini (ithalat-ihracat) göstermektedir. Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, hızla sanayileşerek özellikle 2021 yılından itibaren ihracat ve ithalat hacmini artırmaya başlamıştır. Nitekim bu durum Türkiye'nin CO<sub>2</sub> salımını artırarak, küresel karbon emisyonu sıralamasındaki yükselmesini beraberinde getirmiştir.

**Grafik 15: Türkiye Kişi Başına Düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (1960-2022)**



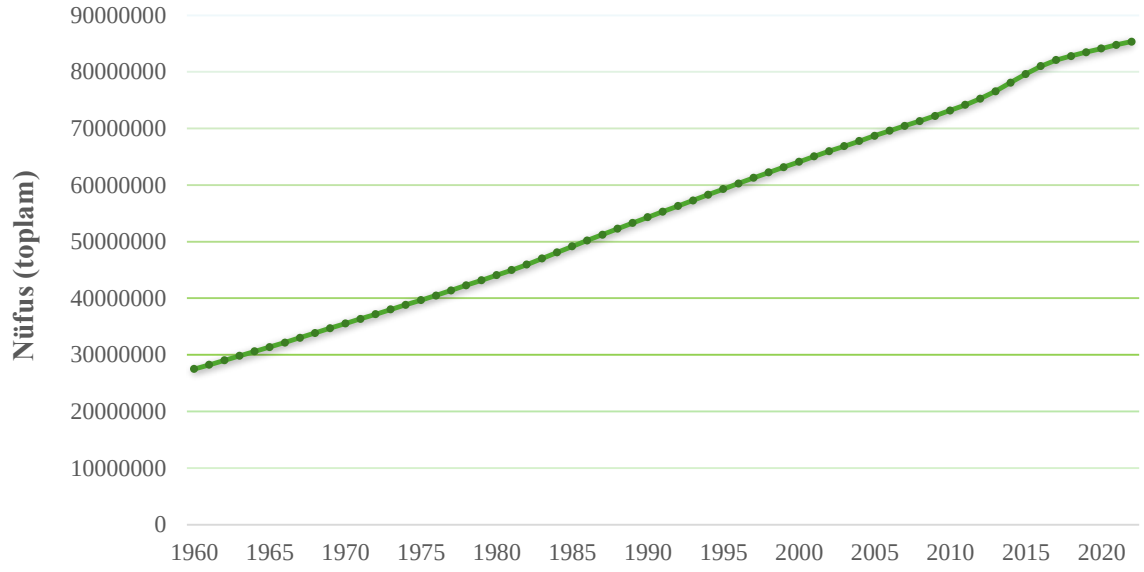
**Kaynak:** The World Bank, 2023

Ticaretin göstergesi olan GSYH'nin Türkiye özelinde 1960-2022 tarihleri arasındaki veriler Grafik 15'te verilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak Türkiye'deki kişi başına düşen GSYH'nin 2003 yılından bu yana büyük bir artış gösterdiği, bununla birlikte de 2014 yılından 2020 yılına kadar düşüş eğilimi sergilediği ifade edilebilir. Söz konusu düşüş Grafik 14'e de yansımıştır. 2020 yılından bu yana ithalat, ihracat ve GSYH artış göstermeye devam etmektedir.

### 2.3.2. Nüfus (toplam)

Nüfus, CO<sub>2</sub> emisyonunun tetikleyici faktörü olarak pek çok araştırmaya konu olmuştur. Nitekim nüfus birçok bölgede, CO<sub>2</sub> emisyonu için ana itici güç olarak belirlenmiştir (Mahony, 2013: 574; O' Mahony vd., 2013: 587; Xu vd., 2014: 186). Ardakani vd. (2018: 33), Jorgenson ve Clark (2010: 38), Yang vd. (2015: 51) yaptıkları çalışmalar ile nüfusun CO<sub>2</sub> emisyonuna güçlü bir etkisi olduğunu kanıtlamışlardır. Bu bağlamda hem gelişmiş hem de gelişmekte olan toplumlarda, nüfus ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında pozitif bir korelasyon olduğu öne sürülmüştür. Bununla birlikte nüfus ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişki karmaşık ve çok yönlüdür. Nüfusun CO<sub>2</sub> emisyonu ile arasındaki ilişki enerji kaynaklarının kullanımı, endüstriyel yapılanmalar, ekonomik faaliyetler, politikalar, teknolojik gelişmeler gibi çeşitli etkenlere bağlıdır (Başoğlu, 2013). Literatürde CO<sub>2</sub> emisyonunu tetikleyici bir güç olarak ele alınan nüfus faktörü, Türkiye verileri ile de desteklenebilir durumdadır. Zira CO<sub>2</sub> emisyonuna paralel olarak toplam nüfusta zaman içerisinde göç ve doğum gibi çeşitli nedenlerle artış görülmektedir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).

**Grafik 16: Türkiye Nüfus (1960-2022)**



**Kaynak:** The World Bank, 2023

Grafik 16, Türkiye'nin 1960-2022 yılları arasındaki nüfus artışını göstermektedir. Verilen nüfus artış verilerine bakıldığında, artan kişi başına düşen enerji tüketimi ve buna paralel olarak artış gösteren CO<sub>2</sub> emisyonu konusunda ciddi bir alarm söz konusudur. Bu sebeple Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda enerji arzını ve çevre sağlığını güvence altına almak için sürdürülebilir enerji sistemlerine yönelik esnek politikalar benimsemesi gerekecektir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

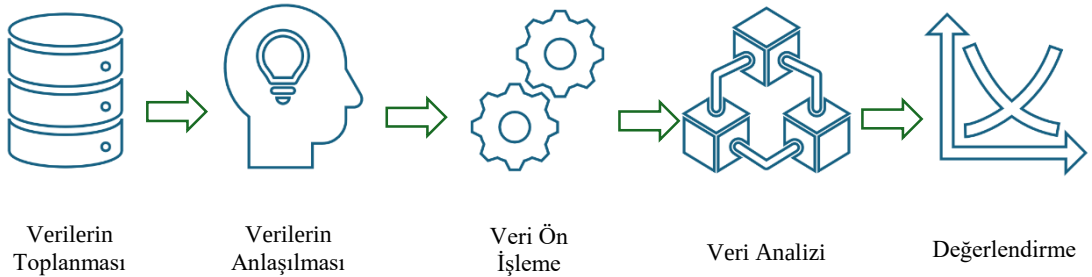
### 3. AMPİRİK LİTERATÜR

Türkiye özelinde belirlenen değişkenlerin tahmini yoluyla bir öngörü sunmayı amaçlayan bu tezin deneysel analizinde pek çok yöntemden faydalanılmaktadır. Her aşamasında birden fazla yöntem kullanılarak ilerlenen bu tezde kullanılan deneysel yöntemlerin teorik çerçeveleri ve formülasyonları bu bölümde açıklanmaktadır. Bu bölümde öncelikle veri madenciliği kavramsal olarak ele alınmış ve veri madenciliği süreçleri anlatılmıştır. Daha sonra bağımsız değişkenlerin tahminlerinde kullanılacak olan zaman serileri ile tahminleme yöntemleri açıklanmıştır. Bu yöntemlerin performanslarının ölçümü için performans metrikleri ele alınmıştır. Bağımlı değişkenlerin öngörülmesi için oluşturulan modelin anlaşılması için regresyon ve korelasyon analizleri anlatılmıştır. Son olarak, veri madenciliğinde sıkça kullanılan özellik seçimi yöntemleri açıklanmıştır.

#### 3.1. Veri Madenciliği

Veri ile ilgili süreçler literatürde işlem modeli, yaşam döngüsü ve metodoloji gibi farklı terimlerle kullanılmaktadır. Esasında bir işlem modeli, belirli bir unsurun geliştirilmesi için gerçekleştirilmesi gereken görevlerin tümüdür. Bunlar, bir görevi gerçekleştirmek için gerekli olan öğeleri (girdileri) ve üretilen öğeleri (çıktıları) içermektedir (Pressman, 2005: 45). Bir işlem modelinde sürecin yönetilebilmesi, ölçülebilmesi ve tekrarlanabilmesi amaçlanmaktadır. Metodoloji; girdi, çıktı, görevleri ve görev tanımlarını listeleyen bir işlem modelinin örneği olarak ifade edilmektedir (Uğuz, 2021: 3; Pressman, 2005: 77). Şekil 3'te de görüldüğü gibi, görevler, süreç için ideal teknikler kullanılarak gerçekleştirilmekte ve belirli görevler için uygun tekniklerin seçilmesinin ardından görev performansını iyileştirmesi için araçlar kullanılabilmektedir. Yaşam döngüsü ise faaliyetlerin sıralanmasını belirlemektedir. Bir yaşam döngüsü modeli, bir projenin geliştirmesi için farklı yolları açıklamaktadır (Moore, 1998: 16).

Şekil 3: Veri Madenciliği Süreçleri



Şekil 3, veri madenciliğine ilişkin temel aşamaları göstermektedir. Bu aşamalar problemin belirlenmesinin ardından başlamakta ve ideal sonuçlar için çoğunlukla yukarıda verilen sıralamayı takip etmektedir. Araştırma ve analiz için ilgili problemin belirlenmesinin sonra, güvenilir kaynaklardan birincil veya ikincil veriler toplanmaktadır. Toplanan verinin anlaşılması oldukça önemlidir. Veri anlama aşaması, veri toplama ile başlar ve veriye aşina olmak, veri kalite problemlerini belirlemek, veri üzerinde ilk görüşlere ulaşmak veya alt kümeleri tespit etmek için bir dizi faaliyet ile devam etmektedir (Marbán vd., 2009: 6).

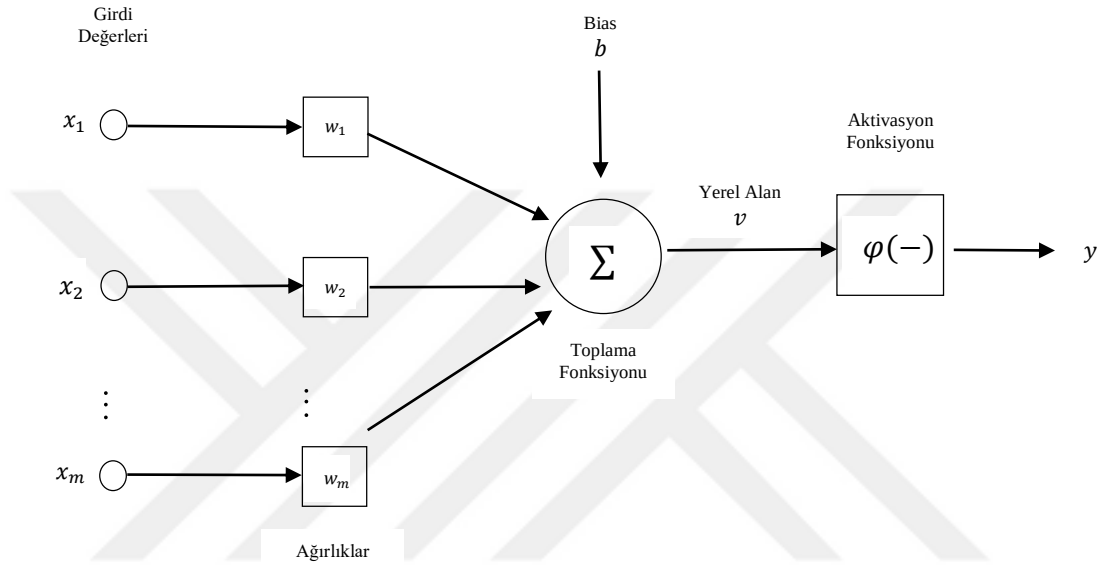
Verinin hazırlanması veya ön işleme aşaması, ham verilerden nihai veri setini oluşturmak için gereken tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Veri madenciliği, yöntemlerinin uygulanmasından önce, verinin çalışma modeline uygun duruma getirilmesi için kullanılan bir dizi tekniğin uygulandığı bir süreçtir (Celik vd., 2019: 73). Bu süreç, ham verinin anlamlandırılması ve bilginin keşfedilmesi kapsamındaki en anlamlı konulardan biri olarak bilinmektedir (Han vd., 2023: 16; Zaki ve Meira, 2014: 26). Çeşitli kaynaklardan toplanan veriler tutarsız, eksik, fazla veya kusurlu olabilmektedir. Bu durumda verilerin işlenmesi doğru sonuçlar vermeyeceğinden, veri madenciliği sürecinin başlatılması gerekmektedir. Verilerin bilgiye dönüşüm sürecinde verilerin toplanması ve problemlerin belirlenerek anlaşılması ilk aşamayı oluşturmaktadır. Ardından sırayla veri ön işleme, veri analizi, değerlendirme ve raporlama adımlarının takip edilmesi, veri madenciliği sürecinin etkin ve verimli yürütülmesine olanak tanıyacaktır. Veri ön işleme; verilerin türü, boyutu ve durumu gibi etkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle verilerin her bir veri madenciliği algoritmasının gerektirdiği gereksinimlere uyarlanması gerekmektedir (García vd., 2016: 22).

Araştırmacının karmaşık verileri işlemesine olanak tanıyan veri ön işleme, güçlü bir araç olmasına rağmen, özellikle büyük veriler için yoğun işlem süresi gerektirebilmektedir (Pyle, 1999: 449). Bu süreç, veri hazırlama ve veri azaltma teknikleri gibi çeşitli disiplinleri içermektedir. Ön işleme sürecinin ilk aşamasında verinin temizlenmesi (*data cleaning*), normalizasyonu (*normalization*), dönüştürülmesi (*transformation*) ve entegrasyonu (*integration*) işlemleri takip edilmektedir. İkinci aşamada ise özellik seçimi (*feature selection*), örnek seçimi (*instance selection*) veya ayrıklaştırma (*discretization*) yoluyla verilerin karmaşıklığının azaltılması gelmektedir. Başarılı bir veri ön işleme sürecinin ardından elde edilen son veri seti, daha sonra uygulanacak herhangi bir veri madenciliği algoritması için güvenilir ve uygun bir kaynak olarak kabul edilebilecektir (García vd., 2016: 23).

Veri analizi çeşitli modelleme tekniklerinin seçildiği parametrelerin optimal değerlere ayarlandığı ve uygulandığı aşamadır. Genellikle, bir veri madenciliği problem türü için birden fazla teknik bulunmaktadır. Bazı tekniklerin veri formu üzerinde belirli gereksinimleri bulunmaktadır. Bu nedenle, genellikle veri hazırlama aşamasına geri dönmek gerekebilmektedir. Şekil 4, çeşitli amaçlar

için kullanılabilen tek katmanlı bir yapay sinir ağı (YSA)<sup>1</sup> algılayıcı (*perceptron*) modelini ifade etmektedir. Bu model problemin tipine ve ağı yapısına göre farklı yapılarda tasarlanarak kullanılabilir. Öğrenmeye dayalı YSA kendisine verilen etiketlenmiş veri seti üzerinden öğrenmeyi sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli veri analizlerinin de temel aldığı bu model ile esas olarak hedeflenen girdi değerlerinin çeşitli metotlar ile eğitilerek çıktı değerlerine ulaşılması amaçlanmaktadır (İslamoğlu, 2020: 3; Keskenler ve Keskenler, 2017: 10; Uğuz, 2021: 201).

Şekil 4: Basit Sinir Hücresi



**Kaynak:** İslamoğlu, 2020: 3

Son olarak veri analizi perspektifinden bakıldığında analizin değerlendirme kısmına gelmiş olmak için kaliteli modeller oluşturulmuş ve anlamlı sonuçlar elde edilmiş olacaktır. Nitekim değerlendirme aşaması nihai modelin ayrıntılı bir şekilde anlatılması ve sonuçların yorumlanarak raporlanmasını ifade etmektedir (Marbán vd., 2009: 6).

### 3.2. Zaman Serisi ile Tahminleme

Zaman serileri, birçok alanda çeşitli amaçlarla kullanılmakla birlikte esas olarak, belirli aralıklarla ölçülen verilerin analiz edilmesi ve gelecekteki değerlerin tahmininde kullanılan bir yöntemdir. Geçmiş verilerin zaman içindeki değişimlerine dayanarak öngörü oluşturan zaman serilerinin doğru modellenmesi ve uygun parametre seçimi ile güvenilir tahminler sağlanabilmektedir. Bu nedenle literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

<sup>1</sup> **Yapay Sinir Ağı (YSA):** İnsan beynini model olarak biyolojik sinir yapısını taklit eden ve sinirsel algılayıcılar aracılığıyla önceden öğrenilmiş veya sınıflandırılmış bilgileri kullanarak yeni bilgiler türetebilen ve karar verebilen bilgisayar programlarıdır (Keskenler ve Keskenler, 2017: 10; Narendra ve Parthasarathy, 1990: 4).

### 3.2.1. Zaman Serisi Verileri ve Özellikleri

Zaman serileri, bir değişkenin belirli aralıklarla ölçülen veya gözlemlenen veri gruplarını ifade etmektedir. Her değeri belirli bir zaman farkı ile arka arkaya gelen nümerik verilerden oluşmaktadır. Bu veri grupları genellikle bir değişkenin zaman içindeki değişimini analiz etmek, gelecekteki değerleri tahmin etmek veya geçmiş trendleri anlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu veriler; günlük, haftalık, aylık, üç aylık ve yıllık dönemlerle düzenli olarak toplanabilmektedir. GSYH ve tüketici harcamaları gibi veriler hem üç aylık hem de yıllık olabilmektedir. Veri türleri kantitatif (nicel) ya da kalitatif (nitel) olarak değişebilmektedir (Göktaş, 2005: 2). Gelir, para arzı, fiyatlar gibi veriler nicel veri türünü; ekonomik terimde gölge değişken (dummy variable) olarak tanımlanan kadın – erkek, evli – bekar, siyah – beyaz gibi veriler ise nitel veri türlerini temsil etmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 2077).

Pratik uygulamalarda zaman serilerinin geçmişe doğru güvenilir bir uzantısının olması önem gerektirir. Bu seriler, genellikle stokastik veya olasılıksal değişkenlerle ilişkilendirilmektedir.  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  değeri tesadüfi olarak bir olasılık dağılımından elde edilmektedir. Olasılık kurallarına göre, bir değişkenin zaman içerisinde değişmesi “stokastik süreç” olarak ifade edilmektedir (Göktaş, 2005: 3). Diğer bir ifade ile her bir anlık değer, bir öncekinden bağımsız olarak belirli bir olasılık dağılımına tabi tutulmaktadır.

Zaman serileri, zaman ve zamana bağlı olarak değişiklik gösteren çeşitli sosyo-ekonomik olayların etkisi altında kalmaktadır. Bu olaylar, trend (1), mevsimlik dalgalanmalar (2), konjonktürel dalgalanmalar (3) ve düzensiz hareketler (4) olarak kategorize edilmektedir. Trend, bir zaman serisinin uzun vadeli eğilimlerini temsil etmektedir. Mevsimsel dalgalanmalar, incelenen ekonomik değişkenin aylık ve üç aylık verilerinde ortaya çıkmakta ve genellikle mevsimlerin etkisi altında kalan serilerde görülmektedir. Konjonktürel dalgalanmalar ise bir trend çizgisinin veya eğrisinin etrafındaki uzun vadeli dalgalanmalardır. Düzensiz hareketler, rastgele nedenlerden veya geçici faktörlerden kaynaklanan dalgalanmalardır. Bu tür dalgalanmaların ne zaman ve hangi şiddette ortaya çıkacağı önceden tahmin edilememektedir (Göktaş, 2005: 3). Bu nedenle zaman serisi analizleri, çoğunlukla trendlerin belirlenmesi, mevsimsel etkilerin anlamlandırılması ve düzensiz dalgalanmaların izole edilmesine yönelik çeşitli istatistiksel yöntemleri içermektedir (NIST, 2024b).

### 3.2.2. Zaman Serisi Analizinin Amaçları

Zaman serisi analizi, çeşitli amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu amaçların başında serilerin geleceğe yönelik tahminleme için kullanılması gelmektedir. Bu analiz, geçmiş verilerin incelenerek trendlerin, döngülerin veya desenlerin tanımlanması yoluyla gelecekteki olası gelişimlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Pek çok alanda kullanılan zaman serisi tahmini, karar vericilerin stratejik planlamalarını desteklemekte, riskleri azaltmakta ve kaynakların daha etkin bir

şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (İslamoğlu, 2020: 72). Böylelikle zaman serisi analizleri, gelecekteki belirsizlikleri azaltarak daha bilinçli kararlar alınmasını sağlayabilmektedir

Zaman serisi analizinde bir diğer amaç, serinin temel özelliklerini belirlemektir. Bu yöntemle, belirli bir dönemde seride bir trendin olup olmadığı, mevsimsel dalgalanmaların varlığı veya yokluğu gibi önemli özellikler tespit edilebilmektedir. Analizin başka bir hedefi ise farklı seriler arasındaki ilişkiyi anlamaktır. Eğer birkaç değişken için zaman serileri mevcutsa, bir serideki değişiklikler, diğer serideki değişiklikleri açıklamak için kullanılabilir. Bu tür analizler, zaman serilerini oluşturan sistem hakkında değerli bilgiler sunabilmektedir.

Son olarak, zaman serisi analizindeki bir başka amaç da sistem kontrolüdür. Bu sayede, seriyi oluşturan olayların işleyiş mekanizmasını anlamak veya geçmiş olaylardan elde edilen bilgileri kullanarak sistemin planlanan yönde gelişmesini sağlamak ve sistemi kontrol etmek mümkün olabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli kontrol stratejileri ve yöntemler kullanılarak sistemde istenmeyen dalgalanmaların azaltılması veya sistem performansının iyileştirilmesi hedeflenebilmektedir (Göktaş, 2005: 5).

### **3.2.3. Zaman Serisi Verilerinin Modellenmesi**

Tahmin modellerinin etkinliği veya değeri, modellenen miktarları ne kadar başarılı bir şekilde tahmin ettiğine bağlıdır. Tahmin kalitesini değerlendirmek için kullanılan ölçümler ve bir tahminin “iyi” olup olmadığına dair geniş bir perspektif bulunmaktadır (Jolliffe ve Stephenson, 2011: 2; Morley vd., 2018: 69; Murphy, 1993: 281; Thornes ve Stephenson, 2001: 308). Bir tahminin kalitesini değerlendirmenin önemli bir ölçüsü, gözlemin gerçekleşen olaylardan ne kadar sapma gösterdiğidir. Tahmin henüz gerçekleşmemiş olayları öngörme süreci olsa da tahmin analizlerinde gerçek değerler simüle edilmektedir. Simülasyon sonuçları belirli bir zaman aralığındaki gerçek değerleri yaklaşık olarak ele almaktadır. Bu şekilde model çıktısı tahmine, doğrulama verileri de gözleme karşılık gelmektedir. Böylece geriye dönük tahmin modelinin doğrulanması, modelin çıktısının tahminle karşılaştırılması ile gerçekleştirilmektedir (Jolliffe ve Stephenson, 2011: 2; Morley vd., 2018: 69).

#### **3.2.3.1. Hareketli Ortalama (Moving Average-MA)**

Zaman içinde veri toplamalarında rastgele değişimlerin etkisiyle karşılaşılmaktadır. Bu rastgele değişimlerin etkisini minimize etmek için endüstride yaygın olarak kullanılan yöntem “düzeltme/yumuşatma”dır. Doğru bir şekilde uygulandığı takdirde bu teknik altta yatan trendi, mevsimsel ve döngüsel bileşenleri daha belirgin bir şekilde ortaya çıkarmaktadır. İki farklı yumuşatma yöntem grubu vardır: (1) Ortalama alma yöntemleri, (2) Üstel düzeltme yöntemleri (NIST, 2024e). Hareketli ortalama süreci, zaman serisi analizinin temel modellerinden birisidir

(Durbin, 1959: 306). Hareketli ortalama, bir değişkenin  $t$  dönemindeki değerini, aynı dönemdeki hata terimi ( $\varepsilon_t$ ) ve hata teriminin önceki dönemlere ait gecikmeli değerleri ile belirlemektedir (Göktaş, 2005: 83). Genellikle mühendislikteki istatistiki metotlarda ortalama, merkezi bir değerin her iki tarafındaki eşit sayıdaki veri örneğinden elde edilmektedir. Ancak hareketli ortalama, önceki verilerin ağırlıklandırılmamış ortalaması alınarak ortalamaadaki değişimlerin veri setindeki değişimlerle uyumlu olması ve zaman içinde kayma yaşanmaması sağlanmaktadır.

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t + \beta_t \varepsilon_{t-1} \quad (1)$$

- $Y_t$ :  $t$  zamandaki gözlemlenen değeri,
- $\mu$ : Zaman serisinin ortalama seviyesi,
- $\varepsilon_t$ :  $t$  zamandaki rastgele hata terimini,
- $\beta_t$ :  $t$  zamandaki regresyon katsayısını,
- $\varepsilon_{t-1}$ :  $t - 1$  zamandaki rastgele hata teriminin önceki döneme ait değerini temsil etmektedir.

Denklem (1) ile ifade edilmektedir. Hareketli ortalama zaman serilerinde yaygın kullanıma sahip olsa da modeldeki, parametrelerin etkin tahminine yönelik çabaların başarı düzeyi, Maksimum Olabilirlik<sup>2</sup> (*Maximum Likelihood Estimation*) denkleminin karmaşıklığı nedeniyle sınırlı kalmıştır (Durbin, 1959: 306).

### 3.2.3.2. Üstel Yumuşatma (Exponential Smoothing)

Üstel yumuşatma/düzeltilme, geleceği tahmin etmek amacıyla ayrık zaman serilerini yumuşatmak için yaygın kullanıma sahip prosedür sınıfıdır. Bu yöntem, nispeten basit olması, hesaplama verimliliği, tahmin sürecindeki değişikliklerin yanıtlanma kolaylığı ve makul doğruluğundan dolayı sıkça tercih edilmektedir (Montgomery vd., 2015: 171-173). Bu nedenle üstel yumuşatma yöntemleri, tahmin ve öngörü oluşturmak için nispeten basit ve güvenilir yaklaşımlar olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem özellikle iş dünyasında, talep tahminleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Gardner, 1985: 3; Ravinder, 2013: 117). Bununla birlikte, karmaşık koşullardaki tahminlemelerde birçok yöntemle kıyasla üstün performans göstermektedir (Makridakis vd., 1982: 114; Makridakis ve Hibon, 2000: 451).

Üstel yumuşatmanın amacı, hareketli ortalama benzer şekilde orijinal seriyi düzeltmek ve düzeltilmiş seriyi, ilgili değişkenin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için kullanmaktır. Ancak

---

<sup>2</sup> Maximum Likelihood Estimation (MLE), bir modeldeki parametreleri tahmin etme yönteminde kullanılan istatistiksel bir yaklaşımdır. MLE, olabilirlik fonksiyonunu maksimize eden parametre değerlerini bulmayı amaçlamaktadır. Diğer bir ifade ile gözlemlenen verilerin, varsayılan istatistiksel model altında en olası hale gelmesini sağlayan parametre değerlerini belirlemeye odaklanmaktadır.

hareketli ortalamalarda gözlemlere atanan aynıdır ve  $1/N$ 'ye eşittir. Ancak üstel yumuşatmada tahmin edilmesi gereken birçok yumuşatma parametresi bulunmaktadır. Üstel yumuşatma yöntemi, üstel olarak azalan ağırlıkları kullanarak geçmiş gözlemleri ağırlıklandırmaktadır (NIST, 2024f). Böylece tahmin, geçmiş gözlemlerin üstel ağırlıklı ortalamasından yapılır. Mevcut gözleme en büyük ağırlık verilmekte, hemen önceki gözleme daha az, ondan önceki gözleme ise daha da az ağırlık verilmekte ve bu sirkülasyon böyle devam etmektedir. Üstel düzeltme, tahmine yönelik basit ve pragmatik bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Ostertagova ve Ostertag, 2011: 380; Sounderpandian, 2008: 579-582).

Üstel düzeltmenin üç temel çeşidi arasında yer alan (1) basit üstel düzeltme, (2) trend düzeltmeli üstel düzeltme (Holt, 2004: 5) ve (3) Holt-Winters'ın yöntemi (Winters, 1960: 324) yaygın kullanıma sahiptir. Bu yaklaşımların iki temel ayırt edici özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki zaman serilerinin; seviyesi, büyümesi ve mevsimsel etkileri gibi gözlemlenemeyen bileşenlerden oluştuğu varsayımıdır. İkincisi ise talep serilerinin ürün pazarlarındaki yapısal değişikliklerin etkilerini gösterdiğinde bu bileşenlerin zaman içinde uyarlanması gerektiğidir. Üstel yumuşatma yönteminde bu bileşenler toplama veya çarpma operatörleri ile 24 çeşide ulaşmaktadır (Hyndman vd., 2002: 444). Çoğalan seçenekler göz önüne alındığında, yöntem seçiminde en fazla tercih haline gelmektedir (Billah vd., 2006: 239-240; Gardner, 1985: 5; McKenzie, 1985: 33).

### 3.2.3.2.1. Basit Üstel Yumuşatma (Single Exponential Smoothing – SES)

Üstel yumuşatma, gelecekteki değerleri öngörmek için geçmiş gözlemleri üstel olarak azaltarak ağırlıklandıran bir tahmin yöntemidir. Bu yumuşatma yöntemi; düzeltilmiş gözlem veya Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama<sup>3</sup> (*Exponentially Weighted Moving Average/S*) ve orijinal gözlem ( $y_t$ ),  $S_2$ 'yi  $y_1$ 'e ayarlayarak başlamaktadır. Alt indeksler zaman periyotlarına,  $1, 2, \dots, n$ 'ye atıfta bulunmaktadır. Üçüncü periyot için  $S_3 = \alpha y_2 + (1 - \alpha)S_2$  olacak şekilde devam etmektedir.  $S_1$  yoktur ve düzeltilmiş seri, ikinci gözlemin düzeltilmiş sürümü ile başlamaktadır. Buna göre bir  $t$  periyodu için, düzeltilmiş  $S_t$  denklemi şu şekildedir:

$$S_t = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad t \geq 3 \quad (2)$$

Yukarıdaki verilen üstel yumuşatmanın temel denklemidir (2). Sabit ya da parametre  $\alpha$  düzeltme sabiti olarak adlandırılır. Ayrıca temel denklemde,  $y_{t-1}$ 'in yerine  $y_t$  (mevcut gözlem) ile değiştirilen alternatif bir yaklaşım bulunmaktadır (Brown ve Meyer, 1961: 679; NIST, 2024c).

<sup>3</sup> Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (*EWMA*), zaman serisi verisini düzeltmek ya da yumuşatmak için kullanılan istatistiksel bir yöntem olup, geçmiş gözlemlere üstel olarak azalan ağırlıklar vererek hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, yakın zamandaki gözlemleri daha fazla ağırlıklandırırken, geçmiş zamandaki verileri daha az ağırlıklandırmaktadır. Böylece, elde edilen nihai değerler, zaman içindeki değişimlere daha hızlı ve duyarlı olabilecektir.

### 3.2.3.2.2. Çift Üstel Yumuşatma (Double Exponential Smoothing – DES)

Çift üstel yumuşatma, iki sabit kullanmaktadır ve bu nedenle eğilimleri elde etme konusunda daha etkilidir. Basit üstel yumuşatma tek bir trend olduğunda veriyi takip etme konusunda başarılı olamamaktadır. Bu durumu iyileştirmek için  $\alpha$  ile seçilmesi gereken ikinci bir sabit,  $\gamma$ , ile ikinci bir denklemin tanıtılması gerekmektedir.

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha y_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) & 0 \leq \alpha \leq 1 \\ b_t &= \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} & 0 \leq \gamma \leq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklem (3), ikinci bir parametrenin eklendiği çift üstel yumuşatma denklemdir. Çift üstel yumuşatma içinde, serinin güncel değeri, düzeltilmiş değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Yukarıda yer alan ilk denklem, bir önceki periyodun eğilimi  $b_{t-1}$ 'i doğrudan son düzeltilmiş değer  $S_{t-1}$ 'e ekleyerek ayarlamaktadır. Bu düzeltme, gecikmeyi ortadan kaldırmaya yardımcı olmakta ve  $S_t$ 'yi güncel değere uygun hale getirmektedir. İkinci denklem, eğilimi güncellemektedir. Bu yapılan işlem, son iki değer arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Denklem, basit üstel yumuşatmanın temel formuna benzese de eğilimin güncellenmesi için uygulanmaktadır.  $\alpha$  ve  $\gamma$  değerleri, Marquardt Algoritması<sup>4</sup> gibi doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri kullanılarak elde edilebilmektedir (Brown ve Meyer, 1961: 679; NIST, 2024a).

### 3.2.3.2.3. Üçlü Üstel Yumuşatma (Triple Exponential Smoothing – TES)

Zaman serilerinde veriler her zaman doğrusal bir şekilde ilerlememektedir. Bazen veriler trend ve mevsimsellik göstermektedir. Bu durumlarda çift üstel yumuşatma yöntemi tercih edilmemektedir. Mevsimselliğin ele alınması için üçüncü bir parametre eklenmesi gerekir. Bu tür denklemler dizisine Holt-Winters (HW) yöntemi adı verilmektedir. HW yöntemlerine ilişkin temel denklemler (4) şu şekilde ifade edilmektedir (Brown ve Meyer, 1961: 679; NIST, 2024d).

$$\begin{aligned} \text{Genel Yumuşatma (Overall Smoothing): } S_t &= \alpha \frac{Y_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_t - 1) \\ \text{Trend Yumuşatma (Trend Smoothing): } b_t &= \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \\ \text{Mevsimsel Yumuşatma (Seasonal Smoothing): } I_t &= \beta \frac{Y_t}{S_t} + (1-\beta)I_{t-L} \\ \text{Tahmin (Forecast): } F_{t+m} &= (S_t + mb_t)I_{t-L+m} \end{aligned} \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

---

<sup>4</sup> Marquardt Algoritması, özellikle doğrusal olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, parametre tahminleme problemleri için etkilidir ve matematiksel modellemelerde, regresyon analizlerinde veri seti için en uygun parametreleri belirleme konusunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

- $Y$ : Gözlem değerlerini,
- $S$ : Yumuşatılmış gözlem değerlerini,
- $b$ : Trend faktörünü,
- $I$ : Mevsimsel indeksi,
- $F$ :  $m$  dönem ilerisindeki tahmini,
- $t$ : Zaman dilimini ifade eden bir endeksi,
- $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ : Hatayı en aza indirecek şekilde tahmin edilmesi gereken sabitleri temsil etmektedir.

HW yönteminin uygulanması için en az bir tam mevsimsel veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sebebi mevsimsel endekslerin başlangıç tahminlerini belirlemek için gerekli olmasıdır. Buna göre ilk eğilimin tahmin edilmesi için genel formül (5) şu şekildedir:

$$b = \frac{1}{L} \left( \frac{y_{L+1} - y_1}{L} + \frac{y_{L+2} - y_2}{L} + \dots + \frac{y_{L+L} - y_L}{L} \right) \quad (5)$$

Bir tam mevsimsel veri,  $L$  periyottan oluşmaktadır ve bir dönemden diğerine kadar geçen süre içerisindeki eğilim faktörünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Bunun için iki tam mevsimin ( $2L$  periyot) kullanılması önerilmektedir.

### 3.2.3.3. Doğrusal Regresyon (Linear Regression)

Regresyon analizi, tek bir bağımlı değişken ile bir ya da daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Analiz, verilerin doğrusal birleşiminden kaynaklanan kriter için tahmini bir değer vermektedir. Regresyon analizinin literatürde temel iki kullanımı mevcuttur: (1) Sınıflandırma da dahil tahmin, (2) Açıklama (Palmer ve O'Connell, 2009: 23). Regresyon analizi yalnızca bir değişken ile gerçekleştirildiğinde tek değişkenli regresyon; iki veya daha fazla değişkeni ile gerçekleştirildiğinde ise çok değişkenli regresyon olarak tanımlanmaktadır. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizi, verilere doğrusal bir denklem oluşturarak değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemeye çalışmaktadır. Tek değişkenli doğrusal regresyon denklemi; doğrusal fonksiyonun sabiti ( $\beta_0$ ), doğrusal fonksiyonun eğimi ( $\beta_1$ ) ve hata ( $\epsilon$ ) terimini gösteren  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$  formülünden oluşmaktadır (Fumo ve Rafe Biswas, 2015: 334). Regresyon analizine ilişkin detaylı bilgiler tezin Regresyon Analizi başlığında ayrıca ele alınmaktadır.

### 3.3. Tahmin Modelinin Performans Ölçümü

Tahmin modelinde değişkenlerin seçimine ve çapraz doğrulamaya oldukça önem verilmektedir. Böylelikle modelin doğruluğu, verimliliği ve stabilitesi belirlenebilecektir (Palmer ve

O'Connell, 2009: 23). Scalar doğruluk ölçümleri (*Scalar Accuracy Measures*), modelin performansını değerlendirerek, bireysel tahmin ve gözlem değerleri arasındaki ortalama uyumu tanımlamaktadır (Murphy, 1993: 284). Model performansının değerlendirilmesi için çeşitli ölçüm yöntemleri kullanılabilir (bkz. Déqué, 2011: 76; Walther ve Moore, 2005: 818). Temel metriklerin anlaşılabilmesi adına öncelikle tahmin hatasının ele alınması uygun olacaktır.

$$\varepsilon = y - x \quad (6)$$

Bu denklemde x gözlemi, y ise tahmin edilen değeri temsil etmektedir. Tahmin hatası; tahminin altında olduğunda negatif, aşırı tahmin durumunda ise pozitif değer vermektedir.

**Tablo 2: Temel Metrik Özeti**

| Metrik                       | Denklem                                                                       | Simetrik | Ölçek/Sıra Bağımlılığı | Açıklama                                                        |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <i>Hata metrikleri</i>       |                                                                               |          |                        |                                                                 |
| $\varepsilon$                | $y - x$                                                                       | ✓        | Ölçek                  | Tahmin hatası                                                   |
| Q                            | $y/x$                                                                         | ✗        | Sıra                   | Oran; tahmin göreceli hatasının tamamlayıcısı                   |
| <i>Performans Metrikleri</i> |                                                                               |          |                        |                                                                 |
| MSE                          | $\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2\right)$                       | ✓        | Ölçek                  | Farklı birimler/ölçek; kuadratik ceza                           |
| RMSE                         | $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$                             | ✓        | Ölçek                  | Aynı birimlerde (x, y); kuadratik ceza                          |
| MAE                          | $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  \varepsilon_i $                                    | ✓        | Ölçek                  | Aynı birimlerde (x, y); lineer ceza                             |
| MdAE                         | $M_{ \varepsilon_i }$                                                         | ✓        | Ölçek                  | Aynı birimlerde (x, y); lineer ceza, sağlam ve dirençli         |
| MAPE                         | $\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{\varepsilon_i}{x_i} \right $         | ✗        | Sıra                   | Yüzde; aşırı tahminlere daha ağır ceza uygular                  |
| SMAPE                        | $100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{y_i - x_i}{(x_i + y_i)/2} \right $ | ✓        | Sıra                   | Yüzde; sezgisel olmayan normalleştirme, x = 0 durumunu ele alır |
| $\varsigma$                  | $100(e^{(M(\log_e(Q_i)))} - 1)$                                               | ✓        | Sıra                   | Yüzde; sağlam ve dirençli                                       |
| <i>Trend Metriği</i>         |                                                                               |          |                        |                                                                 |
| ME                           | $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$                                      | ✓        | Ölçek                  | x, y ile aynı birimler                                          |
| MPE                          | $\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{x_i}$                        | ✗        | Sıra                   | Yüzde; aşırı tahminlere daha ağır ceza uygular                  |
| MdLQ                         | $M \log_e(Q_i)$                                                               | ✓        | Sıra                   | Farklı ölçek                                                    |
| SSPB                         | $100 \operatorname{sgn}(MdLQ)(e^{(MdLQ)} - 1)$                                | ✓        | Sıra                   | Yüzde; sağlam ve dirençli                                       |

**Kaynak:** Morley vd., 2018: 71

Bir modelin belirli bir veri örneğine ne kadar iyi uyduğunu açıklayan birçok istatistiksel ölçüm bulunmaktadır (Montgomery vd., 2015: 49). Tablo 2’de, tahmin analizlerine yönelik temel performans metrikleri özetlenmiştir. Tablo 2’de sütunlar sırasıyla; metrik kısaltmalarını, tanımları, cezanın simetrik olup olmadığını, metriğin ölçek veya sıraya bağımlı olup olmadığını göstermektedir. Hata metriklerinin ölçek veya sıraya bağımlı olması, metriğin ölçüm şeklini ve sonuçların bu ölçüm üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Ölçek bağımlılığı (*scale dependency*), sonuçların ölçüm birimlerine veya ölçek faktörlerine bağlı olarak değişeceğini; sıra bağımlılığı (*order dependency*) ise veri noktalarının sıralanmasına diğer bir ifade ile değerlerin hangi sıra ile geldiğine duyarlıdır. Bu hassasiyet metriğin sonuçlarını etkileyebilir (Morley vd., 2018: 71).

### 3.3.1. Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error – MAPE)

Zaman serilerinin özelliklerine ve analizin hedeflerine bağlı olarak tahmin yöntemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılan ölçümlerin seçimi değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, Ortalama Kare Hatası (*Mean Squared Error – MSE*) ve Ortalama Mutlak Hata (*Mean Absolute Error – MAE*) genellikle yaygın olarak kullanılan ölçümler olmasına rağmen, avantajları bazı durumlarda dezavantaja neden olabilmektedir. Özellikle tahmin yöntemlerinin performansının farklı zaman serileri arasında karşılaştırılması gerektiği durumlarda MSE ve MAE gibi doğruluk ölçümleri uygun olmamaktadır. Bunun başlıca sebebi, seriler arasındaki gözlemlerin ölçeğinde büyük farklılıklar oluşmasıdır. Bazı durumlarda büyük değerlere sahip zaman serileri birkaç serinin karşılaştırılmasında baskın rol oynayabilmektedir (Chatfield, 1988: 595). Böyle durumlarda birimsiz ölçümlerin kullanılması gerekmektedir. MAPE bu türden en yaygın kullanılan ölçümdür (Armstrong ve Collopy, 1992: 70).

$t = e_t = A_t - F_t$  denklem  $t$  zamandaki tahmin hatasını ifade etmektedir. Denklemden yer alan,  $A_t = t$  zamandaki gerçek gözlemi ve  $F_t = t$  periyodu için yapılan tahmini temsil etmektedir.

$$\text{Yüzde hata} = \frac{A_t - F_t}{A_t} \times 100$$

$t$  periyodu için mutlak yüzde hata:

$$\begin{aligned} (APE_t) &= \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100 \\ MAPE &= \sum_{t=1}^N APE_t / N \end{aligned} \quad (7)$$

MAPE, her bir veri noktasının mutlak yüzde hatasını alır, bu hataları birleştirir ve ortalamalarını alarak genel bir yüzde hatası elde etmektedir. Yüzde hatalarını kullanması ile farklı büyüklükteki veri setlerini karşılaştırmak için ideal bir yöntemdir. MAPE için tek bir zaman serisinde

1'den N'ye kadar olan periyotlarda yapılan tahminlerin ortalama mutlak yüzde hatasını hesaplayan denklem (7) yukarıda verilmektedir (Goodwin ve Lawton, 1999: 405).

### 3.3.2. Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hatası – (Symmetric Mean Absolute Percentage Error – SMAPE)

Yaygın kullanıma sahip olmasına rağmen MAPE'nin birçok dezavantajı bulunmaktadır. Makridakis (1993: 528) çalışmasında, MAPE'nin asimetrik olduğunu ifade etmiş ve gerçek değerin üzerindeki eşit hataların, gerçek değerin altındaki hatalardan daha büyük bir Mutlak Yüzde Hata (*Absolute Percentage Error – APE*) değeri ile sonuçlandığını göstermiştir. Armstrong ve Collopy (1992: 70), MAPE'nin, yalnızca oran ölçekli veriler için geçerli olduğunu ve gerçek değeri aşan tahminlere, gerçek değerden daha düşük olanlara kıyasla daha ağır bir ceza uyguladığını belirtmiştir. Örneğin, MAPE düşük değerlerde %100'lük bir hatayla sınırlandırmışken yüksek değerlerde sınırlama bulunmamaktadır. Makridakis (1993: 529), bu durumun önüne geçebilmek için, mutlak hatayı gerçek gözlem ve tahminin ortalamasına bölen değiştirilmiş bir APE kullanılmasını önermiştir:

$t$  periyodu için düzeltilmiş APE:

$$APE = \left| \frac{A_t - F_t}{(A_t + F_t)/2} \right| \times 100 \quad (8)$$

Bu ölçüm denklemi (8) zamanla Düzeltilmiş Mutlak Yüzde Hatası (*Smoothing Absolute Percentage Error – SAPE*) olarak adlandırılmıştır (O'Connor vd., 1997: 169). Bir tahmin kümesi üzerinde ortalama alındığında, SMAPE gerçek değerlerin büyüklüğünü ve tahmin değerlerinin büyüklüğünü dikkate almaktadır. Böylece oransal hata ölçümü daha dengeli bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

### 3.4. Regresyon Analizi (Regression Analysis)

Gelecek ile ilgili belirsizlikler insanları tedirgin etmiş ve bu belirsizliği azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yönelik çabalar çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Geçmişte, karar vericiler, geleceği önceden tahmin edip hazırlıklı olabilmek için bilimsel olmayan yöntemlere başvurmuştur. Ancak, II. Dünya Savaşı sonrasında matematikçiler, istatistikçiler ve ekonomistler, bilimsel yöntemleri kullanarak çeşitli belirsizlikleri tahmin edebilmek için istatistiksel tahmin teknikleri geliştirmişlerdir. Bu teknikler genellikle, ilişkilere dayalı tahmin teknikleri ve zaman serileri analizleri olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir. İlişkilere dayalı tahmin teknikleri, tahmin edilecek değişkeni etkileyen faktörleri belirleyip, bu ilişkiyi matematiksel bir fonksiyonla ifade etmeye dayanmaktadır. İstatistik kaynaklarında İlişki Analizi (*Relation Analysis*), Regresyon Analizi veya Tahmin Teknikleri (*Forecasting Techniques*) olarak adlandırılan bu önemli istatistik tekniği,

tahmin yapmanın yanı sıra karar vericilere politika belirleme konusunda da yardımcı olmaktadır. Bu analiz, politika oluşturmada yol gösterici bir rol üstlenerek, diğer tahmin tekniklerine üstünlük sağlamaktadır (Orhunbilge, 2017: 1-2).

İki değişken arasında belirgin bir ilişki olduğunda, aralarındaki bu ilişki dağılım grafiğindeki noktalar arasından geçen uygun bir doğru ile açıklanabilmektedir. Bu doğruya regresyon doğrusu adı verilmektedir ve matematiksel bir denklemle ifade edildiğinde regresyon denklemi (eşitlik) adını almaktadır. Regresyon denklemi, bağımlı değişkenin alacağı değerleri hesaplamak için kullanılabilmektedir. Eğer iki değişken arasında tam bir ilişki bulunuyorsa ( $r = \pm 1$ ) dağılımındaki bütün noktalar regresyon doğrusu üzerinde yer alır ve iki değişken arasındaki gerçek ilişki regresyon denklemi ile ifade edilen ilişkinin tam bir uyum içinde olduğu anlamına gelir. Ancak genellikle iki değişken arasındaki ilişki tam olarak doğrusal olmamaktadır. Çoğu kez regresyon doğrusu bütün noktaların üzerinden geçemez ve dağılımı yaklaşık olarak temsil edebilmektedir (Sümbüloğlu ve Akdağ, 2007: 19).

Regresyon denkleminde (9) üç ana terim mevcuttur. Bunlar  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\varepsilon$  olarak temsil edilir. Bu terimler şu şekilde açıklanabilmektedir:

$\alpha$  = Sabit, doğrunun y eksenini kestiği noktadır. Bağımsız değişken değerinin 0 olduğu durumda bağımlı değişkenin aldığı değeri göstermektedir.  $\alpha$ , bazı denklemlerde,  $\beta_0$  olarak da gösterilebilmektedir.

$\beta$  = Eğim, bağımsız değişkende meydana gelen değişimden kaynaklı bağımlı değişkende görülen değişimdir. Eğimin katsayı işareti iki değişken arasındaki ilişkiye göre pozitif (+) veya negatif (−) olabilmektedir.  $\alpha$ ,  $\beta_0$  olarak ifade edildiği durumda  $\beta$ ,  $\beta_1$  şeklinde temsil edilebilmektedir.

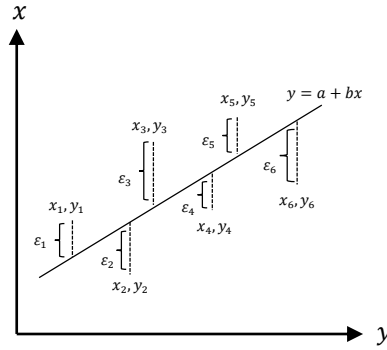
$$\beta = r_{xy} \frac{s_y}{s_x} \text{ (y ve x'in standart sapması eşit ise } \beta = r_{xy} \text{)}$$

$$\beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad (9)$$

$\varepsilon$  = Hata (error), regresyon tahminlerinin %100 doğru olma özelliği bulunmamaktadır. Şekil 5'te gösterildiği gibi genellikle gözlem değerleri doğru üzerinde rassal bir şekilde sapmalar göstermektedir.  $\varepsilon$  (10), gözlenen değer ile tahmin değeri arasındaki farkı temsil etmektedir.

$$\varepsilon = y - \hat{y} \quad (10)$$

Şekil 5: Hataların Dağılımı



Kaynak: Orhunbilge, 2017: 7

Basit doğrusal regresyon analizi, temelde Y bağımlı değişkeninin tek bir bağımsız (açıklayıcı) değişkeni X ile olan ilişkisinin doğrusal bir fonksiyonla ifade edilmesine dayanmaktadır. Anakütle için basit doğrusal regresyon denklemi (11):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (11)$$

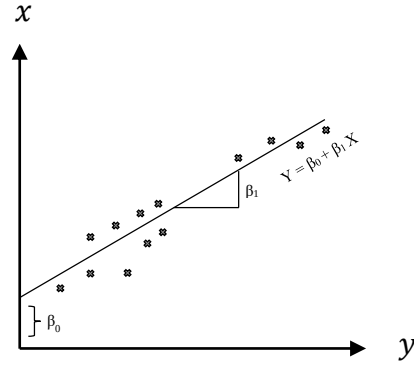
$\beta_0$  doğrusal fonksiyonun sabitidir.  $\beta_1$  ise doğrusal fonksiyonun eğimidir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi ise veri kümesinin, tek bağımlı değişken ve birden çok bağımsız değişkeni içerdiği fonksiyondur. Buna göre anakütle için çoklu doğrusal regresyon denklemi (12):

$$Y = \beta_0 * X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \dots \beta_n X_n + \varepsilon \quad (12)$$

Regresyon analizinde, bağımsız değişken X'inde meydana gelen bir birimlik değişiklik, bağımlı değişken Y'de ne kadarlık bir değişme yarattığını gösteren regresyon katsayısıdır. Analizde kullanılacak fonksiyon tipinin belirlenmesi için, genellikle bir serpilme diyagramı (*scatter plot*) çizilerek başlatılmaktadır. Aşağıda yer alan Şekil 6'da, gözlem noktalarının doğrusal bir eğri üzerinde yer aldığı görülmektedir.  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametreleri regresyon doğrusunun eğiminin pozitif olduğunu göstermektedir.  $\beta_1$ 'in işareti iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü belirtmektedir. Buna göre,  $\beta$ 'nin işareti pozitifse, değişkenler birlikte artıyor veya azalıyor demektir. Tam aksine, değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyorsa  $\beta_1$ 'in işaret negatif olacaktır.  $\beta_1$ 'in 0 olması, iki değişken arasında bir ilişki olmadığını ifade etmektedir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere regresyon katsayısının alt sınırı 0'dır, fakat üst sınırı bulunmamaktadır. Bu sebeple regresyon denkleminin incelenerek ilişkinin gücü hakkında kesin bir yorum yapmak mümkün değildir (Orhunbilge, 2017: 6).

Şekil 6: Serpilme Diyagramı



Kaynak: (Orhunbilge, 2017: 6)

Regresyon analizinde  $\varepsilon$ , artık ya da kalıntı (*residual*) olarak ifade edilmektedir.  $\varepsilon = (Y - Y')$ 'dir ve  $Y'$  tahmini bağımlı değişken değerini göstermektedir. Regresyon denkleminde  $X$  yerine gözlem değerleri  $X$ 'ler eklenerek elde edilmektedir. Denklemden hareketle,  $Y - Y'$  regresyon denklemiyle yapılan tahminin hatasını vermektedir. Diğer bir ifade ile,  $Y'$ ,  $Y$ 'nin  $X$  ile açıklandığı kısmı,  $Y - Y'$  ise  $X$  ile açıklanamayan kısmı göstermektedir (Orhunbilge, 2017: 6).

### 3.4.1. En Küçük Kareler Yöntemi (Least Squares Method – LS)

Literatürde en küçük kareler yöntemi yakın zamanda ortaya çıkmış (Golub, 1973: 318; Golub ve van Loan, 1980: 884) olsa da istatistiksel literatürde dikey regresyon (*orthogonal regression*), değişken hataları (*errors-in-variables*) ve ölçme hatası (*measurement errors*) olarak bilinen köklü bir geçmişe sahiptir (Markovsky ve Van Huffel, 2007: 2286). Sayısal analiz, mühendislik alanlarında da sıkça kullanılan bu yöntem, büyük ölçüde istatistik alanında karşımıza çıkmaktadır.

Daha önce de ifade edildiği gibi en küçük kareler yöntemi, regresyon analizinde veri noktalarının doğruya olan uzaklıklarının karelerini alarak bu hataların toplamını minimize etmeye çalışır. Bu şekilde, regresyon doğrusu veri noktalarına en iyi şekilde uyan bir doğru oluşturulabilmektedir. Bu yöntem, regresyon analizi ve istatistiksel modelleme alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Golub ve van Loan, 1980: 887; Miller, 2006: 2; Uğuz, 2021: 105).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad (13)$$

Yukarıda verilen denklemde (13) de ifade edildiği gibi en küçük kareler yöntemi, toplam kare hataları minimize etmek amacıyla katsayıları belirlemektedir.

Toplam kare hataları şu şekilde formüle edilir:

$$SSE = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (14)$$

En küçük kareler yönteminin esas amacı  $SSE$ 'yi minimize eden  $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_k$  katsayılarını bulabilmektir. Çözüm süreci genellikle türevlerinin alınması (*diferansiyel*) ve matris hesapları ile gerçekleştirilmektedir. Nihai çözüm, katsayıların optimal değerlerini vermektedir. Bu da toplam kare hatalarının en küçük noktasını temsil etmektedir (Miller, 2006: 5).

### 3.4.2. Doğrusal Regresyon (Linear Regression – LR)

Şekil 6'daki serpilme diyagramı incelendiğinde, eğer  $X$  değeri karşısında belirgin bir doğrusal eğim varsa,  $X$ 'in  $Y'$ 'ye göre matematiksel bir doğrusal ilişkisi olduğuna karar verilebileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda, kesin olmasa da gözlem noktaları arasından birçok doğrusal fonksiyon geçebilir. Doğrusal fonksiyonlar arasından en uygununu bulmak için, tüm olası doğrusal fonksiyonlar arasından  $Y'$  gözlem değerlerine en yakın tahmini  $Y'$  değerini sağlayan fonksiyonu belirlemek gerekmektedir. Böylelikle veri noktalarına en uygun doğrusal fonksiyon belirlenebilecektir. Buradan hareketle hatası,  $\varepsilon = y - y' = y - b_0 - b_1x = \min$  olan fonksiyon seçilmelidir. Tüm gözlem değerleri için bu durumun geçerli olması gerektiğine göre, Denklem (15)'in uygulanması gerekmektedir.

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1x_i)^2 = \min \quad (15)$$

Bu yöntem ise, en küçük kareler yöntemi olarak ifade edilmektedir. Böylece elde edilen basit doğrusal regresyon denklemi, en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunacaktır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen basit doğrusal regresyon denklemi, hata karelerinin toplamını minimize eden bir doğru bulmaya çalışarak, veri noktaları arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde temsil etmeyi hedefleyen bir denklemdir. Bu denklemde minimum sonuca ulaşabilmek için,  $b_0$  ve  $b_1$  katsayılarına göre birinci dereceden türevlerinin 0'a eşitlenmesi gerekmektedir (Orhunbilge, 2017: 9).

### 3.4.3. Doğrusal Olmayan Regresyon (Polynomial Regression – PR)

Bağımsız değişkenin, bağımlı değişkenle olan ilişkisi her zaman doğrusal değildir. Şekil 6'da verilen serpilme diyagramlarında da görüleceği üzere, bu ilişki bazen de eğriseldir. Eğrisel fonksiyonlar ikinci (parabol) (16), üçüncü (17) ve daha üst derecelerde olabilir.

$$2. \text{ Dereceden Denklem: } y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon \quad (16)$$

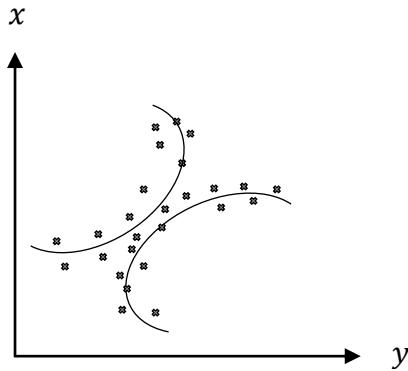
$$3. \text{ Dereceden Denklem: } y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \varepsilon \quad (17)$$

$b_0$  sabit,  $b_1$  fonksiyonunun eğimi,  $b_2$  eğimin değişme oranı,  $b_3$  bükümün derecesine değişme oranını temsil etmektedir.

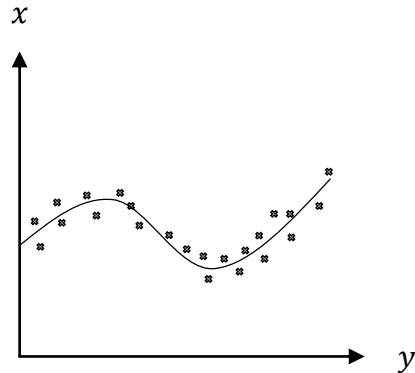
İlişki analizlerinde daha üst derecelerden fonksiyonlar kullanılamamaktadır. Bunun başlıca sebebi analizlerin çoğunlukla örnek verilerden gerçekleştirilmesidir. Örnek veriler ile yapılan analizlerde üst dereceden fonksiyonlar sonuçların örnek değerlerine çok sıkı bağlanmasına neden olmaktadır. Aynı şekilde anakütle verileriyle çalışıldığı durumlarda da üst derece fonksiyonlar tercih edilmemektedir. Bunun sebebi ise belirli bir yıl verileri ile sıkı bağımlı sonuçlar elde edilmesidir. Bahsi geçen her iki durumda da sonuçların genelleştirilmesi zorlaşmaktadır.

Eğer, Şekil 7'deki gibi çeşitli  $X$  değerlerinin karşısındaki  $Y$  değerleri eğimli ise, doğrusal korelasyon katsayısı düşük çıkacaktır. Bu durum, iki değişken arasındaki değişkenin doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7: Eğrisel Fonksiyonlar



(a) İkinci Derece Fonksiyon



(b) Üçüncü Derece Fonksiyon

**Kaynak:** (Orhunbilge, 2017: 37)

Veriler arasında ilişki, Şekil 7 (a) grafiğinde, tek bir bükülme noktası gösteriyorsa bu ikinci derece denklemi, bükülme noktası Şekil 7 (b) grafiğinde veriyorsa üçüncü derece regresyon denkleminin yazılması doğru olacaktır. Gözlem noktaları arasından bir dizi ikinci dereceden fonksiyon geçebilmektedir. Bu yöntemler arasında en iyi tahmini elde etmek için en küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilen denklem kullanılmaktadır (Orhunbilge, 2017: 37).

### 3.5. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi iki veya daha fazla değişkenin, arasındaki ilişkiyi ölçen istatistiksel bir yöntemdir (Sümbüloğlu ve Akdağ, 2007: 9). Bağımsız değişken(ler) ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi oran olarak ölçen, Pearson Korelasyon Katsayısı (*Pearson Correlastion Coefficient*) hesaplanmasına dayanmaktadır. Pearson Korelasyon Katsayısı, veri setlerindeki değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi ifade etmekte ve ilişkinin pozitif veya negatif yönünü bununla birlikte gücünü göstermektedir. Ana kütle verileri için korelasyon katsayısı  $\rho$  ile, örnek verileri için  $r$  ile ifade edilmektedir ve  $\pm 1$  arasında bir değer almaktadır (Orhunbilge, 2017: 1763; Schober vd., 2018: 1763-1764).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (18)$$

Denklemden (18) yer alan  $r$ , korelasyon katsayısını temsil etmektedir ve bu katsayının 1'e yaklaşması ilişkinin güçlü, 0'a yaklaşması ise zayıf olduğunu göstermektedir.

Korelasyon katsayısının işareti, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ifade etmektedir. Eğer değişkenler birlikte artıyor veya azalıyor, korelasyon katsayısı pozitif bir işaret alır ve bu, değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönde olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, eğer değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyor, korelasyon katsayısı negatif yönde bir ilişki olduğunu göstermektedir (Schober vd., 2018: 1764; Sümbüloğlu ve Akdağ, 2007: 12). Özetle, pozitif korelasyon katsayısı, değişkenlerin birlikte hareket ettiğini; negatif korelasyon katsayısı ise ters yönde ilişkinin olduğunu ve değişkenlerden birinin artarken diğerin azaldığını ifade etmektedir.

Korelasyon katsayısı fonksiyon tipi ile bağımsız değişken sayısına bağlı olarak farklı notasyon ve isimler alabilmektedir. Eğer bağımsız değişken sayısı tek ise ve doğrusal ilişki var ise, basit korelasyon katsayısı veya Pearson Korelasyon Katsayısı olarak ifade edilmektedir. Birden fazla bağımsız değişken olduğunda doğrusal ilişki durumunda çoklu korelasyon katsayısı; ilişki eğrisel bir yapıda ise korelasyon indeksi olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, çoklu korelasyon analizinde diğer bağımsız değişkenler sabit tutulup, tek tek bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini gösteren kısmi korelasyon katsayısı da söz konusu olabilmektedir (Orhunbilge, 2017: 17).

### 3.6. Çok Değişkenli Regresyon Analizinde Model Oluşturma

Tahmin amaçlı regresyon analizlerinde, çok sayıda bağımsız değişken ile çalışılabilir. Bu bağımsız değişkenlerden hangisinin veya hangilerinin analize dahil edilmesi gerektiği konusunda

belirsizlikler olabilmektedir (Thompson, 1978: 1). Nitelikli bir veri azaltımı sağlamak için veri ön işleme sürecinde, özellik seçimi yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler ideal modelleri oluşturmak için oldukça kullanışlıdır. Özellik seçimine yönelik literatür geniş bir yelpazeye sahiptir (Jovic vd., 2015: 1201). Bu konudaki literatür, temel olarak adım adım regresyon (Breaux, 1967: 7) ile başlamış ve daha ileri prosedürlere doğru ilerlemiştir (Desboulets, 2018: 1). Bu tezde en temel ve en sık kullanılan üç yöntem ele alınacaktır.

### 3.6.1. Geriye Doğru Eleme (Backward Elimination)

Geriye doğru eleme, makine öğrenimi modeli oluştururken özellik seçiminde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, varyans oranını kullanmaktadır. Modele dahil edilen değişkenlerin sayısı ilk adımda tam  $k$  olarak ifade edilir ve değişkenlerin geriye doğru eleme prosedürü ile son adımda bu sayı 1'e düşer. Eleme sonucunda hesaplanan test istatistikleri ilk adımdan farklı olacaktır (Uğuz, 2021: 131). İlk olarak, tam değişken regresyonu hesaplanır ve her değişkenin silinmesi için  $F$  değerleri değerlendirilir; burada  $F_s = SS_1/MSE_k$ . En düşük  $F_s$  değerine sahip değişken, silinmesi için ilk dikkate alınan değişkendir.

Geriye kalan  $(k - 1)$  değişkenlerden oluşan model için en düşük  $F_s$  değerini veren değişken yani ilk adımda belirlenen değişken hariç tutulduğunda dikkate alınması gereken ikinci değişkendir.  $q$ . adımdaki  $F_s$  değeri (19):

$$F_s = (n - k + q - 1)SS_1/SST - SSR_{(k-q+1)} \quad (19)$$

- $SS_1$ : Toplam Karelerin Regresyonu (*Regression Sum of Squares*)
- $SST$ : Toplam Karelerin Toplamı (*Total Sum of Squares*)
- $SSR$ : Toplam Karelerin Geriye Kalanı (*Residual Sum of Squares*)

Her adımda ilgili  $F_s$  değeri, karşılık gelen kritik  $F$  değeriyle karşılaştırılır. Eğer  $q$ 'uncu adımdaki  $F$  değeri anlamlı değilse,  $q$ 'uncu değişkeni sıfır hipotezi ( $H_0$ )<sup>5</sup> olarak kabul edilir. Anlamlı olan bir  $F_s$  değerine ulaşıldığında başka testler yapılmaz ve anlamlı  $F_s$  değerini oluşturan değişken de dahil olmak üzere geri kalan tüm değişkenler regresyon denkleminde dahil edilir (Thompson, 1978: 10-11).

$F$  değerinin kontrolünün yanı sıra değişkenlerin model üzerindeki etkilerini tespit ederek veri kümesinden kaldırılması için değişken bazında da kontrolleri sağlanmaktadır. Burada, önem derecesi ( $P$  - değeri) esas alınmaktadır.

---

<sup>5</sup> Sıfır hipotezi ( $H_0$ ), değişkenler arasında bir ilişki bulunmadığını; çalışma bulgularında bir etki göstermeyeceğini ancak bilimsel deneye tabi tutulabileceğini savunan bir önermedir (Travers vd., 2017: 2).

Önem derecesi = 5% ya da  $P - değeri = 0,05$  olarak belirlenmektedir.

Analizden analize geçişse de çoğu durumda  $P - değeri \leq 0,05$  olması beklenir. Geriye doğru elemanın bu sürecinde, analize tüm değişkenler dahil edilir ve ardından en yüksek  $P - değeri$  sahip özellik seçilir. Bu değer, analizin başında belirlenen önem derecesinden büyük ise veri kümesinden çıkarılır. Tüm değişkenler  $P - değeri \leq 0,05$  olana ve ideal model oluşturulana kadar bu aşamalar sürdürülmektedir (Srinidhi, 2019).

Mantel (1970: 621), ekleme veya çıkarma yönteminin bağımsız değişkenler arasındaki belirli korelasyonların veya bileşiklerin varlığında değişkenlerin çıkarılmasının, eklenmesine kıyasla üstün geldiğini ifade etmiştir. Bununla birlikte, (Beale, 1970: 910) geriye doğru eleme yönteminin, diğer değişkenlerle yüksek derecede anlamsız korelasyon sebebiyle, nihai modelde varlığının, kareler toplamını ( $R^2$ ) önemli ölçüde azaltabileceğine işaret etmektedir. Böylece, başta önemli gibi görülen ancak diğer değişkenlerle ilişkisiz olan değişkenlerin çıkarılmasıyla  $R^2$ 'nin önemli ölçüde azaldığı belirtilmektedir. Bu durum, ideal modelin etkili bir şekilde oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

### 3.6.2. İleriye Doğru Seçim (Forward Selection)

İleriye doğru seçim yönteminde geriye doğru elemanın aksine değişkenler, ideal bir model elde edilene kadar regresyon denkleminde eklenir. Bu yöntemde değişken ekleme sırası, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ( $y$ ) ile kısmi korelasyon katsayılarına göre belirlenmektedir. Böylece regresyon denkleminde dahil edilmesi gereken ilk değişken  $y$  ile en yüksek korelasyona sahip değişken ( $X_1$ )'dir. Hemen sonraki adımda,  $X_1$  değişkeni göz önüne alındığında  $y$  ile en yüksek korelasyona sahip olan değişken ( $X_2$ ) belirlenir. Bu adımlar, tüm  $k$  değişkenlerinin olası giriş sırası belirlenene kadar devam ettirilir (Thompson, 1978: 10-11; Uğuz, 2021: 131).

Her adımda, doğrusal model kullanılarak ilişkili değişken üzerinde bir  $F$  testi gerçekleştirilir. Doğrusal modele dahil edilen değişkenlerin sayısı ilk adımda 1'den  $k$ 'ye kadar değişiklik göstermektedir.

$$F_s = \frac{SS_1}{\left( SST - \frac{SSR_q}{n - q} \right)} \quad (20)$$

Dolayısıyla ilk  $F$  testinde modelin  $y = \beta_1 X_1 + \epsilon$  olduğu varsayılır. Burada  $X_1$  yukarıda tanımlandığı gibidir ve doğrusal model kullanılarak  $\beta_1 = 0$  hipotezi test edilmektedir. İkinci aşamada  $y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$  modeli ele alınır ve  $\beta_2 = 0$  hipotezi test edilir.  $q$ . adımdaki  $F_s$  istatistiği yukarıda verilen denklem (20) gibidir.

### 3.6.3. Adım Adım Regresyon (Stepwise Regression)

Adım adım regresyon, ileri seçim yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Bu yöntemin her aşamasında değişkenlerin eklenmesi ve çıkarılması için bir hazırlık gerçekleştirilmektedir. İleriye doğru seçim yönteminde olduğu gibi her adımda, yeni bir değişken eklenir. Ardından denklemde halihazırda bulunan tüm değişkenler, en son eklenen değişken varsayılır ve her biri için F değerleri hesaplanır. Anlamlı bir katkısı olmayan,  $F_s$  istatistiğine yol açan değişken modelden çıkarılır. Bir değişkenin dahil edilmesine yönelik  $F_s$  değeri testi anlamsız hale geldiğinde adım sona erer ve bu değişken ve sonraki tüm değişkenler nihai modelin dışında bırakılır. Bu yöntem ile değişkenler üzerinden adım adım ilerlenir ve her adımda istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler yapılarak en iyi modelin bulunması amaçlanır (Thompson, 1978: 11). Adım adım regresyon tekniği bağımsız değişkenler arasında çok az korelasyon varsa ve veri setinde aykırı veriler yoksa genellikle benzer sonuçlar üreterek, aynı bağımsız değişkenlerin modelde tutulmasını sağlayacaktır. Bu nedenle çoklu doğrusal regresyonda, farklı adımsal regresyon tekniklerinin kullanılması önerilmektedir (Uğuz, 2021: 130).

### 3.7. CO<sub>2</sub> ve Küresel Sıcaklık İlişkisini Ölçen Ampirik Literatür

CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklık etkisine yönelik geniş bir literatür mevcuttur. Tablo 3, bu alanda yapılmış ampirik literatürü göstermektedir. Buna göre, CO<sub>2</sub> emisyonuna ilişkin çalışmaların birçoğu İran, Çin, Hindistan ve ABD üzerinde durmaktadır. Bu durumun başlıca nedeni söz konusu ülkelerdeki yoğun karbon salımıdır. Tablo 3'te yer alan tüm çalışmalar farklı ülkelerin CO<sub>2</sub> emisyonuna yönelik yapılan öngörü çalışmalarıdır. Ampirik çalışmalar, birbirinden farklı yöntemlerle yürütülmüştür. Örneğin Lotfalipour vd. (2013) Gri Sistem ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemlerine dayalı üç farklı yöntem ile tahminleme yapmıştır. Yöntemlerin tahmin performansını MAPE, MAE ve RMSE ile ölçmüş ve çalışması dahilindeki verilerle ARIMA Hannan – Rissanen ve Box – Jenkins modelinin optimal sonuçları verdiğini göstermiştir. Ayrıca GM modelindeki öngörü sonucunda, CO<sub>2</sub> emisyonunun 2020 yılında 2010 yılına kıyasla %66 oranında artacağını ifade etmiştir. Kadam ve Vijayumar (2018) denetimli makine öğrenmesi yöntemini uygulamış ve verilerini geçmiş veri seti ile eğiterek bir öngörü sunmuştur.

**Tablo 3: Ampirik Literatür**

| Yazar(lar)&Yıl               | Yayın Adı                                                                                            | Amaç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Değişkenler                                                                                                                         | Tahmin Yöntemi                                                                                                                      | Ölçüm Aracı                                 | Model                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| (Hosseini vd., 2019)         | Forecasting of CO <sub>2</sub> emissions in Iran based on time series and regression analysis        | Çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve çoklu polinom regresyon (MPR) analizi ile İran'ın 2030'daki CO <sub>2</sub> emisyonlarını iki senaryo (Olağan İşleyiş (BAU) ve Altıncı Kalkınma Planı (SDP)) varsayımları altında tahmin etmektedir.                                                                                                              | -Nüfus<br>- CO <sub>2</sub> yoğunluğu<br>-GSYH<br>-Elektrik üretiminden kaynaklanan fosil yakıt oranı<br>-Kişi başı enerji tüketimi | Triple exponential smoothing<br>Linear exponential smoothing<br>Hybrid forecast<br>Polynomial growth                                | MAPE                                        | MPR                                                |
| (Tanania vd., 2020)          | Time Series Data Analysis and Prediction of CO <sub>2</sub> Emissions                                | Hindistan'dan 1995-2018 yıllarına ait veri setini kullanarak karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonlarını analiz etmekte ve tahmin etmektedir.                                                                                                                                                                                                    | -Yıl<br>-Nüfus<br>-Elektrik tüketimi                                                                                                | Time Series                                                                                                                         | MSE<br>RMSE                                 | MLR                                                |
| (Kumari ve Singh, 2022)      | Machine learning-based time series models for effective CO <sub>2</sub> emission prediction in India | Hindistan'ın CO <sub>2</sub> emisyon etkisini gelecek 10 yıl için CO <sub>2</sub> emisyonu öngörüsünü sunmaktadır.                                                                                                                                                                                                                                  | - CO <sub>2</sub> Emisyonu                                                                                                          | ARIMA<br>SARIMAX<br>Linear regression<br>Random forest forecasting (RF)<br>Holt-Winters model forecasting<br>LSTM model forecasting | MAPE<br>MAE<br>RMSE<br>MedAE<br>EVS<br>MSLE | LSTM                                               |
| (Kadam ve Vijayumar, 2018)   | Prediction Model: CO <sub>2</sub> Emission Using Machine Learning                                    | 1960'tan 2014'e kadar Hindistan verilerini kullanarak makine öğrenmesi yolu ile CO <sub>2</sub> emisyonunu tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Gri Sistem ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalamaya dayalı olarak İran'ın CO <sub>2</sub> emisyonunu tahmin ederek ve bu iki yöntemin RMSE, MAE ve MAPE metrikleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. | -Elektrik enerjisi<br>-Kömür yakımı                                                                                                 | Supervised Machine Learning<br>Linear regression                                                                                    | RMSE                                        | SVM                                                |
| (Lotfalipour vd., 2013)      | Prediction of CO <sub>2</sub> Emissions in Iran using Grey and ARIMA Models                          | Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan üç farklı karbon CO <sub>2</sub> verisi ile tahminleme yaparak nitelikli bir tahmin için hibrit model önerilerinden bulunmuştur.                                                                                                                                                                      | - CO <sub>2</sub> Emisyonu                                                                                                          | Grey Model (GM)<br>Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)                                                                | MAPE<br>MAE<br>RMSE                         | ARIMA (Hannan – Rissanen)<br>ARIMA (Box – Jenkins) |
| (Wang vd., 2020)             | Modeling carbon emission trajectory of China, US and India                                           | Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan üç farklı karbon CO <sub>2</sub> verisi ile tahminleme yaparak nitelikli bir tahmin için hibrit model önerilerinden bulunmuştur.                                                                                                                                                                      | - CO <sub>2</sub> Emisyonu                                                                                                          | ARIMA<br>BPNN<br>MNGM-ARIMA<br>MNGM-BPNN                                                                                            | MAPE<br>MSE<br>MSPE                         | MNGM-ARIMA                                         |
| (Boğar ve Özsüt-Boğar, 2017) | Türkiye'nin Sektörel CO <sub>2</sub> Gazı Salınımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini              | Türkiye'de karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) gazı salınım miktarları Yapay Sinir Ağları (ANN) kullanılarak sektörler bazında tahmin edilmiştir.                                                                                                                                                                                                      | -Nüfus<br>-GSYH<br>-Toplam Enerji Tüketimi<br>-Enerji<br>-Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı<br>-Tarımsal Faaliyetler<br>-Atık  | Time Series                                                                                                                         | MAPE                                        | ANN                                                |

Boğar ve Özsüt-Boğar, (2017) sektörel bazdaki CO<sub>2</sub> salımını tahmin etmek için ANN yöntemini kullanmışlardır. Hosseini vd., (2019) farklı tahmin yöntemlerini kullanarak bağımsız değişkenlerini tahmin etmiş ve elde ettiği veriler ile bağımlı değişkenli olan CO<sub>2</sub> emisyonunu MLR ve MPR olmak üzere iki yöntem ile öngöründe bulunmuştur. Yaptığı çalışmadan elde ettiği sonuçlarla MPR'nin, MLR'ye kıyasla daha iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir. Benzer şekilde, Tanania vd. (2020) belirlediği değişkenlerin tahmininde zaman serilerini kullanmış ve MLR yöntemi ile CO<sub>2</sub> emisyonunu tahmin etmiştir. Wang vd. (2020) üç ülkenin CO<sub>2</sub> emisyonunu tahmin ederek karma bir model önerisi sunmuştur. Son olarak Kumari ve Singh (2022) gelecek 10 yılın CO<sub>2</sub> emisyonunu tahmin etmek için makine öğrenmesi tabanlı farklı zaman serisi analizlerini kullanarak birçok performans metriği ile ölçümleme yapmıştır. Sonuç olarak LSTM modelinin çalışma verileri için ideal olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte CO<sub>2</sub> emisyonuna ilişkin tek değişkenli veri tahmini ile sınırlı tuttuğu bu çalışmalarında Kumari ve Singh (2022), artan nüfus, ekonomik büyüme, teknolojik gelişme, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, hükümetin gelecekteki eylem planları gibi pek çok faktörün gelecekte araştırmalar için analizlere dahil edilmesinin ve bu faktörlerin aralarındaki korelasyonun tespit edilerek çok değişkenli bir analiz yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. DENEYSEL ANALİZ

Açık kaynak veri setlerinden elde edilen verilerin nicel analizlerinin yapıldığı bu bölüm, tezin özgün katkısını oluşturmaktadır. Veri analizinden önce, verilerin toplanması ve veri ön işlemesine giden aşamalara sırasıyla yer verilmiştir. Öncelikle çalışmanın amacını, önemini, yöntemini belirten başlıklar bulunmaktadır. Sonrasında veri analizi sürecinde gerçekleştirilen her aşama sırayla anlatılmıştır. Son olarak ise yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve daha önce yapılmış deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmasına yönelik tartışma başlıklarına yer verilmiştir.

#### 4.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez Türkiye'nin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonunun ve küresel sıcaklığa etkisine yönelik tahminleme yapmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle birçok yöntemin kullanıldığı tezde CO<sub>2</sub> emisyonunu belirleyen değişkenler kullanılmıştır. Tezin özgün yanı öncelikle nüfus, elektrik üretimi, enerji kullanımı, ormanlık alan ve diğer birçok faktörün analize dahil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Değişkenlere yapılan katkılar bu tezin ilk özgün katkısını yansıtmaktadır. Ampirik literatür taramasında yer alan öneriler dikkate alınarak, CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklık etkisinin tahmini ile literatüre katkı yapılması amaçlanmaktadır.

Literatür taraması sonucunda seçilen bağımsız değişkenler, her iki bağımlı değişken için geriye doğru eleme yöntemi ile öznitelik seçimine tabii tutulmuştur. Bununla birlikte, öznitelikler zaman serilerinde en sık kullanılan yöntemlerden faydalanılarak ideal performans metrikleri aracılığıyla ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda iki farklı senaryo kurgulanmış ve iki farklı yöntem ile MLR modeli oluşturulmuştur. Bunlardan ilki eşleşen zaman serisi yöntemleri ile tahmin edilen bağımsız değişkenler ile MLR modelinin kurulmasıdır. İkincisi ise çoğunluk oyu yöntemi ile en fazla oy sahibi zaman serisi yönteminin tüm bağımsız değişkenlere uygulanarak tahmin edilmesi sonucunda oluşturulan MLR modelidir. Bu senaryolar tezi literatürden ayrı kılan ikinci özelliğidir.

Diğer taraftan tezin hedefi yerelde Türkiye'nin stratejik planlarına, küreselde ise IPCC stratejik planlarına rehber edebilecek nitelikte bir kaynak sunmaktır. Bu tezden elde edilen bulgular, Türkiye'nin iklim değişikliğine yönelik hedeflerine ve uygulanacak politikalarına farklı bir bakış açısı sunacaktır. Bu bağlamda tez Türkiye'nin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonu ve bu artışların küresel sıcaklığa etkisinin projeksiyonunu çok faktörlü olarak sunmayı amaçlamaktadır.

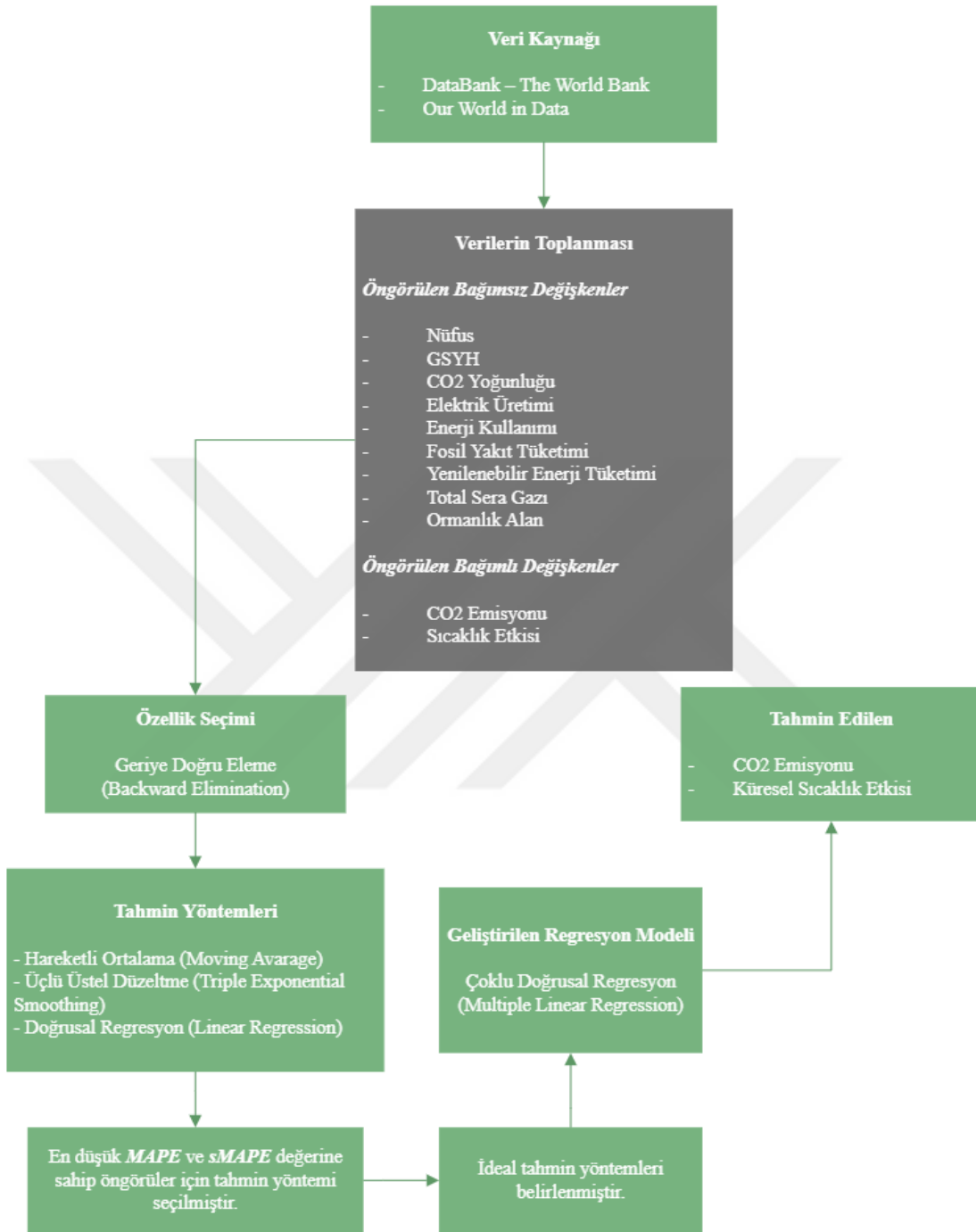
#### 4.2. Tezin Yöntemi

Bu bölümde tezde kullanılan veri setleri, yöntem ve analizler açıklanmıştır. Şekil 8, tezin metodolojisini anlatmaktadır. İlk olarak çalışılan konuya özgü standart bir veri kümesi mevcut olmadığından verilerin toplanması, verilere uygulanan ön işleme süreçleri veri setinin hazırlanması aşamaları yer almaktadır. Buna göre Küresel sıcaklık verisi hariç diğer 11 veri açık erişim sunan Dünya Bankası veritabanından (*DataBank – The World Bank*) elde edilmiştir. Küresel sıcaklık verisi için pek çok çalışma grupları ile açık erişim bir veritabanı olan *Our World in Data* kullanılmıştır.

Toplanan veriler simüle edilmek için hazırlanmış; veri ön işleme ve öznitelik seçimi gerçekleştirilmiştir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin ölçülmesi için 1990 – 2015 yılları arasındaki veriler ile regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda çıkan aykırı değerler geriye doğru eleme yöntemi ile seçilmiştir. Özellik seçimi sonucunda her bir bağımsız değişken için hareketli ortalama, üçlü üstel yumuşatma ve doğrusal regresyon yöntemleri 20/80 eğitim ve test verisi ile simüle edilmiştir. İdeal yöntemin tespiti için test verilerinin MAPE ve SMAPE performans metrikleri ile ölçümleri yapılmıştır. Bu değerler göz önüne alınarak her bir bağımsız değişkenin ideal eşleştiği yöntem belirlenmiştir.

Bu aşamada iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Buna göre ilk olarak eşleşen yöntem sonuçlarına göre çoklu regresyon analizi (MLR) modeli kurularak CO<sub>2</sub> emisyonu ve sıcaklık etkisi değerleri tahmin edilmiştir. Ardından çoğunluk oyu (*majority vote*) yöntemi uygulanmış ve oy çokluğu olan ETS yöntemi tahmin sonuçlarına göre MLR modeli kurularak CO<sub>2</sub> emisyonu ve sıcaklık etkisi değerleri tahmin edilmiştir. Her iki modelin istatistikî sonuçları kıyaslanarak çoğunluk oyu yöntemi ile öngörüler sunulmuştur.

Şekil 8: Araştırmanın Uygulama Aşamaları



#### 4.3. Verilerin Toplanması

Bir çalışmanın ilk aşaması araştırma problemi belirlenmesidir. Bu tezin problemi küresel bağlamda kaygı duyulan bir konudur. Artan küresel sıcaklık ve beraberinde getirdiği pek çok sorun yerel ve ulusal anlamda endişe kaynağıdır. Bu sorun üzerine literatürde birçok çalışma olsa da bu çalışmalara Türkiye çok ender ve kısıtlı etki faktörleri ile konu olmuştur. Bu bağlamda literatürdeki çalışmalardan

ve küresel ısınma ile ilişkin uluslararası yapılan çalışmalardan esinlenerek değişken belirleme sürecinden geçilmiştir. Literatürden yola çıkılarak belirlenen veriler, Tablo 4’te ifade edilmiştir.

**Tablo 4: Değişkenler & Değişken ID**

| <i>Değişken Adı</i>                                                    | <i>Değişken ID</i> |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <i>Bağımlı Değişkenler</i>                                             |                    |
| CO <sub>2</sub> Emisyonu (kt)                                          | $Y_1$              |
| Sıcaklık Etkisi (°C)                                                   | $Y_2$              |
| <i>Bağımsız Değişkenler</i>                                            |                    |
| Nüfus (toplam)                                                         | $X_1$              |
| GSYH (US\$)                                                            | $X_2$              |
| CO <sub>2</sub> Yoğunluğu (petrol eşdeğeri enerji kullanımı başına kg) | $X_3$              |
| Petrol, Gaz ve Kömür Kaynaklarından Elektrik Üretimi (toplam %)        | $X_4$              |
| Enerji Kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg)                | $X_5$              |
| Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (toplam %)                                 | $X_6$              |
| Yenilenebilir Enerji Tüketimi (toplam nihai enerji tüketimi %)         | $X_7$              |
| Toplam Sera Gazı (kt CO <sub>2</sub> eşdeğeri)                         | $X_8$              |
| Ormanlık Alan (km <sup>2</sup> )                                       | $X_9$              |

Veriler, Tablo 4’te gösterildiği gibi iki şekilde ele alınmıştır. “CO<sub>2</sub> Emisyonu” ve “Sıcaklık Etkisi” değişkenleri bağımlı değişkenler olarak belirlenmiş ve “Nüfus”, “GSYH”, “CO<sub>2</sub> Yoğunluğu”, “Elektrik Üretimi”, “Enerji Kullanımı”, “Fosil Yakıt Enerji Tüketimi”, “Yenilenebilir Enerji Tüketimi”, “Total Sera Gazı”, “Ormanlık Alan” değişkenleri bağımlı değişkenlerin artmasına veya azalmasına etki eden bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir.

**Şekil 9: Değişken Korelasyon Matrisi**

|       | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | $X_4$   | $X_5$   | $X_6$   | $X_7$   | $X_8$   | $X_9$   | $Y_1$   | $Y_2$   |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $X_1$ | 1       | 0,9300  | 0,3562  | 0,7144  | 0,9649  | 0,8906  | -0,9522 | 0,9789  | 0,9819  | 0,9829  | 0,9922  |
| $X_2$ | 0,9300  | 1       | 0,3255  | 0,6334  | 0,9622  | 0,8644  | -0,9009 | 0,9679  | 0,9634  | 0,9646  | 0,9488  |
| $X_3$ | 0,3562  | 0,3255  | 1       | 0,7352  | 0,2831  | 0,6303  | -0,5631 | 0,3385  | 0,2935  | 0,3591  | 0,3021  |
| $X_4$ | 0,7144  | 0,6334  | 0,7352  | 1       | 0,6121  | 0,8903  | -0,8438 | 0,6579  | 0,6417  | 0,6743  | 0,6657  |
| $X_5$ | 0,9649  | 0,9622  | 0,2831  | 0,6121  | 1       | 0,8560  | -0,9162 | 0,9933  | 0,9732  | 0,9927  | 0,9734  |
| $X_6$ | 0,8906  | 0,8644  | 0,6303  | 0,8903  | 0,8560  | 1       | -0,9797 | 0,8712  | 0,8468  | 0,8847  | 0,8548  |
| $X_7$ | -0,9522 | -0,9009 | -0,5631 | -0,8438 | -0,9162 | -0,9797 | 1       | -0,9330 | -0,9166 | -0,9435 | -0,9263 |
| $X_8$ | 0,9789  | 0,9679  | 0,3385  | 0,6579  | 0,9933  | 0,8712  | -0,9330 | 1       | 0,9886  | 0,9992  | 0,9885  |
| $X_9$ | 0,9819  | 0,9634  | 0,2935  | 0,6417  | 0,9732  | 0,8468  | -0,9166 | 0,9886  | 1       | 0,9869  | 0,9965  |
| $Y_1$ | 0,9829  | 0,9646  | 0,3591  | 0,6743  | 0,9927  | 0,8847  | -0,9435 | 0,9992  | 0,9869  | 1       | 0,9882  |
| $Y_2$ | 0,9922  | 0,9488  | 0,3021  | 0,6657  | 0,9734  | 0,8548  | -0,9263 | 0,9885  | 0,9965  | 0,9882  | 1       |

Çalışmada yer alan tüm değişkenlerin korelasyon değerlerine Şekil 9’da yer verilmiştir. Her bir değerinin bir diğeri ile ilişkisini gösteren bu şekilde, tüm değişkenler ile negatif ilişkiye sahip  $X_7$  parametresi literatüründe desteklediği gibi  $CO_2$  emisyonu ile ters yönlü bir ilişkiye sahiptir. Bununla birlikte, literatüre göre  $X_9$ ,  $CO_2$  emisyonu ile ters yönde ilişkiye sahip olmasına rağmen Türkiye verilerine göre  $Y_1$  ve  $Y_2$  bağımlı değişkenleri ile  $X_9$  doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Bu nedenle analiz sonuçları bu değişkenlerin birbirleri ile pozitif yönlü ilişkiye sahip olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca Şekil 9, çalışmada yer alan diğer tüm değişkenlerin  $Y_1$  ve  $Y_2$  üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

$CO_2$  emisyonunun artışı ile yakından ilişkilendirilen nüfus parametresi çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Tablo 3’te görüldüğü gibi birçok çalışma tarafından kullanılan nüfus değişkeninin,  $CO_2$  salımına ve dolayısıyla sıcaklığa etkisini kanıtlamıştır (Mahony, 2013: 574; O’ Mahony vd., 2013: 587; Xu vd., 2014: 186; Ardakani vd., 2018: 33; Jorgenson ve Clark, 2010: 38; Yang vd., 2015: 51).  $CO_2$  ve sıcaklığa etkisi kanıtlanmış diğer bir parametre ise ülkelerin GSYH’dır (Jorgenson ve Clark, 2010: 36; Lane, 2011: 917). Ülkelerin ticaret düzeyinin bir göstergesi olan GSYH, bir ülkedeki yıllık ithalat ve ihracat düzeyini ifade etmektedir. Bu parametre ekonomik büyüklükleri, endüstriyel faaliyetleri, enerji tüketimi vb. gibi ülkelerin ekonomik nitelikleri ile yakından ilişkilidir. Söz konusu ekonomik nitelikler  $CO_2$  salımı ile küresel sıcaklığı arttırabilmektedir (Jorgenson ve Clark, 2010: 36; Lane, 2011: 917).  $CO_2$  yoğunluğu, enerji üretimi sırasında birim enerji başına düşen  $CO_2$  miktarını ifade etmektedir. Enerji üretimi sırasında ortaya çıkan bu yoğunluk  $CO_2$  emisyon oranını doğrudan etkileyerek küresel sıcaklığı arttıran diğer bir faktördür (Donglan vd., 2010: 3381; Liou ve Wu, 2011: 1515; Yue vd., 2013: 1019). Nüfus ile meydana gelen net artış elektrik tüketiminde büyük bir artışa yol açmaktadır. Üretimin tüketimi, tüketimin ise üretimi doğurduğu bu sistemde doğal çevrede büyük bir tahribat yaşanmaktadır. Bunun sebebi elektrik üretimi için kullanılan petrol, doğalgaz, kömür gibi  $CO_2$  emisyonunu tetikleyen enerji kaynaklarının kullanılıyor olmasıdır (Cristóbal vd., 2012: 266).

Enerji kaynaklarının kullanımı  $CO_2$  emisyonu ve küresel sıcaklığı doğrudan etkileyen bir faktör olarak görülmektedir (Hosseini vd., 2019: 620). Literatürde enerji tüketimi ile  $CO_2$  emisyonu arasındaki ilişki kabul edilmiştir. Özellikle fosil yakıtların yanması atmosfere ciddi oranlarda  $CO_2$  ve diğer sera gazlarının salımına neden olmaktadır (Hosseini vd., 2019: 620; Apergis ve Payne, 2010: 654; Heidari vd., 2015: 790; Kais ve Sami, 2016: 1103; Kaivo-oja vd., 2016: 465; Soytaş vd., 2007: 484). Doğal ve sınırsız kaynaklara dayanan yenilenebilir enerji tüketimi ile  $CO_2$  emisyonu arasında ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Literatürde yenilenebilir enerji tüketiminin,  $CO_2$  emisyonunu azalttığı yönünde bulgular mevcuttur. Yine de literatürde yapılan çalışmalara göre yenilenebilir enerji tüketimi,  $CO_2$  emisyonu üzerinde fosil yakıt enerji tüketimi kadar etkin görülmemektedir (Bölük ve Mert, 2014; Cerdeira Bento ve Moutinho, 2016; Paramati vd., 2017: 369; Waheed vd., 2018: 4232).

Sera gazları yerkürenin sıcaklığının artışında ana aktörler olarak çeşitlilik göstermektedir (Yoro ve Daramola, 2020: 5; Nong vd., 2021: 2). Yapılan araştırmalara göre küresel sıcaklığın artışında en büyük rol oynayan CO<sub>2</sub> salımıdır (Baş, 2024). Son olarak, ormanlık alanlar karbon yutucu bir özelliğe sahip olması nedeniyle CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklık etkisi ile ilişkisi ters yönlüdür. Ancak günümüzde çeşitli nedenlerle tahrip edilen ve yok olan ormanlar CO<sub>2</sub> emisyonunu tetikleyici bir güç olarak görülmektedir (Baccini vd., 2012: 182; Solomon vd., 2007: 24). Literatürden elde edilen bulgular sonucunda söz konusu değişkenler belirlenerek analiz için etiketlenmiş ve her bir değişkene, değişken ID tanımlanmıştır.

Verilerin belirlenmesinin ardından verilerin elde edilmesi aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada verilerin toplanması için güvenilir ve geçerli veri sağlayan kaynaklar aranmaktadır. Bu tezde ikinci veri kaynağından faydalanılmıştır. Literatürde alan çalışmalarının veri kaynağı da göz önünde bulundurularak ana veri kaynağı olarak Dünya Bankası belirlenmiştir. Dünya Bankası, Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası (*The International Bank for Reconstruction and Development – IBRD*), Uluslararası Kalkınma Derneği (*The International Development Association – IDA*), Uluslararası Finans Kurumu (*The International Finance Corporation – IFC*), Çok Taraflı Yatırım Garanti Ajansı (*The Multilateral Investment Guarantee Agency – MIGA*) ve Uluslararası Yatırım Uyuşmazlıklarının Çözümü Merkezi (*The International Centre for Settlement of Investment Disputes – ICSID*) olmak üzere beş kuruluştan oluşmaktadır. Dünya Bankası Grubu, kalkınma alanlarında çalışmalar yürüterek çeşitli finansal ve teknik yardım sağlamaktadır. Ayrıca ülkelerin karşılaştıkları zor durumlara yönelik yenilikçi bilgi ve çözümleri paylaşarak yardımcı olmaktadır. Dünya Bankası veritabanı üzerinden ülkelerin pek çok alandaki verilerini açık erişime sunmaktadır (*The World Bank*, 2024).

Bu tezin ikinci veri kaynağı ise *Our World in Data* olarak belirlenmiştir. *Our World in Data*, Oxford Üniversitesi'ndeki araştırmacıların ortak çalışmasıyla üretilmiş verileri açık erişime sunmaktadır. Organizasyonun başlıca amacı küresel anlamda büyük sorunlara ilişkin bilgiyi erişilebilir ve anlaşılır kılarak araştırma ve verileri yayınlamaktır (*Our World in Data*, 2024).

Söz konusu veritabanlarından alınan ve Tablo 4'te belirtilen değişkenlerin istatistiksel bilgileri Tablo 5'te ifade edilmiştir.

Tablo 5: Tanımlayıcı İstatistikler

|                       | CO <sub>2</sub> Emisyonu (kt) | Sıcaklık Etkisi (°C) | Nüfus (toplam) | GSYH (US\$)  | CO <sub>2</sub> Yoğunluğu (kg başına petrol eşdeğeri enerji kullanımı) | Elektrik Üretimi (toplam %) | Enerji Kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg) | Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (toplam %) | Yenilenebilir Enerji Tüketimi (toplam nihai enerji tüketimi %) | Toplam Sera Gazı (kt CO <sub>2</sub> eşdeğeri) | Ormanlık Alan (km <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|--------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Ortalama</b>       | 260556,971                    | 0,0020470052         | 55562937,3     | 4208,933559  | 2,549275751                                                            | 63,79494765                 | 913,2061503                                             | 75,94932621                            | 16,84193548                                                    | 332924,5296                                    | 207893,3875                      |
| <b>Ortanca</b>        | 235003                        | 0,0007061084         | 55321172       | 2730,263904  | 2,706503081                                                            | 61,90854982                 | 910,5346949                                             | 78,42455483                            | 15,34                                                          | 301420,0799                                    | 206624,515                       |
| <b>Maksimum</b>       | 418098,2                      | 0,0104343980         | 85341241       | 12507,80316  | 2,943319879                                                            | 82,61347257                 | 1628,206679                                             | 90,56269753                            | 24,37                                                          | 504956,3259                                    | 223763,6                         |
| <b>Minimum</b>        | 139197,9                      | 0,0000070072         | 27510980       | 274,5256919  | 1,573502177                                                            | 39,60622711                 | 383,9963274                                             | 44,15911347                            | 11,4                                                           | 205436,3401                                    | 197834,8                         |
| <b>Standart Sapma</b> | 87268,15134                   | 0,002591087          | 17455101,1     | 3993,755467  | 0,3283515                                                              | 10,05735766                 | 354,3739136                                             | 12,19703515                            | 4,345782842                                                    | 96373,64833                                    | 7830,305573                      |
| <b>Çarpıklık</b>      | 0,36841644                    | 1,506314855          | 0,08454822     | 0,818743419  | -1,40007831                                                            | -0,043388725                | 0,308891065                                             | -0,969917647                           | 0,518592668                                                    | 0,438277222                                    | 0,445483094                      |
| <b>Basıklık</b>       | -1,120753435                  | 1,384036745          | -1,2248912     | -0,931720665 | 1,375696747                                                            | -0,708838012                | -0,917424852                                            | 0,307310233                            | -1,255621514                                                   | -1,092293913                                   | -1,069491727                     |
| <b>Jargue-Bera</b>    | 2,323722484                   | 78,31440528          | 4,013499154    | 9,317349679  | 22,71131017                                                            | 1,189957192                 | 2,854420612                                             | 9,000601271                            | 3,425937625                                                    | 2,533544345                                    | 2,583511068                      |
| <b>Toplam</b>         | 8077266,1                     | 0,3500378844         | 3500465050     | 265162,8142  | 142,7594421                                                            | 3572,517068                 | 51139,54442                                             | 4253,162268                            | 522,1                                                          | 10320660,42                                    | 6652588,4                        |
| <b>Gözlem</b>         | 31                            | 171                  | 63             | 63           | 56                                                                     | 56                          | 56                                                      | 56                                     | 31                                                             | 31                                             | 32                               |

#### 4.4. Özellik Seçimi

Değişkenlerin belirlenmesi ve toplanmasının ardından en önemli aşama, verilerin düzenlenmesidir. Tez için uygulamaya konulacak veriler toplanarak düzenlenmiş ve formata uygun hale getirilmiştir. Bağımlı değişkenlerin tahminleri bağımsız değişkenlerin etkisi ile ölçülerek öngörülmüştür. Bu nedenle tezin bağımsız değişken seçimi kritik bir aşamadır. Genel kabul görmüş değişkenler her zaman ve her durum için geçerli olmamaktadır. Bazen veriler açıklayıcı ve anlamlı sonuçlar üretmemektedir. Bu nedenle literatür desteği ile belirlenmiş olan değişkenlerin bağımlı değişkenler ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi için özellik seçimi gerçekleştirilmiştir.

Özellik seçimi için farklı yöntem ve teknikler bulunmaktadır. Regresyon analizinde özellik seçimi için genel kabul gören iki yöntem geriye doğru eleme ve ileriye doğru eklemedir. Tezde geriye doğru eleme yöntemi tercih edilmiştir. Özniteliklerin fazla olması nedeniyle uygulamada kolaylık sağladığı için bu yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre verilerin tümü regresyon analizine dahil edilmiş ve  $P - \text{değeri} \geq 0,05$  olan değerler potansiyel elenecek değerler olarak seçilmiştir. Ardından en yüksek  $P - \text{değeri}$ ne sahip değişken analizden çıkarılarak analiz yeniden gerçekleştirilmiştir. Her analizde *Anlamlılık F*, *Düzeltilmiş R<sup>2</sup>*, *Standart Hata* ve değişkenlerin  $P - \text{değeri}$ ne bakılarak analizin geçerliliği ve güvenilirliği değerlendirilmiştir. Bu aşama tüm değişkenlerin  $P - \text{değeri} < 0,05$  olana kadar sürdürülmüştür.

##### 4.4.1. CO<sub>2</sub> Emisyonu Özellik Seçimi

Tablo 6 ve Tablo 7, CO<sub>2</sub> emisyonu ( $Y_1$ ) için tüm değişkenlerin dahil edilerek gerçekleştirilen regresyon analizinin istatistiki verilerini göstermektedir. Değişkenlerin zaman aralığı bu aşamada 1990-2015 olarak belirlenmiştir. Analizin güven aralığı ( $\pm$ ) %95'tir. Tablo 6'daki regresyon istatistiklerine göre *Düzeltilmiş R<sup>2</sup>* = 0,99, *Anlamlılık F* = 3,96E – 30 ve *Standart Hata* = 860,8066827 olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile  $R^2$  değerlerine göre modeldeki değişkenlerin tümü bağımlı değişken  $Y_1$ 'i açıklamakta ve bağımlı değişkeni etkilemektedir. F istatistiğine göre ise modelin anlamlılığı yüksektir.

Tablo 6: CO<sub>2</sub> Emisyonu Özellik Seçimi Öncesi

| Regresyon İstatistikleri         |             |                         |                  |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|------------------|
| <b>Çoklu R</b>                   | 0,999948047 | <b>Bağımlı Değişken</b> | $Y_1$            |
| <b>R<sup>2</sup></b>             | 0,999896096 | <b>Zaman Aralığı</b>    | 1990-2015        |
| <b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b> | 0,99983765  | <b>Metot</b>            | En Küçük Kareler |
| <b>Standart Hata</b>             | 860,8066827 | <b>F</b>                | 17108,038336324  |
| <b>Gözlem</b>                    | 26          | <b>Anlamlılık F</b>     | 3,96E-30         |

**Tablo 7: CO<sub>2</sub> Emisyonu Özellik Seçimi Öncesi İstatistiksel Değerleri**

| ID                   | Katsayılar   | Standart Hata | T İstatistiği | P-değeri  | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|----------------------|--------------|---------------|---------------|-----------|--------------|--------------|
| <b>Kesişim</b>       | -628037,6723 | 129499,9142   | -4,84971      | 0,0000000 | -902565,2267 | -353510,1179 |
| <b>X<sub>1</sub></b> | 0,00058556   | 0,000245417   | 2,38598       | 0,0300000 | 6,53E-05     | 0,001106     |
| <b>X<sub>2</sub></b> | -0,74422792  | 0,334446628   | -2,22525      | 0,0400000 | -1,4532231   | -0,03523     |
| <b>X<sub>3</sub></b> | 51368,4958   | 8814,621421   | 5,82765       | 0,0000000 | 32682,33317  | 70054,66     |
| <b>X<sub>4</sub></b> | 116,288911   | 94,99480949   | 1,22416       | 0,2400000 | -85,0910896  | 317,6689     |
| <b>X<sub>5</sub></b> | 127,939331   | 23,01374022   | 5,55926       | 0,0000000 | 79,15238126  | 176,7263     |
| <b>X<sub>6</sub></b> | -179,135755  | 643,8532756   | -0,27822      | 0,7800000 | -1544,04373  | 1185,772     |
| <b>X<sub>7</sub></b> | 22,1251354   | 485,1051467   | 0,04561       | 0,9600000 | -1006,25184  | 1050,502     |
| <b>X<sub>8</sub></b> | 0,34293161   | 0,094788401   | 3,61786       | 0,0000000 | 0,141989171  | 0,543874     |
| <b>X<sub>9</sub></b> | 2,0932111    | 0,55985478    | 3,73885       | 0,0000000 | 0,906371983  | 3,28005      |

Tablo 7, Değişkenlerin  $Y_1$  üzerindeki etki değerlerini göstermektedir. P – değeri dikkate alındığında Yenilenebilir Enerjinin ( $X_7$ ), bağımlı değişken CO<sub>2</sub> Emisyonu ( $Y_1$ ) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Fosil Yakıt Tüketimi ( $X_6$ ) ve Elektrik Üretimi ( $X_4$ ) değişkenleri için de aynı sonuca ulaşılmıştır. Bununla birlikte, değişken *katsayılarına* göre,  $X_2$  ve  $X_6$  değişkenleri  $Y_1$  bağımlı değişkeni ile negatif, ters yönlü bir ilişkiye sahipken diğer tüm pozitif yönde etkili göstermiştir. *T istatistiği* ve *P – değerlerine* göre  $Y_1$  bağımlı değişken ile değişkenlerin ilişki sıralaması  $X_3 > X_5 > X_9 > X_8 > X_1 > X_2$  şeklinde özetlenebilmektedir.

Bağımlı değişken üzerinde anlamlı ve açıklayıcı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilen bağımsız değişkenler analizin bu aşamasında sırayla modelden çıkarılmıştır. Tablo 7'ye göre bu sıralama  $X_7 > X_6 > X_4$  olacak şekilde en büyük değerden en küçük değere doğru ilerlemiştir. Buna göre analizden çıkarılacak ilk değer  $X_7$ , son değer ise  $X_4$  olmuştur. Tablo 8 ve Tablo 9, aykırı değerlerin analizden sırayla çıkarılarak yapılan yeni regresyon istatistiklerini göstermektedir. Bu verilere göre *Düzeltilmiş R<sup>2</sup>* ve *Anlamlılık F* değerlerinin iyileşmiş, *Standart Hata* değeri ise düşüş göstermiştir.

**Tablo 8: CO<sub>2</sub> Emisyonu Özellik Seçimi Sonrası**

| Regresyon İstatistikleri         |             |                         |                  |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|------------------|
| <b>Çoklu R</b>                   | 0,999939646 | <b>Bağımlı Değişken</b> | $Y_1$            |
| <b>R<sup>2</sup></b>             | 0,999879296 | <b>Zaman Aralığı</b>    | 1990-2015        |
| <b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b> | 0,999841178 | <b>Metot</b>            | En Küçük Kareler |
| <b>Standart Hata</b>             | 851,4015887 | <b>F</b>                | 26.231,71        |
| <b>Gözlem</b>                    | 26          | <b>Anlamlılık F</b>     | 3,61E-36         |

**Tablo 9: CO<sub>2</sub> Emisyonu Özellik Seçimi Sonrası İstatistiksel Değerleri**

| ID                   | Katsayılar   | Standart Hata | T Stat       | P-değeri | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|----------------------|--------------|---------------|--------------|----------|--------------|--------------|
| <b>Kesişim</b>       | -549866,4953 | 96731,33639   | -5,684471195 | 0,00000  | -752327,5092 | -347405,4815 |
| <b>X<sub>1</sub></b> | 0,000794563  | 0,000173473   | 4,580339922  | 0,00020  | 4,31E-04     | 0,001158     |
| <b>X<sub>2</sub></b> | -0,606762057 | 0,245645306   | -2,470073897 | 0,02315  | -1,1209      | -0,09262     |
| <b>X<sub>3</sub></b> | 50322,13052  | 5509,476576   | 9,133740716  | 0,00000  | 38790,66     | 61853,6      |
| <b>X<sub>5</sub></b> | 110,5961212  | 14,03006175   | 7,882796466  | 0,00000  | 81,23086     | 139,9614     |
| <b>X<sub>8</sub></b> | 0,403688692  | 0,06216263    | 6,494073568  | 0,00000  | 0,273581     | 0,533797     |
| <b>X<sub>9</sub></b> | 1,635458831  | 0,458120204   | 3,569933867  | 0,00204  | 0,676602     | 2,594315     |

Özellik seçiminin nihai aşamasında tüm bağımsız değişkenlerin,  $Y_1$  bağımlı değişkenini daha iyi açıkladığı yeni ve ideal bir model oluşturulmuştur. Bu modele göre, CO<sub>2</sub> Emisyonu  $Y_1$  bağımlı değişkenin etki faktörleri  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerden *katsayılarına* göre bir önceki analiz ile aynı şekilde  $X_2$ ,  $Y_1$  bağımlı değişkenini negatif yönde etkilemektedir. *T istatistiği* ve *P – değerlerine* göre ise diğer değişkenlerin  $Y_1$  üzerindeki etki sıralaması  $X_3 > X_5 > X_8 > X_9 > X_1 > X_2$  şeklindedir. Sonuçta, Türkiye'nin gelecek CO<sub>2</sub> Emisyonunu ( $Y_1$ ) öngörmek için modele dahil edilecek bağımsız değişkenler  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  şeklinde kabul edilmiştir.

#### 4.4.2. Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi

Tezde belirlenen Küresel Sıcaklık Etkisi ( $Y_2$ ) ikinci bağımlı değişkeni temsil etmektedir. Tablo 10 ve Tablo 11,  $Y_2$  için tüm değişkenlerin dahil edildiği regresyon analizini göstermektedir.  $Y_2$  değişkeni için de özellik seçiminde kullanılan verilerin zaman aralığı 1990-2015 olarak belirlenmiştir. Tablo 10'daki regresyon istatistiklerine göre *Düzeltilmiş  $R^2 = 0,99$ , Anlamlılık  $F = 1,55307E - 27$  ve Standart Hata =  $2,41288E - 05$*  olarak tespit edilmiştir.  $Y_2$  değişkeni için kurulan modeldeki değişkenlerin tümü bağımlı değişkeni etkilemektedir. *F istatistiğine* göre ise modelin anlamlılığı yüksek, Standart Hatası ise düşüktür.

**Tablo 10: Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Öncesi**

| Regresyon İstatistikleri         |             |                         |                  |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|------------------|
| <b>Çoklu R</b>                   | 0,999890403 | <b>Bağımlı Değişken</b> | $Y_2$            |
| <b>R<sup>2</sup></b>             | 0,999780819 | <b>Zaman Aralığı</b>    | 1990-2015        |
| <b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b> | 0,999657529 | <b>Metot</b>            | En Küçük Kareler |
| <b>Standart Hata</b>             | 2,41288E-05 | <b>F</b>                | 8109,214456      |
| <b>Gözlem</b>                    | 26          | <b>Anlamlılık F</b>     | 1,55307E-27      |

**Tablo 11: Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Öncesi İstatistiksel Değerleri**

| <i>ID</i>      | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>T Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i> | <i>Yüksek %95</i> |
|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Kesişim</b> | -0,014027638      | 0,00363              | -3,86443      | 0,00137293      | -0,02172         | -0,00633          |
| $X_1$          | 7,43326E-11       | 6,88E-12             | 10,80548      | 0,00000001      | 5,97E-11         | 8,89E-11          |
| $X_2$          | -2,91718E-09      | 9,37E-09             | -0,31118      | 0,75968446      | -2,3E-08         | 1,7E-08           |
| $X_3$          | -0,000587876      | 0,000247             | -2,37931      | 0,03013325      | -0,00111         | -6,4E-05          |
| $X_4$          | 8,92206E-06       | 2,66E-06             | 3,350696      | 0,00406132      | 3,28E-06         | 1,46E-05          |
| $X_5$          | -7,03372E-07      | 6,45E-07             | -1,09035      | 0,29170615      | -2,1E-06         | 6,64E-07          |
| $X_6$          | -5,20187E-05      | 1,8E-05              | -2,88232      | 0,01083094      | -9E-05           | -1,4E-05          |
| $X_7$          | -1,00142E-05      | 1,36E-05             | -0,73646      | 0,47211235      | -3,9E-05         | 1,88E-05          |
| $X_8$          | 5,71327E-09       | 2,66E-09             | 2,150303      | 0,04716462      | 8,08E-11         | 1,13E-08          |
| $X_9$          | 9,74397E-08       | 1,57E-08             | 6,209127      | 0,00001251      | 6,42E-08         | 1,31E-07          |

Tablo 11, bağımsız değişkenlerinin bağımlı değişkene ( $Y_2$ ) ne kadar etki ettiğini göstermektedir. P – değeri dikkate alındığında GSYH ( $X_2$ ), Yenilenebilir Enerji ( $X_7$ ) ve Enerji Kullanımı ( $X_5$ ),  $Y_2$  için anlamlı ve açıklayıcı bir etkiye sahip olmadığını ifade etmektedir. Bu verilerden yola çıkarak  $X_2 > X_7 > X_5$  bağımsız değişkenlerinin  $Y_2$  değişkenini açıklamadığı görülmüştür. Belirtilen sıra ile büyüktür küçüğe doğru analizden çıkarılarak nihai modele ulaşılmıştır. Bununla birlikte, analiz sonuçlarında belirtilen katsayılarından yola çıkarak  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_6$  ve  $X_7$  değişkenlerinin  $Y_2$  bağımlı değişkeni ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. *T istatistiği* ve *P – değerlerine* göre  $Y_2$  bağımlı değişkeni ile bağımsız değişkenlerinin etkileri,  $X_1 > X_9 > X_4 > X_6 > X_3$  şeklinde özetlenmektedir. Buna göre Türkiye'nin küresel sıcaklığı etkileyen en büyük etkeni nüfus değişkeni olduğu görülmüştür.

Tablo 12 ve Tablo 13, aykırı değerlerin analiz dışı bırakılarak gerçekleştirilen yeni regresyon istatistiklerini göstermektedir. Bu verilere göre *Düzeltilmiş  $R^2$*  ve *Anlamlılık F* değerlerinde iyileşme, *Standart Hata* değerinde ise düşüş görülmüştür.

**Tablo 12: Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Sonrası**

| <b>Regresyon İstatistikleri</b>     |             |                         |                  |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------|
| <b>Çoklu R</b>                      | 0,999875045 | <b>Bağımlı Değişken</b> | $Y_2$            |
| <b><math>R^2</math></b>             | 0,999750105 | <b>Zaman Aralığı</b>    | 1990-2015        |
| <b>Düzeltilmiş <math>R^2</math></b> | 0,999671191 | <b>Metot</b>            | En Küçük Kareler |
| <b>Standart Hata</b>                | 2,36426E-05 | <b>F</b>                | 12668,82486      |
| <b>Gözlem</b>                       | 26          | <b>Anlamlılık F</b>     | 3,62541E-33      |

**Tablo 13: Küresel Sıcaklık Etkisi Özellik Seçimi Sonrası İstatistiksel Değerleri**

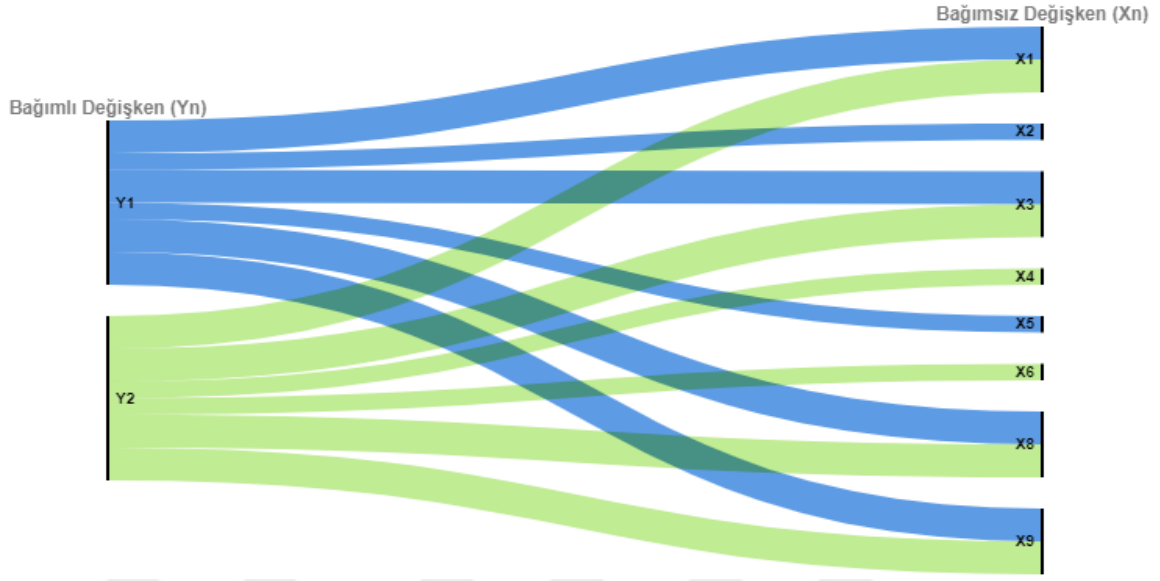
| <i>ID</i>               | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>T Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i> | <i>Yüksek %95</i> |
|-------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Kesişim</b>          | -0,017151977      | 0,001380337          | -12,4259315   | 0,000000        | -0,020041057     | -0,014262898      |
| <b><math>X_1</math></b> | 7,72732E-11       | 4,39749E-12          | 17,57209669   | 0,000000        | 6,80691E-11      | 8,64772E-11       |
| <b><math>X_3</math></b> | -0,000307222      | 0,000124213          | -2,473350255  | 0,022995        | -0,000567203     | -4,72415E-05      |
| <b><math>X_4</math></b> | 1,11584E-05       | 1,62739E-06          | 6,856668589   | 0,000002        | 7,75229E-06      | 1,45646E-05       |
| <b><math>X_6</math></b> | -5,6594E-05       | 6,29446E-06          | -8,991070788  | 0,000000        | -6,97684E-05     | -4,34195E-05      |
| <b><math>X_8</math></b> | 2,86076E-09       | 5,13421E-10          | 5,571952472   | 0,000023        | 1,78615E-09      | 3,93536E-09       |
| <b><math>X_9</math></b> | 1,08087E-07       | 6,84625E-09          | 15,78780249   | 0,000000        | 9,37579E-08      | 1,22417E-07       |

$Y_2$  değişkeni için özellik seçiminin nihai istatistiksel tablosu incelendiğinde Yenilenebilir Enerjinin ( $X_7$ ), iki bağımlı değişken ( $Y_1$  ve  $Y_2$ ) üzerinde açıklayıcı bir etkisi olmaması sebebiyle değişkenler arasından çıkarılarak devam edilmiştir.  $Y_2$ , bağımlı değişkenin etki faktörleri  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  olarak belirlenmiştir. Sonuçta, Türkiye'nin Küresel Sıcaklığa ( $Y_2$ ) etkisini öngörmek için modele dahil edilecek bağımsız değişkenler  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_5$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  şeklinde kabul edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen diğer bir bulgu ise  $X_3$  ve  $X_6$  değişkenlerinin  $Y_2$  bağımlı değişkeni ile ters orantılığı olmasıdır.  $Y_2$  bağımlı değişkeni için bağımsız değişken etkileri  $X_1 > X_9 > X_6 > X_4 > X_8 > X_3$  şeklinde özetlenebilmektedir.

#### 4.4.3. Özellik Seçimi Sonuçları

Özellik seçimi sonucunda her iki bağımlı değişken için belirlenen bağımsız değişkenlerin istatistiksel değerleri Tablo 9 ve Tablo 13'te verilmiştir. Bu değişkenlerin her birinin  $P - değeri \leq 0,05$  sonuçlarını vermiştir. Ayrıca tüm değişkenlerin *Standart Hataları* kabul edilebilir derecede düşüktür.

Şekil 10: Bağımlı-Bağımsız Değişken Eşleşmeleri



Şekil 10'daki alüviyal diyagramı, özellik seçimi sonucunda her iki bağımlı değişkeni açıklayan bağımsız değişken ağ grafiğini göstermektedir. Bu diyagrama göre,  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  bağımsız değişkenleri,  $Y_1$  ve  $Y_2$  bağımlı değişkenlerini açıklayan ortak değişkenlerdir. Diğer  $X_2$ ,  $X_5$ ,  $Y_1$  değişkenini açıklarken;  $X_4$  ve  $X_6$  değişkenleri  $Y_2$  değişkenini açıklamaktadır.

#### 4.5. Tahminleme

Bu tezin hedefi bağımlı değişken  $Y_1$  ve  $Y_2$ 'nin 2030 yılındaki değerlerini öngörmektir. Bağımlı değişkenlerin artmasına ya da azalmasına etki eden faktörler bağımsız değişkenlerdir. Bu değişkenler ayrı ayrı ele alınarak öngörülmektedir. Bu nedenle tezin bu aşamasında, bağımsız değişkenlerin tahmin yöntemleri belirlenecektir. Tahminlemenin birçok yöntemi ve bu yöntemlerin performansını ölçmek için Tablo 2'de de ifade edildiği gibi pek çok metrik bulunmaktadır. Zaman serisi analizinin amacına bağlı olarak performans metriği değişiklik gösterebilmektedir. Bu anlamda yaygın kullanıma sahip olan MSE ve MAE ölçümleri, farklı zaman serilerinin performanslarının karşılaştırılmasında yeterli olmamaktadır (Chatfield, 1988: 595). Bu gibi durumlarda birimsiz ölçümlerden olan ve Tablo 2'de ölçüm metrikleri sütununda da görüldüğü gibi literatürde de sıkça kullanılan MAPE ölçüm metriği tercih edilmektedir (Armstrong ve Collopy, 1992: 70). Genellikle zaman serisi tahminlerinde tek bir ölçüm metriği yeterli olmamaktadır. Bunun nedeni kusursuz bir metriğin bulunmamasıdır. Zira birçok avantajına rağmen Makridakis (1993: 528) MAPE'nin asimetrik olduğunu ifade etmiş ve gerçek değer üzerinde sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Bu soruna yönelik ortaya atılan yöntem ise SMAPE olmuştur. Nitekim bu tezde olası riskleri minimize etmek ve performans ölçüm niteliğinin maksimize edilebilmesi için MAPE ve SMAPE ölçüm metriklerinden faydalanılmıştır.

#### 4.5.1. Tahmin Simülasyonları ve Sonuçları

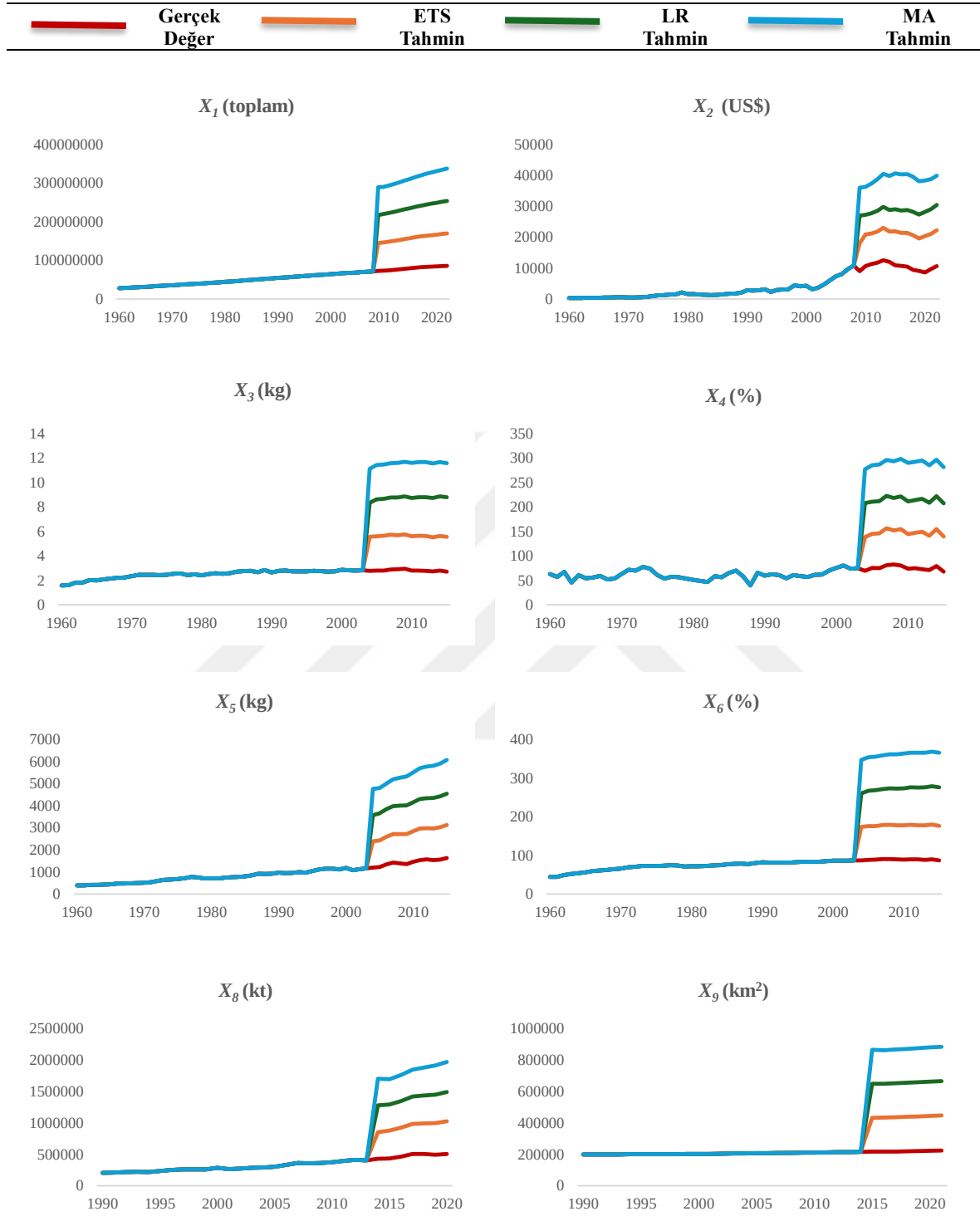
Bu tez zamansal veriler ile ilgilenmektedir. Bu nedenle veri tahmininde zaman serisi yöntemlerinden faydalanılacaktır. Zaman serilerinde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden günümüzde en fazla Üçlü Üstel Düzeltme (ETS) tercih edilmektedir. ETS, zaman serilerindeki trendleri, mevsimselliği dikkate alan bir tahmin yöntemidir. Ancak zamansal seriler bazı durumlarda doğrusal bir düzlemde ilerlerken, bazı durumlarda ise geçmiş veriler ile orantılı olarak hareketli bir şekilde artmakta veya azalmaktadır. Bu nedenle tezde üç temel zaman serisi yöntemi ele alınmıştır. Bunlar, ETS, LR ve MA olarak belirlenmiştir.

**Tablo 14: Zaman Serisi Simülasyon Verileri**

| ID    | Mevcut (%100) | Eğitim (%80) | Test (%20)  | ID    | Mevcut (%100) | Eğitim (%80) | Test (%20)  |
|-------|---------------|--------------|-------------|-------|---------------|--------------|-------------|
| $X_1$ | 1960 – 2022   | 1960 – 2009  | 2010 – 2022 | $X_5$ | 1960 – 2015   | 1960 – 2004  | 2005 – 2015 |
| $X_2$ | 1960 – 2022   | 1960 – 2009  | 2010 – 2022 | $X_6$ | 1960 – 2015   | 1960 – 2004  | 2005 – 2015 |
| $X_3$ | 1960 – 2015   | 1960 – 2004  | 2005 – 2015 | $X_8$ | 1990 – 2020   | 1990 – 2014  | 2015 – 2020 |
| $X_4$ | 1960 – 2015   | 1960 – 2004  | 2005 – 2015 | $X_9$ | 1990 – 2021   | 1990 – 2015  | 2016 – 2021 |

Öngörü oluşturmak için çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin zaman aralıkları eşit değildir. Tablo 14, mevcut verilerin zaman aralıklarını göstermektedir. Zaman serilerinde uygun yöntemin belirlenmesi için mevcut veriler üzerinden bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonda yaygın kullanıma sahip olan, %80 eğitim seti %20 test verisi olarak belirlenmiştir (Hosseini vd. 2019). Tablo 14’te eğitim ve test verisi olarak kullanılan zaman aralıkları ifade edilmiştir. Belirlenen oranlardan yola çıkarak her veri için üç yöntemin simülasyonu gerçekleştirilmiş ve Grafik 17 ile her değişkenin tahmin performansları grafiklerle açıklanmıştır.

Grafik 17: Zaman Serisi Yöntemleri Simülasyon Modelleri



Grafik 17’de yer alan göstergelere göre gerçek değerlere en yakın ETS yönteminin sonuçlarıdır. Bununla birlikte, Tablo 15’te tüm değişkenlerin her bir tahmin yöntemine ilişkin performans değerleri verilmiştir. MAPE ve SMAPE performans metriklerinden yola çıkarak tahmin yönteminin kalitesi ölçülmüştür.  $X_1$  verisi doğrusal bir eğilim izlerken,  $X_2$  geçmiş verilerindeki hareketleri devam ettirmektedir. Diğer  $X_3, X_4, X_5, X_6, X_8$  ve  $X_9$  verileri ETS yöntemi ile daha iyi açıklanmıştır.

Tablo 15: Zaman Serisi Yöntemleri Hata Ölçümleri

|     |       | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | $X_4$   | $X_5$   | $X_6$   | $X_8$   | $X_9$   |
|-----|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MA  | MAPE  | 0,03908 | 0,12239 | 0,02395 | 0,06129 | 0,07910 | 0,14841 | 0,09287 | 0,0155  |
|     | SMAPE | 0,03991 | 0,12202 | 0,02388 | 0,06108 | 0,08307 | 0,16060 | 0,09815 | 0,01563 |
| ETS | MAPE  | 0,01782 | 0,13092 | 0,02382 | 0,05989 | 0,05754 | 0,0175  | 0,02550 | 0,00292 |
|     | SMAPE | 0,01804 | 0,12696 | 0,02383 | 0,06196 | 0,05962 | 0,01765 | 0,02560 | 0,00291 |
| LR  | MAPE  | 0,01622 | 0,30036 | 0,11472 | 0,11482 | 0,08836 | 0,07589 | 0,08751 | 0,01271 |
|     | SMAPE | 0,01640 | 0,36492 | 0,10756 | 0,12369 | 0,09329 | 0,07253 | 0,09207 | 0,01281 |

#### 4.5.2. Eşleşen Tahmin Yöntemleri ile MLR Modeli

Bağımlı değişken  $Y_1$  ve  $Y_2$  değerlerine ulaşmak amacıyla bağımsız değişkenlerin her biri yüksek performans gösterdiği tahmin yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda her bir değişken için elde edilen tahmin verileri üzerinden  $Y_1$  ve  $Y_2$  değerleri öngörülmüştür. Bağımlı değişkenlerin öngörülmesi için kurulacak modelde izlenecek yöntem Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) yöntemidir. Tüm bağımsız değişkenler Tablo 15’te ifade edilen en düşük MAPE ve SMAPE değerlerine göre seçilen yöntemler ile tahmin edilecektir. Her bir değişken için seçilen yöntemler Tablo 16’da yer almaktadır. İlgili yöntemlerine göre değerler tahmin edilecek ve elde edilen sonuçlar öncelikle  $Y_1$  daha sonra  $Y_2$  bağımlı değişkenleri için MLR ile analiz edilecektir. Analiz neticesinde çıkan sonuçlar ile modelin geçerliliği ve güvenilirliği test edilecektir.

Tablo 16: Zaman Serisi Yöntemleri Eşleşmesi

| Değişken ID    | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_8$ | $X_9$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tahmin Yöntemi | LR    | MA    | ETS   | ETS   | ETS   | ETS   | ETS   | ETS   |

##### 4.5.2.1. Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu Modeli

İlk bağımlı değişken olarak belirlenen  $Y_1$ ,  $Y_2$  değişkeni için önemli bir etki faktörü olup pek çok değişkenden de etkilenmektedir.  $Y_1$ ’in öngörülebilmesi için analizin bir önceki aşamasında gerçekleştirilen bağımsız değişkenlerin her biri 2030 yılına kadar yüksek performans gösteren ilgili yöntemlerle tahmin edilmiştir. Ardından  $Y_1$ ’in gelecek değerleri öngörülmesi için MLR modeli oluşturulmuştur. Bu modelin regresyon istatistikleri Tablo 17’de gösterilmiştir. Regresyon istatistiklerine göre,  $Düzeltilmiş R^2 = 0,99$ ,  $Anlamlılık F = 1,93259E - 77$  ve  $Standart Hata = 636,4610020$  olarak tespit edilmiştir. Söz konusu sonuçlardan yola çıkarak modelin anlamlı ve açıklayıcı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Tablo 18,  $Y_1$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenler ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarındaki P – değerlerine bakıldığında  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  değişkenlerinin model ile ilişkili olduğu görülmüştür.

**Tablo 17: Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu MLR Modeli**

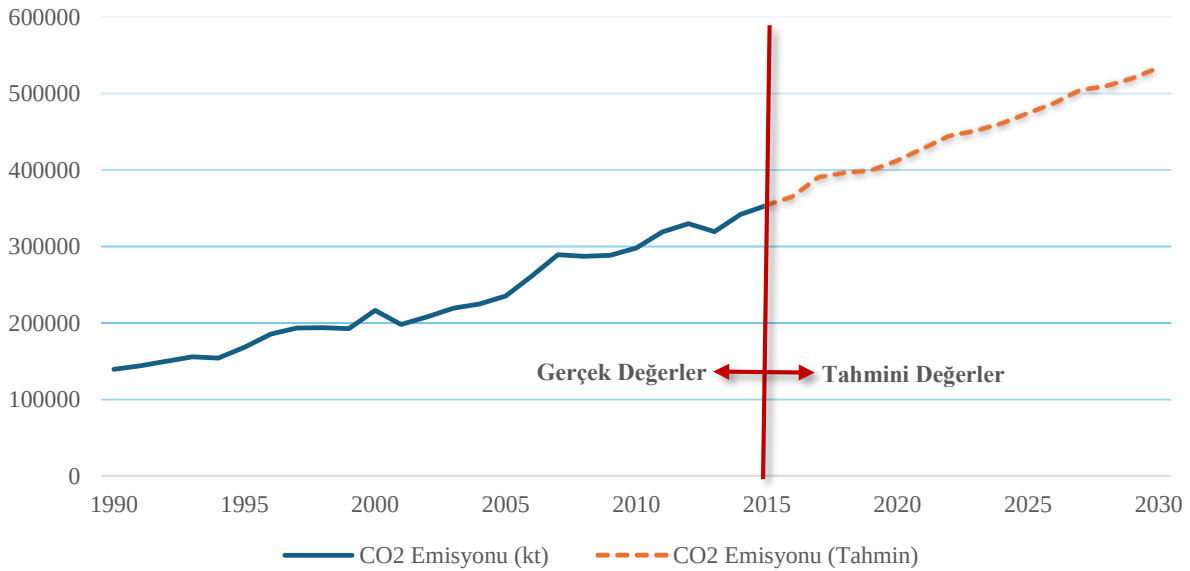
| Regresyon İstatistikleri   |             |                  |                  |
|----------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Çoklu R                    | 0,999988649 | Bağımlı Değişken | $Y_1$            |
| R <sup>2</sup>             | 0,999977298 | Zaman Aralığı    | 1990-2030        |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | 0,999973292 | Metot            | En Küçük Kareler |
| Standart Hata              | 636,4610020 | F                | 249602,81750299  |
| Gözlem                     | 41          | Anlamlılık F     | 1,93259E-77      |

**Tablo 18: Eşleşen Tahmin Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu MLR Modeli İstatistikleri**

| ID             | Katsayılar   | Standart Hata | T İstatistiği | P-değeri | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|----------------|--------------|---------------|---------------|----------|--------------|--------------|
| <b>Kesişim</b> | -549866,4953 | 14646,17058   | -37,54336278  | 0,00000  | -579631,0951 | -520101,8956 |
| $X_1$          | 0,000794563  | 7,26558E-05   | 10,93599337   | 0,00000  | 0,000646909  | 0,000942218  |
| $X_2$          | -0,606762057 | 0,082221999   | -7,379558555  | 0,00000  | -0,773857264 | -0,439666851 |
| $X_3$          | 50322,13052  | 1780,646449   | 28,26059635   | 0,00000  | 46703,42155  | 53940,83949  |
| $X_5$          | 110,5961212  | 3,827966075   | 28,89161477   | 0,00000  | 102,8167581  | 118,3754842  |
| $X_8$          | 0,403688692  | 0,010902447   | 37,02734836   | 0,00000  | 0,381532254  | 0,425845129  |
| $X_9$          | 1,635458831  | 0,081428564   | 20,08458401   | 0,00000  | 1,46997608   | 1,800941583  |

Eşleşen tahmin yöntemleri ile kurulan  $Y_1$  modeli üzerinden CO<sub>2</sub> emisyonu tahmini Grafik 18’de gösterilmiştir. Tablo 17’de ifade edilen regresyon istatistiklerinden yola çıkarak farklı zaman serileri ile öngörölmüş bağımsız değişkenler gelecek CO<sub>2</sub> emisyonunu açıklayabilme kabiliyetine sahip görölmektedir.

**Grafik 18: Eşleşen Yöntem ile CO<sub>2</sub> Emisyonu Tahmini**



Tablo 18’de göröldüğü gibi  $X_2$  hariç tüm değişkenler  $Y_1$  ile pozitif ilişkiye sahipken,  $X_2$ (GSYH) değişkeninin negatif ilişkisi analiz sonuçlarına yansımıştır. Bu bulgunun literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermesinin sebebi CO<sub>2</sub> emisyonunun artış göstermesine rağmen Türkiye’nin GSYH’da

yaşanılan düşüştür. Değişkenlerin *T istatistiğine* göre etki düzeylerine bakıldığında  $X_8 > X_5 > X_3 > X_9 > X_1 > X_2$  olarak sıralanmaktadır. Buradan hareketle yapılan regresyon analizindeki sonuçlar ile MLR modeli kurulduğu ve CO<sub>2</sub> emisyonu öngörüldüğünde Grafik 18'deki zaman serisi grafiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan MLR analizi ile Türkiye'nin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonunun artış gösterileceği tahmin edilmektedir.

#### 4.5.2.2. Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Modeli

İkinci bağımlı değişken olarak belirlenen  $Y_2$  değerinin öngörülebilmesi, analizin bir önceki aşamasında gerçekleştirilen bağımsız değişkenlerinin tahmininden geçmektedir. Analizin bu aşamasında  $Y_2$  için belirlenen her bir bağımsız değişken, 2030 yılına kadar yüksek performans gösteren ilgili yöntemlerle tahmin edilmiştir. Ardından  $Y_2$ 'nin gelecek değerlerinin öngörülmesi için MLR modeli oluşturulmuştur. Bu modelin regresyon istatistikleri Tablo 19'da gösterilmiştir. Regresyon istatistiklerine göre, *Düzeltilmiş  $R^2$*  = 0,999946681, *Anlamlılık  $F$*  = 2,45508E – 72 ve *Standart Hata* = 0,000017673 olarak tespit edilmiştir. Mevcut sonuçlar modelin anlamlı ve açıklayıcı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Tablo 20,  $Y_2$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenler ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarındaki P – değerlerine bakıldığında  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  değişkenlerinin model ile ilişkili olduğu görülmüştür. Ayrıca Tablo 19'daki analiz sonuçları  $Y_2$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenlerden  $X_3$ ,  $X_6$  ve  $X_9$  ile pozitif ilişkiye sahipken  $X_1$ ,  $X_4$  ve  $X_8$ 'in negatif ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 19: Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli

| Regresyon İstatistikleri |             |                  |                  |
|--------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Çoklu R                  | 0,999977339 | Bağımlı Değişken | $Y_2$            |
| $R^2$                    | 0,999954679 | Zaman Aralığı    | 1990-2030        |
| Düzeltilmiş $R^2$        | 0,999946681 | Metot            | En Küçük Kareler |
| Standart Hata            | 0,000017673 | $F$              | 125028,101       |
| Gözlem                   | 41          | Anlamlılık $F$   | 2,45508E-72      |

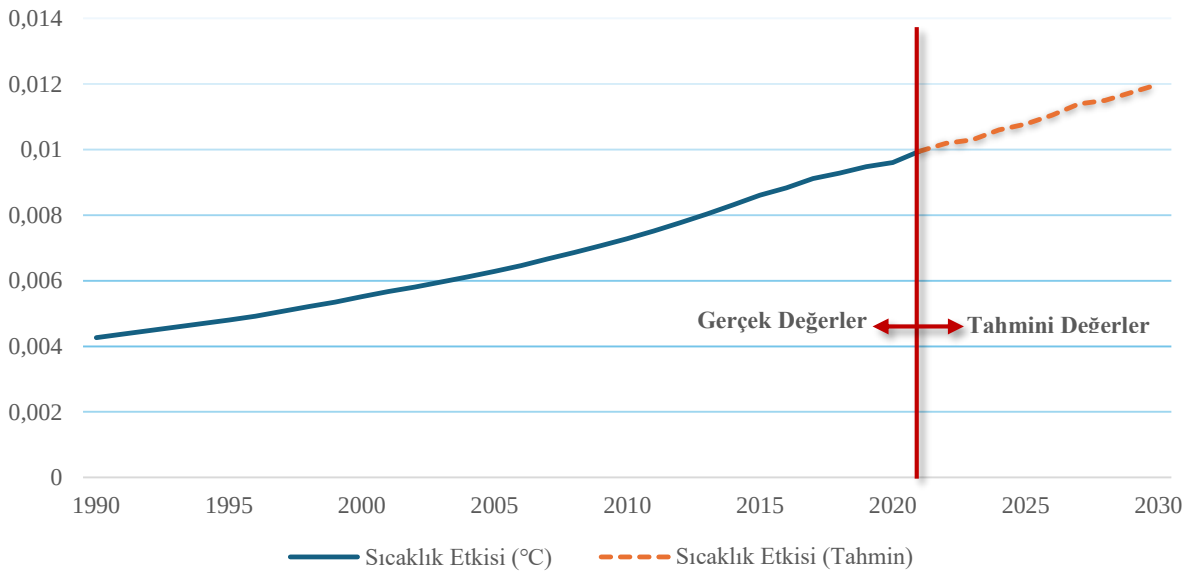
Tablo 20: Eşleşen Tahmin Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli İstatistikleri

| ID      | Katsayılar   | Standart Hata | <i>T İstatistiği</i> | <i>P-değeri</i> | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|---------|--------------|---------------|----------------------|-----------------|--------------|--------------|
| Kesişim | -549866,4953 | 14880,15      | -36,953              | 0,00000         | -580107      | -519626      |
| $X_1$   | -0,017151977 | 0,000364097   | -47,1082836          | 0,0000000       | -0,017891911 | -0,016412044 |
| $X_3$   | 7,72732E-11  | 2,21291E-12   | 34,91922975          | 0,0000000       | 7,2776E-11   | 8,17703E-11  |
| $X_4$   | -0,000307222 | 8,12608E-05   | -3,780695833         | 0,0006042       | -0,000472364 | -0,000142081 |
| $X_6$   | 1,11584E-05  | 9,32568E-07   | 11,96529238          | 0,0000000       | 9,26324E-06  | 1,30536E-05  |
| $X_8$   | -5,6594E-05  | 3,42805E-06   | -16,50906253         | 0,0000000       | -6,35606E-05 | -4,96273E-05 |
| $X_9$   | 2,86076E-09  | 2,23722E-10   | 12,78709472          | 0,0000000       | 2,4061E-09   | 3,31541E-09  |

Eşleşen tahmin yöntemleri ile  $Y_2$  ile kurulan model üzerinden Küresel Sıcaklık tahmini Grafik 19 ile ifade edilmiştir. Tablo 19'da ifade edilen regresyon istatistiklerinden yola çıkarak farklı zaman serileri ile öngörölmüş bağımsız değişkenlerin “Küresel Sıcaklığa” etkisini açıklayabilme kabiliyetine

sahip görülmektedir. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre, Küresel Sıcaklık  $Y_2$  değişkenini,  $X_1$ ,  $X_4$  ve  $X_8$  negatif yönde etkilemektedir. *T İstatistiği* sonuçları dikkate alındığında değişkenlerin,  $Y_2$  üzerindeki etkisi  $X_1 > X_3 > X_8 > X_9 > X_6 > X_4$  olarak sıralanmaktadır. Yapılan regresyon analizindeki sonuçlar ile MLR modeli kurulduğu ve Küresel Sıcaklık öngörüldüğünde Grafik 19'daki zaman serisi grafiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan MLR analizi ile Türkiye'nin 2030 yılına kadar ilgili değişkenlerin sıcaklığa etkisinin artış göstereceği tahmin edilmektedir.

**Grafik 19: Eşleşen Yöntem ile Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmini**



#### 4.5.3. Çoğunluk Oyu (Majority Vote) ile MLR Modeli

Çoğunluk oyu basit istatistiksel bir seçim stratejisidir. Bu yöntem günlük hayatta ve bilimsel çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Seçenekler arasında yapılan bir oylama veya karar alma sürecini ifade eden çoğunluk oyu, bir konuda alınacak bir karar üzerinde uzlaşma sağlamaktadır. Seçeneklerin çoğunluğunun lehinde veya aleyhinde oy kullanılmasıyla belirlenen bir sonuca işaret etmektedir. Bu yöntemle göre, en fazla oy alan seçenek, kararın alınmasında belirleyici olmaktadır (Heinberg, 1926: 52). Bu durum metodların belirlenme süreçlerinde benzer şekilde ilerleyebilmektedir. Farklı seçeneklerden oluşan geniş bir havuz göz önüne alındığında, uygulanabilecek çok sayıda olası strateji bulunmaktadır ve genellikle problem için hangisinin daha uygun olduğu pek açık değildir. Söz konusu soruna yönelik izlenebilecek en basit yol, eğitim verileri üzerinde en iyi performans gösteren yöntemin seçilmesidir (Partridge ve Yates, 1996: 872). Bu tarz yaklaşım basit olmasına rağmen optimum performansı garanti etmemektedir (Roli ve Giacinto, 2002: 202). Ayrıca seçeneklerden farklı yöntemlerin bir araya getirilerek oluşturulan modelin daha iyi performans gösterme olasılığı da mevcuttur. Bu durumda lokal verilere değil modelin bütününe odaklanılmaktadır. Ancak, farklı fakat çok daha kötü performansa sahip

seçeneklerin birleşik performansta herhangi bir fayda sağlaması pek olası görülmemektedir (Ruta ve Gabrys, 2005: 63).

Tezin bu aşamasında çoğunluk oyu stratejisinden yola çıkarak  $Y_1$  ve  $Y_2$  bağımlı değişkenlerinin öngörülmesinde yeni bir model oluşturulmuştur. İlk olarak Tablo 15'te belirtilen eğitim setleri üzerinden hesaplanan MAPE ve SMAPE performans metrikleri incelendiğinde 6/8 değişkenin ETS yönteminde daha doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Buna göre çoğunluk oyu stratejisi ile 1/8 MA, 1/8 LR tahmin yöntemleri devre dışı bırakılarak tüm bağımsız değişkenler için ETS yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile MLR modeli kurularak  $Y_1$  ve  $Y_2$  öngörülerinin performansları ölçülmüştür.

#### 4.5.3.1. Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu Modeli

İlk bağımlı değişken olarak belirlenen  $Y_1$ 'in öngörülebilmesi için tüm bağımsız değişkenler ETS yöntemi ile 2030 yılına kadar tahmin edilmiştir. Ardından  $Y_1$ 'in gelecek değerlerinin öngörülmesi için MLR modeli oluşturulmuştur. Bu modelin regresyon istatistikleri Tablo 21'de gösterilmiştir. Regresyon istatistiklerine göre,  $Düzeltilmiş R^2 = 0,999973271$   $Anlamlılık F = 1,96E - 77$  ve  $Standart Hata = 636,4610019607290$  olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle çoğunluk oyu stratejisi ile kurulan modelin anlamlı ve açıklayıcı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Tablo 22  $Y_1$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenler ile ilişkisini ortaya koymaktadır.

Tablo 21: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu MLR Modeli

| Regresyon İstatistikleri |             |                  |                  |
|--------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Çoklu R                  | 0,99998864  | Bağımlı Değişken | $Y_1$            |
| $R^2$                    | 0,99997728  | Zaman Aralığı    | 1990-2030        |
| Düzeltilmiş $R^2$        | 0,999973271 | Metot            | En Küçük Kareler |
| Standart Hata            | 636,4610019 | $F$              | 249410,9263      |
| Gözlem                   | 41          | Anlamlılık $F$   | 1,96E-77         |

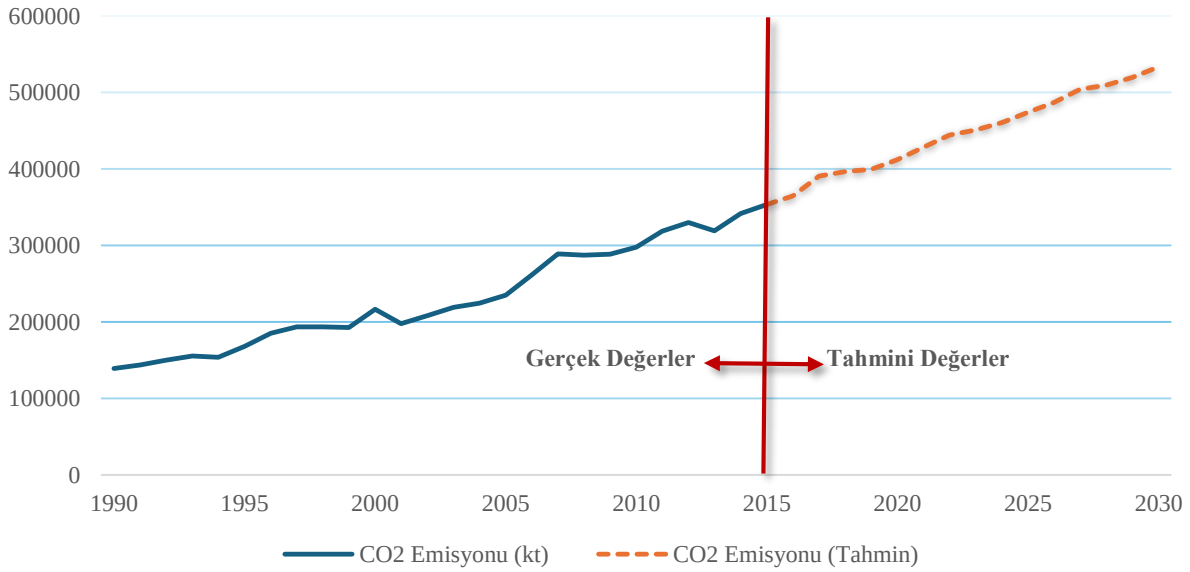
Tablo 22: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu MLR Modeli İstatistikleri

| ID      | Katsayılar   | Standart Hata | $T$ İstatistiği | $P$ -değeri | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|---------|--------------|---------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| Kesişim | -549866,4953 | 14880,15      | -36,953         | 0,00000     | -580107      | -519626      |
| $X_1$   | 0,000794563  | 7,38E-05      | 10,76176        | 0,00000     | 0,000645     | 0,000945     |
| $X_2$   | -0,606762057 | 0,08441822    | -7,187572257    | 0,00000     | -0,778320522 | -0,435203593 |
| $X_3$   | 50322,13052  | 1791,732648   | 28,08573621     | 0,00000     | 46680,89169  | 53963,36936  |
| $X_5$   | 110,5961212  | 3,837340331   | 28,82103531     | 0,00000     | 102,7977074  | 118,394535   |
| $X_8$   | 0,403688692  | 0,010915878   | 36,98178956     | 0,00000     | 0,381504959  | 0,425872424  |
| $X_9$   | 1,635458831  | 0,082041509   | 19,93452883     | 0,00000     | 1,468730425  | 1,802187238  |

Çoğunluk Oyu yöntemi ile kurulan  $Y_1$  modeli üzerinden CO<sub>2</sub> emisyonu tahmini Grafik 20 ile ifade edilmiştir. Bu model sonucunda elde edilen  $P - değerlerine$  bakıldığında  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_5$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  değişkenlerinin model ile ilişkili olduğu görülmüş ve benzer şekilde  $X_2$ , hariç tüm değişkenler  $Y_1$  ile

pozitif ilişkiye sahipken  $X_2$  (GSYH) değişkeninin ilişkisinin negatif olduğu tespit edilmiştir. *T İstatistiği* sonuçları dikkate alındığında ise değişkenlerin,  $Y_1$  üzerindeki etkisi  $X_8 > X_5 > X_3 > X_9 > X_1 > X_2$  olarak sıralanmaktadır. Tablo 21’de ifade edilen regresyon istatistiklerinden yola çıkarak tüm bağımsız değişkenlerin aynı zaman serisi yöntemi ile öngörölmüş olmasına rağmen CO<sub>2</sub> emisyonunu açıklayabilme niteliğine sahip görölmektedir.

**Grafik 20: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile CO<sub>2</sub> Emisyonu Tahmini**



Yapılan regresyon analizindeki sonuçlar ile MLR modeli kurulduğu ve CO<sub>2</sub> emisyonu öngöröldüğünde Grafik 20’deki zaman serisi grafiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan MLR analizi ile Türkiye’nin 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonunun artış gösterileceği tahmin edilmektedir.

#### 4.5.3.2. Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Modeli

İkinci bağımlı değişken olan  $Y_2$  değerinin öngörölebilmesi için benzer şekilde tüm değişkenlere aynı zaman serisi tahmin yöntemi uygulanmış ve değerler 2030 yılına kadar ETS yöntemi ile tahmin edilmiştir. Ardından  $Y_2$ ’nin gelecek değerleri öngörölmesi için MLR modeli oluşturulmuştur. Bu modelin regresyon istatistikleri Tablo 23’te gösterilmiştir. Regresyon istatistiklerine göre, *Düzeltilmiş  $R^2 = 0,999947048$*  *Anlamlılık  $F = 2,18E - 72$*  ve *Standart Hata = 0,000017673* olarak tespit edilmiştir. Tablo 23, çoğunluk oyu ile yapılan değişken tahmini sonucunda modelin anlamlı ve açıklayıcı olduğunu göstermektedir. Tablo 24 ise  $Y_2$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenler ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarındaki P – değerlerine bakıldığında  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ ,  $X_8$  ve  $X_9$  değişkenlerinin model ile ilişkili olduğu görölmüştür.

**Tablo 23: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli**

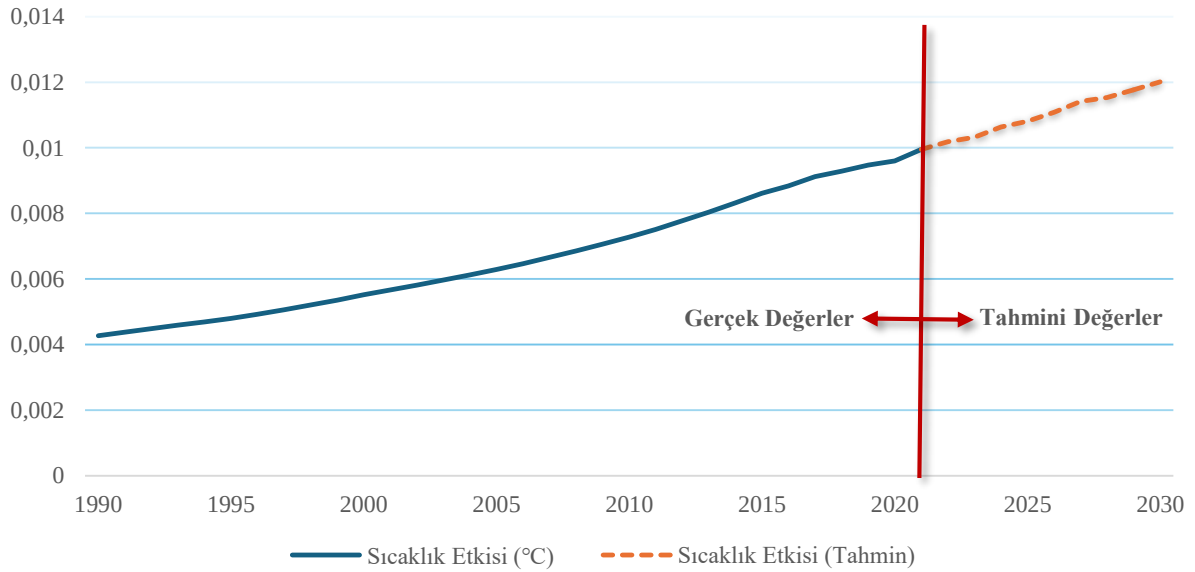
| Regresyon İstatistikleri |             |                  |                  |
|--------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Çoklu R                  | 0,999977495 | Bağımlı Değişken | $Y_2$            |
| $R^2$                    | 0,999954991 | Zaman Aralığı    | 1990-2030        |
| Düzeltilmiş $R^2$        | 0,999947048 | Metot            | En Küçük Kareler |
| Standart Hata            | 0,000017673 | $F$              | 125895,2451      |
| Gözlem                   | 41          | Anlamlılık $F$   | 2,18E-72         |

**Tablo 24: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi MLR Modeli İstatistikleri**

| ID             | Katsayılar   | Standart Hata | T Stat       | P-değeri | Düşük %95    | Yüksek %95   |
|----------------|--------------|---------------|--------------|----------|--------------|--------------|
| <b>Kesişim</b> | -0,017151977 | 0,000363266   | -47,21603078 | 0,000000 | -0,017890223 | -0,016413732 |
| $X_1$          | 7,72732E-11  | 2,26136E-12   | 34,17114653  | 0,000000 | 7,26775E-11  | 8,18688E-11  |
| $X_3$          | -0,000307222 | 8,11657E-05   | -3,78512407  | 0,000597 | -0,000472171 | -0,000142274 |
| $X_4$          | 1,11584E-05  | 9,28237E-07   | 12,02111009  | 0,000000 | 9,27204E-06  | 1,30448E-05  |
| $X_6$          | -5,6594E-05  | 3,43414E-06   | -16,47982406 | 0,000000 | -6,3573E-05  | -4,9615E-05  |
| $X_8$          | 2,86076E-09  | 2,2296E-10    | 12,83077878  | 0,000000 | 2,40765E-09  | 3,31387E-09  |
| $X_9$          | 1,08087E-07  | 2,54874E-09   | 42,4081475   | 0,000000 | 1,02908E-07  | 1,13267E-07  |

Çoğunluk oyu yöntemi ile  $Y_2$  ile kurulan model üzerinden Küresel Sıcaklık tahmini Grafik 21 ile ifade edilmiştir. Bu model sonucunda diğer yöntemden farklı olarak Tablo 23'teki analiz sonuçları  $Y_2$  bağımlı değişkeninin, bağımsız değişkenlerden  $X_4$ ,  $X_6$  ve  $X_9$  ile pozitif ilişkiye sahipken  $X_3$ ,  $X_6$ 'in negatif ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir.  $T$  İstatistiği sonuçları dikkate alındığında ise değişkenlerin,  $Y_2$  üzerindeki etkisi  $X_9 > X_1 > X_6 > X_8 > X_4 > X_3$  olarak sıralanmaktadır. Buna göre, Türkiye'nin veri seti ile yapılan analiz, Türkiye'de küresel sıcaklığa etki eden en büyük faktörlerden birisinin "ormanlık alan" iken diğerinin ise "nüfus" olduğunu göstermektedir.

**Grafik 21: Çoğunluk Oyu Yöntemi ile Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmini**



Tablo 23'te ifade edilen regresyon istatistiklerinden yola çıkarak tüm bağımsız değişkenlerin aynı zaman serisi ile öngörülmüş ve Küresel Sıcaklığa etkisini açıklayabilme yetisine sahip olduğu tespit

edilmiştir. Yapılan regresyon analizindeki sonuçlar ile MLR modeli kurulduğu ve Küresel Sıcaklık öngörüldüğünde Grafik 21'deki zaman serisi grafiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan MLR analizi ile Türkiye'nin 2030 yılına kadar ilgili değişkenlerin sıcaklığa etkisinin artış gösterileceği tahmin edilmektedir.

#### 4.6. Bulgular

Bu tezin amacı ideal yöntem ile Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonu salımı ve küresel sıcaklığa etkisini geniş bir değişken perspektifi ile öngörmektir. Bir önceki bölümde tezin metodolojisi ve farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yapılan metodolojik sıralamaya göre ikincil veri kaynağından toplanan veriler düzenlenerek ETS, LR ve MA olmak üzere üç farklı zaman serisi yöntemi simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen MAPE ve SMAPE değerlerine göre her bir bağımsız değişken (X<sub>n</sub>) için en iyi sonuç veren ideal yöntem seçilmiştir (Bknz Tablo 15). İlk senaryo, seçilen ideal yöntemler ile değişkenler 2030 yılına kadar tahmin edilerek Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> bağımlı değişkenlerine ayrı ayrı MLR modeli kurulmasıdır. Model sonucunda Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> değişkenlerinin 2030 yılı verileri öngörülmüştür. İkinci senaryo ise çoğunluk oyu stratejisi ile seçilen zaman serisi yöntemine dayanmaktadır. Buna göre Tablo 15'te yer alan MAPE ve SMAPE değerlerine göre X<sub>n</sub> değişkenleri için en fazla tekrarlanan ETS yöntemi seçilmiştir. Tüm bağımsız değişkenler (X<sub>n</sub>) çoğunluk oyunu almış seçilen ETS yöntemi ile tahmin edilmiştir. Ardından ise benzer şekilde Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> bağımsız değişkenlere ayrı ayrı MLR modeli kurularak Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> değişkenlerinin 2030 yılına kadar öngörülmesi sağlanmıştır.

Yapılan çok değişkenli tahminlere göre iki senaryonun sonuçları Tablo 25'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre CO<sub>2</sub> Emisyonu (Y<sub>1</sub>) model istatistikleri büyük farklılıklar göstermemekle birlikte, ikinci senaryoda ilk senaryodan daha iyi sonuç vermektedir. Küresel Sıcaklık (Y<sub>2</sub>) model istatistiklerinde ilk senaryodaki "Anlamlılık F" değeri daha iyi sonuç vermiştir. Ancak diğer sonuçların ikinci senaryoda daha iyi olması ve her iki bağımlı değişken için yakın sonuçlar vermesi nedeniyle "Çoğunluk Oyu" yöntemi ile gerçekleştirilmiş; ikinci senaryo ile devam edilmiştir.

Tablo 25: Eşleşen Yöntem & Çoğunluk Oyu Yöntemi

|                | Senaryo 1: Değişken Bazlı Yöntem |               |              | Senaryo 2: Majority Vote Seçim Yöntemi |               |              |
|----------------|----------------------------------|---------------|--------------|----------------------------------------|---------------|--------------|
|                | Düzeltilmiş R <sup>2</sup>       | Standart Hata | Anlamlılık F | Düzeltilmiş R <sup>2</sup>             | Standart Hata | Anlamlılık F |
| Y <sub>1</sub> | 0,999973292                      | 636,4610020   | 1,93259E-77  | 0,999973271                            | 636,4610019   | 1,96E-77     |
| Y <sub>2</sub> | 0,999946681                      | 0,000017673   | 2,45508E-72  | 0,999947048                            | 0,000017673   | 2,18E-72     |

Bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesi için uygulanan ikinci senaryonun seçiminin ardından Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> değişkenlerinin öngörüsü de netleştirilmiştir. Buradan hareketle yorumlanabilecek geçerli ve güvenilir analiz sonuçları elde edilmiş ve bulgular aşamasına geçilmiştir.

Veri türlerinin farklılığından dolayı görselleştirmeler Grafik 22 ve Grafik 23 paylaşılan bağımsız değişkenler (X<sub>n</sub>) ve bağımlı değişkenler (Y<sub>x</sub>) ile ilişkilerinin gösterilmesi için analiz sonuçları

normalize edilmiştir. Normalizasyon (*Min-Max Scaling*), bir veri kümesinin belirli bir standarda getirilmesi veya ölçeklendirilmesi anlamına gelmektedir. Öznitelik Ölçekleme <sup>6</sup> (*Feature Scaling*) yöntemlerinden biri olan normalizasyonun amacı, veri setindeki değerleri karşılaştırılabilir hale getirerek analizlerde tutarlılık sağlamaktır. Bu yöntemle göre veri setindeki her değer 0-1 aralığına ölçeklendirilir (Walach vd., 2018: 3).

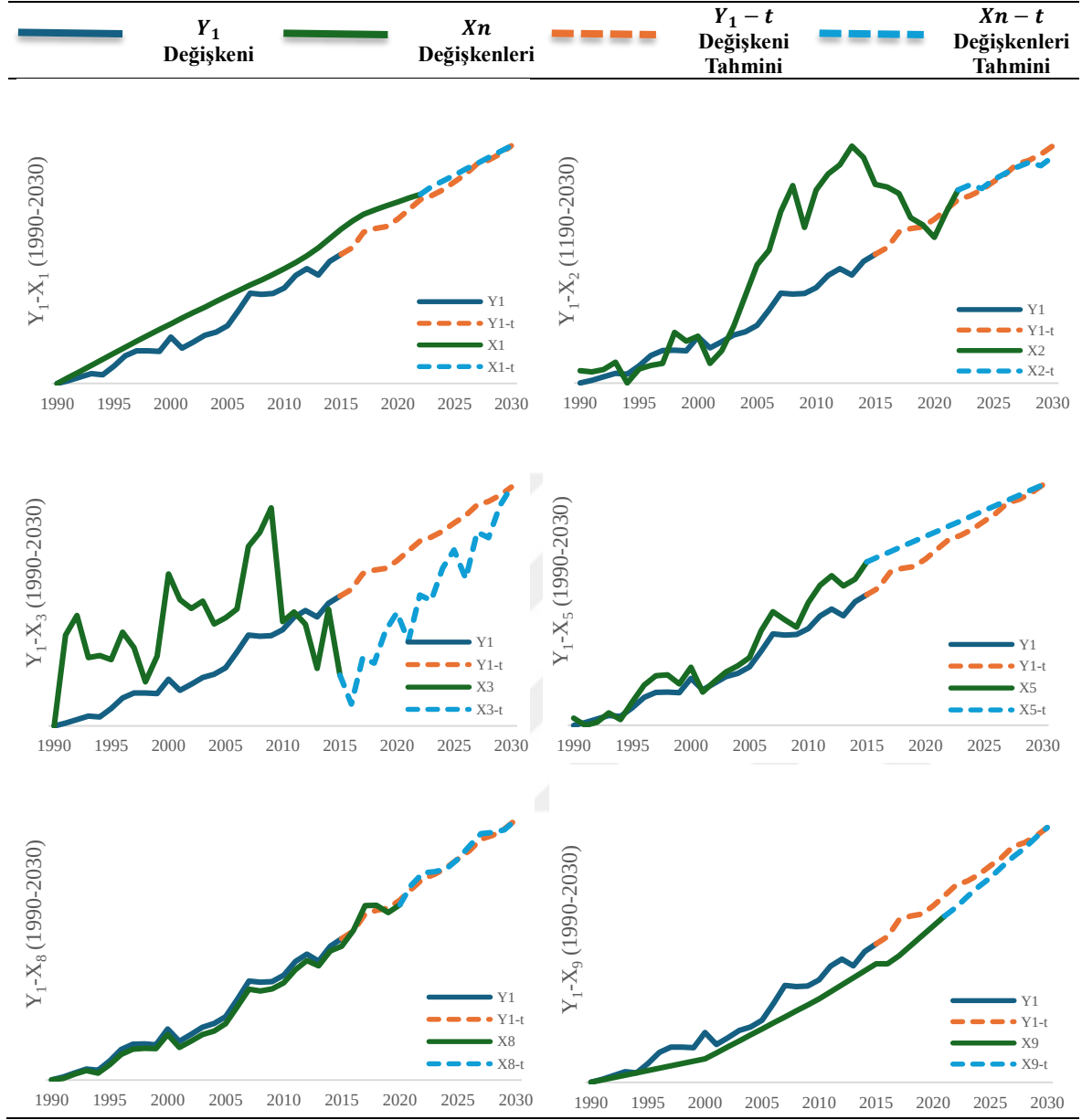
$$X_{norm} = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (21)$$

Yukarıda verilen normalizasyon denklemi (21),  $X$  orijinal değerlerinin minimum ve maksimum değerlerin hesaplanması üzerine kurulmuştur.

---

<sup>6</sup> **Öznitelik Ölçekleme (Feature Scaling):** Veri madenciliği, makine öğrenimi ve istatistiksel analiz gibi alanlarda sıkça kullanılan bir terim olup veri setindeki farklı birimlerdeki veya ölçeklerdeki özniteliklerin ölçeklendirme anlamına gelmektedir.

Grafik 22: CO<sub>2</sub> Emisyonu & Bağımsız Değişken İlişkileri



Grafik 22 ve Tablo 26, CO<sub>2</sub> emisyonu ( $Y_1$ ) ile bağımsız değişkenleri ( $X_n$ ) arasındaki ilişkileri göstermektedir. CO<sub>2</sub> emisyonu yukarıda yer alan tüm bağımsız değişkenlerin etkisi dikkate alınarak MLR yöntemi ile tahmin edilmiştir. Tablo 26'da açıkça ifade edildiği gibi bu öngörüye göre CO<sub>2</sub> emisyonu 2015 yılından 2030 yılına kadar %50,92 oranında artış göstermiştir ve ciddi bir müdahale olmadığı sürece istikrarlı artışı sürecektir. Bunun nedeni ilişkili olduğu belirlenen değişkenlerin artmasıdır. İlk olarak  $Y_1-X_1$  grafiği CO<sub>2</sub> emisyonu ile nüfus değişkeni arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu grafiğe göre nüfus doğrusal artış eğilimindedir; 2022 yılından 2030 yılına kadar %9,36 artmış ve bu artış CO<sub>2</sub> emisyonunun artışını pozitif yönde etkilemiştir. Ülkenin ekonomik gelişmişliğini gösteren GSYH ( $X_2$ ), 2020 yılında ciddi bir düşüş göstermiş, sonrasında ise yükselişe geçmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonunu ithalat, ihracat ve teknoloji gibi pek çok açıdan etkileyen bu değişkenin yükselişi 2022

yılından 2030 yılına kadar %13,38 artmış ve CO<sub>2</sub> emisyonunu etkilemiştir.  $Y_1$ - $X_3$  arasındaki ilişki grafiği incelendiğinde katı yakıt tüketiminden kaynaklanan salımlar Türkiye özelinde hareketli bir grafiğe sahiptir. Bu sonuca göre 2013 yılındaki düşüşü 2014 yılında artış ve bu artışı ise 2015 yılında tekrar düşüş takip etmiştir. Nitekim analiz sonuçları  $X_3$  değişkeninin 2015 yılından 2030 yılına kadar %9,65 artarak CO<sub>2</sub> emisyonunu doğrudan tetikleyeceğini göstermektedir.

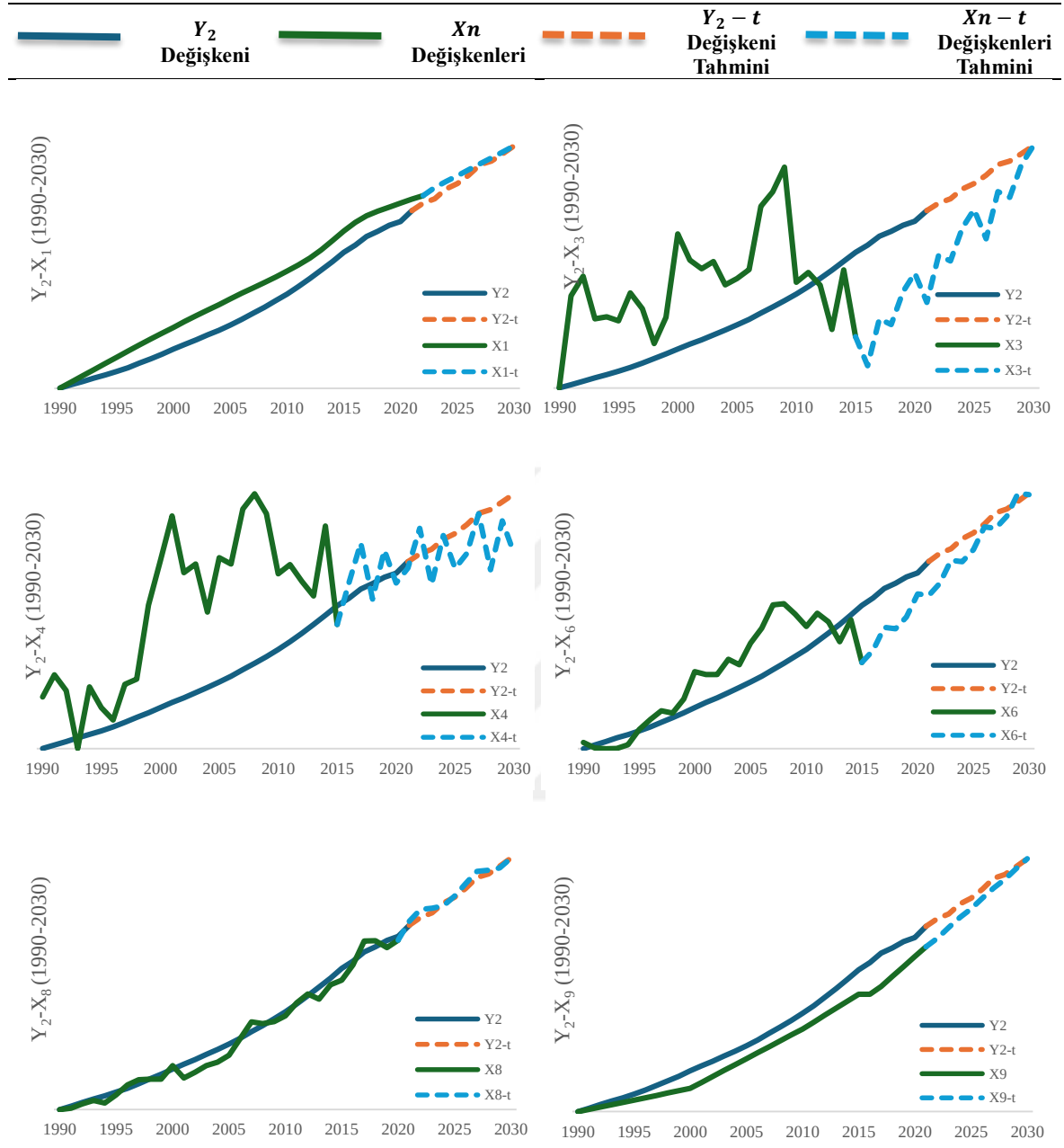
**Tablo 26: CO<sub>2</sub> Emisyonu & Bağımsız Değişken Oransal Artışları (%)**

| Değişken Adı                                                           | Değişken ID | Artış Oranı (%) | CO <sub>2</sub> Emisyonu ( $Y_1$ ) Artış Oranı |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------------------------------------------|
| Nüfus (toplam)                                                         | $X_1$       | %9,36           |                                                |
| GSYH (US\$)                                                            | $X_2$       | %13,38          |                                                |
| CO <sub>2</sub> Yoğunluğu (petrol eşdeğeri enerji kullanımı başına kg) | $X_3$       | %9,65           | %50,92                                         |
| Enerji Kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg)                | $X_5$       | %19,94          |                                                |
| Toplam Sera Gazı (kt CO <sub>2</sub> eşdeğeri)                         | $X_8$       | %32,18          |                                                |
| Ormanlık Alan (km <sup>2</sup> )                                       | $X_9$       | %6,17           |                                                |

Fosil yakıt tüketiminin başlıca kaynağı olan enerji kullanımı  $Y_1$ - $X_5$  grafiği üzerinde değişkenlerin ilişkileri gösterilmiştir. Tahmin sonucuna göre  $X_5$ , 2015 yılından 2030 yılına kadar %19,94 artış göstermiş ve CO<sub>2</sub> emisyonunun artışı üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Bu eğilim  $Y_1$  ve  $X_5$  değişkenleri için de görülmektedir. Benzer şekilde  $Y_1$ - $X_8$  grafiği de paralel bir ilerleme göstermiştir. Atmosfere salınan tüm sera gazlarının toplamını ifade eden  $X_8$ , 2019 yılında 2030 yılına kadar %32,18 artış göstermiş ve CO<sub>2</sub> emisyonunun artışı tetiklemiştir.

Son olarak,  $Y_1$ - $X_9$  grafiği ormanlık alanların CO<sub>2</sub> emisyonu ile ilişkisini göstermektedir. Bu ilişki ters yönde etki etmeliyken analiz sonuçlarında pozitif artış görülmüştür. Bunun sebebi ormanlık alanlardaki artışın CO<sub>2</sub> emisyonunu tetikleyen diğer etkenlerindeki oransal artışın eşit olmamasıdır. Her geçen yıl düşük miktarda artış gösteren ormanlık alan CO<sub>2</sub>'i absorbe etmek için yeterli olmamaktadır.  $X_9$ , 2021 yılından 2030 yılına kadar %6,17 artış gösterse de bu oranın diğer faktörlerin artışlarına kıyasla yeterli olmayacağı ve ormanlık alanların korunması ve artırılmasına yönelik acil düzenlemelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Grafik 23: Küresel Sıcaklık Etkisi & Bağımsız Değişken İlişkileri



Grafik 23 ve Tablo 27, küresel sıcaklık etkisi ( $Y_2$ ) ile bağımsız değişkenleri ( $X_n$ ) arasındaki ilişkileri göstermektedir.  $Y_2$ , yukarıda yer alan tüm bağımsız değişkenlerin etkisi dikkate alınarak MLR yöntemi ile tahmin edilmiştir. Bu öngörüye göre  $Y_2$ , Grafik 22 ile ifade edilen ve en büyük etkeni olan  $Y_1$ 'in artışından da anlaşılabileceği üzere 2021 yılından 2030 yılına kadar %19,93 artış göstermiştir. Bu duruma  $Y_2$ 'nin belirlenen etki faktörlerinde artış sebep olmuştur. İlk olarak  $Y_2$ - $X_1$  grafiği küresel sıcaklık etkisi ile nüfus değişkeni arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Doğrusal artış gösteren  $X_1$ ,  $Y_1$ 'i olduğu gibi  $Y_2$ 'nin artışını da pozitif yönde tetiklemektedir ve analiz sonuçlarına göre hem  $Y_1$  hem de  $Y_2$  üzerinde Türkiye'deki nüfus artışının ciddi bir etkisi bulunmaktadır.  $Y_2$ - $X_3$  arasındaki ilişki,  $CO_2$  yoğunluğundaki düşüşün küresel sıcaklığı anlık olarak etkilemediğini göstermektedir.  $X_3$ , 2016 yılında ciddi bir düşüş

göstermesine ve bir sonraki yıllarda nispeten az olmasına rağmen  $Y_2$  üzerindeki etkisi  $Y_2$  'nin harekete geçmesine etki etmemiştir. Bu etki ancak diğer değişkenlerdeki oranların azalması ve bu oranların uzun süre sürdürülmesi ile mümkün olabilecektir. Elektrik üretimini temsil eden  $X_4$ ,  $Y_2$  için büyük bir etki faktörüdür. Türkiye’de  $X_4$  hareketli bir grafiğe sahiptir.  $Y_2$ - $X_4$  arasındaki ilişki incelendiğinde Türkiye’deki  $X_4$  ’ün yer yer arttığı ve azaldığı görülmektedir. Ancak düşüşler  $Y_2$  ’nin azalması için yeterli gelmemektedir.  $X_4$ , 2022 yılından 2020 yılına kadar %13,55 oranında artış göstererek  $Y_2$  artışı üzerinde pozitif yönde bir artışa neden olmaktadır.

**Tablo 27: Küresel Sıcaklık Etkisi & Bağımsız Değişken Oransal Artışları (%)**

| Değişken Adı                                                           | Değişken ID | Artış Oranı (%) | Küresel Sıcaklık Etkisi ( $Y_2$ ) Artış Oranı |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| Nüfus (toplam)                                                         | $X_1$       | %9,36           |                                               |
| CO <sub>2</sub> Yoğunluğu (petrol eşdeğeri enerji kullanımı başına kg) | $X_3$       | %9,65           |                                               |
| Elektrik Üretimi (toplam %)                                            | $X_4$       | %13,55          |                                               |
| Fosil Yakıt Enerji Tüketimi (toplam %)                                 | $X_6$       | %7,31           | %19,93                                        |
| Toplam Sera Gazı (kt CO <sub>2</sub> eşdeğeri)                         | $X_8$       | %32,18          |                                               |
| Ormanlık Alan (km <sup>2</sup> )                                       | $X_9$       | %6,17           |                                               |

Fosil yakıt tüketimi küresel ısınmanın en büyük kaynağıdır. Türkiye’de  $X_6$  üzerinde 2015 yılında bir düşüş gözlemlenmiş olsa da yapılan tahminlere göre bu durum kalıcı olmamaktadır.  $X_6$ , 2022 yılından 2030 yılına kadar %7,31 artarak küresel sıcaklığın artışını tetiklemektedir.  $Y_2$ - $X_8$  arasındaki ilişki incelendiğinde iki değişken de doğrusal bir düzlemde görülmektedir. Atmosfere bu gazların salımı devam ettikçe küresel sıcaklığın artışı devam edecektir. Son olarak  $Y_2$ - $X_9$  ilişki,  $Y_1$  üzerinde olduğu gibi pozitif yönlüdür. Bunun nedeni daha önce de açıklandığı gibi  $Y_2$  faktörlerinin artışı ile ormanlık alanların artışının oransal olarak eşit olmamasıdır. Analiz sonuçlarına göre Türkiye’de küresel sıcaklığın artışını tetikleyen en büyük unsur olarak başta gelen bu değişken Türkiye için ciddi bir sorunu temsil etmektedir. Değişkenlerde gözlemlenen bu artışlar, Türkiye’nin küresel sıcaklığa etki düzeyinin %19,93 oranının artış göstereceğini göstermektedir.

#### 4.7. Tartışma

Türkiye’nin CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etkisine yönelik bir projeksiyon sunmayı hedefleyen bu tezde, çok faktörlü tahmin modeli ile bir öngörü oluşturmuştur. Bu model çeşitli yöntemlerle uygulanmıştır. Ampirik literatürde sınırlı tutulan değişken sayısı artırılarak pek çok faktör ele alınmıştır. Örneğin Kumari ve Singh (2022), Lotfalipour vd. (2013) ve Wang vd. (2020) değişken olarak yalnızca CO<sub>2</sub> emisyonunu belirleyerek tek faktörlü tahmin gerçekleştirmişlerdir. Boğar ve Özsüt-Boğar (2017), Hosseini vd. (2019), Kadam ve Vijayumar (2018), Tanania vd. (2020) gibi yazarlar çalışmalarına, nüfus, elektrik üretimi, enerji kullanımı, GSYH gibi değişkenler ekleyerek çok faktörlü tahmin modeli oluşturmuşlardır. Bu çalışmalarda yenilenebilir enerji, ormanlık alan gibi değişkenler dahil edilmemiştir.

Yapılan derin literatür taraması sonucunda seçilen veriler, tezin öznitelik seçim aşamasında literatürden ayrılmıştır. Literatürde CO<sub>2</sub> emisyonu ( $Y_1$ ) ve küresel sıcaklık ( $Y_2$ ) üzerine etkili olabilecek yenilenebilir enerji kaynakları ( $X_7$ ) (Waheed vd., 2018: 4232; Cerdeira Bento ve Moutinho, 2016: 153) öznitelik seçiminde her iki bağımsız değişken ile anlamlı bir etkiye sahip olmaması sebebiyle çıkarılmıştır. Bu durumun çeşitli nedenleri olabilmekle birlikte, Türkiye veri setindeki  $X_7$ 'nin  $Y_1$  ve  $Y_2$  için yetersiz, eksik veya anlamlı düzeyde bir etkiye sahip olmamasından kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte, literatürde  $Y_1$  için elektrik üretimi ( $X_4$ ) (Cristóbal vd., 2012: 266) ve fosil yakıt enerji tüketimi ( $X_6$ ) (Maslin, 2011: 14; Hosseini vd., 2019: 620) arasındaki ilişki kanıtlanmış olmasına rağmen,  $X_4$  ve  $X_6$ 'nın  $Y_1$  üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Bu durum veri setinin anlamlılığı, yetersizliğinden kaynaklanabilmektedir. Benzer şekilde, literatürde GSYH ( $X_2$ ) (Jorgenson ve Clark, 2010: 36; Lane, 2011: 917) ve Enerji Kullanımı ( $X_5$ ) (Hosseini vd., 2019: 620; Obradović ve Lojanica, 2017: 520), Sıcaklık Etkisi ( $Y_2$ ) üzerinde etkili olmasına rağmen analizde Türkiye veri setinde GSYH ( $X_2$ ) ve Enerji Kullanımı ( $X_5$ ), Sıcaklık Etkisi ( $Y_2$ ) için açıklayıcı ve anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Boğar ve Özsüt-Boğar (2017), çok faktörlü çalışmalarında zaman serileri ile tahmin etmiş ve MAPE değerleri baz alarak Türkiye'nin sektörel CO<sub>2</sub> gazı salımını bir ANN modeli oluşturarak öngörmüşlerdir. Kadam ve Vijayumar (2018), Hindistan'ın elektrik enerjisi ve kömür yakımı verileri ile CO<sub>2</sub> emisyonunu tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Supervised Machine Learning (Gözetimli Makine Öğrenmesi) ve LR yöntemleri ile verilerini tahmin ederek RMSE değerleri ile ölçümlemişlerdir. Çalışma sonucunda SVM (Destek Vektör Makinesi) modeli oluşturmuşlardır. Yöntem olarak literatür çeşitlilik gösterse de çok faktörlü analizler için çoklu regresyon analizleri daha yaygın tercih edilmektedir. Türkiye veri setlerinin analiz edildiği bu çalışmada da çoklu regresyon analizi başarılı sonuç vermiştir.

Benzer bir yaklaşım gösteren, Hosseini vd. (2019), İran için çok faktörlü yürüttüğü çalışmalarında TES, LES, PG ve hibrit yöntemleri ile bağımsız değişkenlerini test etmiş ve MAPE değerleri ile eşleşen yöntemleri belirleyerek tahmin etmiştir. Elde ettiği değerler sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonunu, MLR ve MPR olmak üzere iki model kurarak öngörmüş ve MPR modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Zamansal bir veri setine sahip olunması nedeniyle zaman serileri analizleri literatürde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Zaman serileri genellikle başarılı sonuçlar verse de farklı veri setleri için trend, mevsimsellik gibi etkenlerden dolayı farklı zaman serisi yöntemleri tercih edilmelidir. Türkiye veri setlerinde değişkenler ve etkenler fazla olması nedeniyle üç yöntemden çoğunlukla ETS yöntemi başarılı olmuş ve MLR modelinde de ETS yöntemi daha iyi sonuç vermiştir.

Tanania vd. (2020), Hindistan'ın yıl, nüfus ve elektrik tüketimi değişkenlerini zaman serisi yöntemleri ile tahmin etmişlerdir. Tahmin değerlerini MSE ve RMSE performans metrikleri ile ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile CO<sub>2</sub> emisyonunu MLR modeli oluşturarak öngörmüştür.

Kumari ve Singh (2022), Hindistan'ın gelecek 10 yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunu öngörmeyi hedeflediği çalışmada altı farklı (ARIMA, SARIMAX, LR, RF, Holt-Winters, LSTM) yöntem ile tahmin etmiş ve elde ettiği sonuçları MAPE, MAE, RMSE, MedAE, EVS, MSLE metrikleri ile ölçmüştür. Nitekim analiz sonuçlarına göre çalışma verilerinde LSTM modelinin daha başarılı olduğunu gözlemlemiştir. Lotfalipour vd. (2013), ARIMA (Hannan – Rissanen), ARIMA (Box – Jenkins) ve GM yöntemleri ile İran CO<sub>2</sub> emisyonunu tahmin etmiş, sonuçlarını MAPE, MAE, RMSE metriklerini kullanarak ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda her iki ARIMA modelinin GM modeline kıyasla daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Wang vd. (2020), Çin, ABD ve Hindistan olmak üzere üç ülkenin CO<sub>2</sub> emisyonu veri setlerini 4 farklı yöntem (ARIMA, BPNN, MNGM – ARIMA, MNGM – BPNN) ile tahmin etmişler, MAPE, MSE ve MSPE değerlerine göre MNGM – ARIMA (hibrit) model önerisinde bulunmuşlardır. Yapılan bu çalışmalardan da görüldüğü üzere zaman serilerinin ne kadar başarılı olduğunu ölçmenin farklı yöntemleri bulunmaktadır. Ölçüm parametreleri değişiklik gösterse de MAPE son zamanlarda ceza sistemi sebebiyle çalışmalarda ön plana çıkmaktadır. Avantajlarının yanında dezavantajının bulunmasından dolayı bu çalışmada SMAPE yöntemi de kullanılmış ve Türkiye verilerinde MAPE ile yaklaşık değerler elde edilmiştir.

Bununla birlikte incelenen çalışmalarda değişken tahminlemeleri ve ölçümlerinin hemen ardından en iyi sonuç veren yöntem ile yapılan tahmin sonucunda model oluşturma aşamasına geçilmiştir. Özellikle çok faktörlü analizlerde model oluşturmak oldukça zorlu bir süreçtir. Bunun nedeni verilerin yanıltıcı, yanlış ve daha birçok dezavantaja sahip olabilme ihtimalidir. Bu ihtimallerin önüne geçebilmek adına tezde literatürden farklı olarak iki farklı senaryo ile model oluşturulmuştur. Bunlardan ilki literatür örneklerinde olduğu gibi eşleşen tahmin yöntemleri ile kurulan modeldir. İkincisi ise çoğunluk oyu sistemi ile en fazla oyu alan tahmin yönteminin kurulmasıdır. Bu farklı senaryoların kıyaslanması durumunda ikinci senaryo olan çoğunluk oyu ile kurulan modelin daha başarılı sonuç vermiştir. Tezin özgün niteliğini gösteren bu bulgu, en başarılı sonuç veren yöntemin, çoklu regresyon analizinde de doğru sonuç vereceği anlamına gelmediğini göstermektedir. Yöntem tek bir değişkende doğru bir sonuç verse de bütün değişkenler analize dahil edildiğinde doğru sonuç vermeyebilmektedir. Yaygın kullanıma sahip olsa da bu tür deneysel çalışmalarda sınırlı kalmış çoğunluk oyu ve daha pek çok seçim stratejisinin ele alınması araştırmaların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttıracak yöntemler olarak görülmektedir.

Bu tezi öne çıkaran özelliği, var olan problemin çözümüne yönelik somut kanıtlar ile önerilerde bulunmasıdır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununa, Türkiye bağlamında öneri ve stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Böylelikle bu çalışma, soruna yönelik teorik öneriler sunmakla veya deneysel olarak bir algoritma kullanmakla sınırlı kalmamıştır. Var olan problemi analiz etmiş, pek çok boyutu ile ele almış ve elde ettiği veriler ışığında karar vermeye yardımcı bilgiler sunarak hedefe yönelik stratejik bir yol haritası önermiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular araştırma kapsamında belirlenen faktör ve yöntemlere dayanmaktadır. Bu faktörler Türkiye'nin küresel sıcaklığa etki oranını arttırmaktadır. Diğer ülkelerin farklı koşullarından etkilenerek değişkenler farklılık gösterebilmektedir. Bununla birlikte küresel ısınma ve iklim değişikliği dinamik yapısı itibarıyla farklı değişkenler ile de ele alınabilmektedir. Bir sonraki çalışmalarda araştırmacılar, analizlerinde farklı değişkenleri inceleyebilir veya değişken sayısını arttırarak bu çalışmaya katkı sağlayabilirler.

Bu çalışma zaman serisi ve regresyon yöntemlerinden faydalanarak bir öngörü oluşturmayı hedeflemiştir. Bununla birlikte pek çok tahmin ve analiz yöntemi bulunmaktadır. Araştırmacılar bir sonraki çalışmalarda farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin yapabilir, diğer regresyon yöntemleri ile model oluşturabilirler. Araştırmacıların farklı yöntemleri ele alırken çoğunluk oyu gibi seçim stratejilerinden faydalanmaları önem arz etmektedir. Farklı yöntem veya araçların kullanılması ile bu çalışma bulguları kıyaslanabilir, analiz yöntemlerinin çeşitlendirilmesi ve daha iyi sonuç veren algoritmalarla tahmin verilerinin kalitesinin artırılması sağlanabilir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin gezegene yönelik artan tehdidi, çevre ve iklim sorunlarının uluslararası politika gündemine girmesine neden olmuştur. Küresel sıcaklığın artışının insan faaliyetlerinden kaynaklı olduğunun kabul edilmesi ile esasında antroposentrizmin gelecek yüzyılları tehlikeye atabilecek bir güce sahip olduğu da görülmüştür. Bu nedenle insan faaliyetlerinin, çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya veya durdurmaya yönelik düşünsel faaliyetler ve stratejiler artış göstermiştir. Çok paydaşlı ve interdisipliner bir yönetişi gerektiren bu süreç aynı zamanda birçok parametrenin dikkate alınmasını da gerektirmektedir.

Küresel sıcaklık problemine karşı ciddi bir önlem alınması gerekiyor ise öncelikle adil bir dünya vizyonu inşa etmek ile başlanmalıdır. Çünkü çevresel sorunların nedenleri ve çözümleri açısından ekonomik yapıyla doğrudan ilişkilidir. Çoğunlukla üretim süreçlerinin neden olduğu kirlilik ve şirketlerin yüksek maliyetli atık yönetim ve çevre dostu üretim sistemlerine istekli olmaması küresel sıcaklığın artışında önemli bir etkidir. Ayrıca ülkelerin ekonomik faaliyetleri, ekonomik büyümelerini dayandırdıkları sektörlerin ve işgücü piyasalarının yapısal özellikleri de bu süreci etkilemektedir. Ekonomik yapı küresel sıcaklığın artışı konusunda da önemli bir unsurdur. Nitekim çevreye duyarlı ekonomi inşası, maliyetli olan yüksek teknolojiye dayanmaktadır. Bu nedenle ekonomik kaynaklar ve işgücü piyasasının koşulları açısından eşitlikçi ve çevresel olarak sürdürülebilir bir ekonomiye kademeli olarak geçişin sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, ekolojik çevrenin sağlığının korunması ve biyoçeşitliliğin korunması için çevre adaletinin ve etiğin de gözetilmesi gerekmektedir.

İnsan yaşamında temel ve vazgeçilmez bir fonksiyona sahip olan tarımsal faaliyetlerde endüstriyel tarımın aksine, agroekolojik tarım yöntemlerinin tercih edilmesi avantaj sağlayacaktır. Endüstriyel tarımın sürdürülebilir olmadığına anlaşılmaması agroekolojik tarım için acil eylem planının gerekliliğini göstermektedir. Böylelikle çiftlik yaşamının korunması, karbonun toprakta tutulması, biyoçeşitliliğin desteklenmesi ve toprak verimliliğinin onarılması için gerekli temeller atılabilecektir. Kanıtlar, agroekolojik yöntemlerin toplam çıktı bakımından endüstriyel tarım yöntemleriyle rekabet edebileceğini ve çevresel baskıya karşı dirençli olduğunu göstermektedir (Watch, 2018).

Ekonomik sistemin ve üretim ilişkilerinin boyutlarındaki değişimler kadar, ekonomik yaklaşımın temelinde de yapısal değişiklikler gerekmektedir. Doğal kaynakların metalaştırılarak bir sermaye, hizmet ve gelir kaynağı olarak görülmesi doğanın tahribatıyla sonuçlanmaktadır. Sürdürülebilir bir kalkınma için alternatif bir ekonomi modelinin geliştirilmesi önem göstermektedir. Alternatif ekonomiler arasında kabul gören döngüsel, ekolojik, çevresel, katılımcı ve geçimlik gibi yaklaşımlar ve

sistemler mevcuttur. Bununla birlikte, alternatif yaklaşımların pratik bulmasına da ihtiyatla yaklaşmak gerekmektedir. Özellikle ürün ve hizmetlere çevre dostu bir görünüm vermek için başına konulan eko ve doğa dostu ekleri bir pazarlama stratejisi olarak istismar edilme tehlikesi taşımaktadır. Çevre dostu görünümün tüketim kapitalizminin bir aracı haline getirilmesine karşı güçlü kurumsal düzenlemeler ve denetim mekanizmaları gerekmektedir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunuyla mücadelede, gündem teknoloji çözümleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak söz konusu mekanik doğa anlayışı büyük bir tartışma ve kuşku doğurmaktadır. Genelde modern kapitalizmin teknokratik olduğu savunulmaktadır. Daima artan ve gelişen teknoloji ile doğa arasında karmaşık bir ilişki mevcuttur. Zira bir şeyler yapmanın her yeni yoluyla sadece başka bir olasılık eklenmemekte aynı zamanda daha önce mümkün olan ve adil, sürdürülebilir bir gelecek için faydalı olabilecek diğer yolları ortadan kaldırmaktadır.

İhtiyatlılık çevre zararını ortadan kaldırmaya yönelik olarak kullanılan uygulamalar için de gereklidir. Sera gazı emisyonuna neden olan faaliyetlerin, karbon emisyonunu aynı oranda düşürmesi öngörülen başka faaliyetlerle telafi edildiği yönünde bir algı bulunmaktadır. Karbon dengeleme veya karbon nötr etki temellerine dayanan projelerde, çoğu durumda emisyonlarda kesin bir artışın yaşandığı görülmektedir. Bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan giderme anlayışı ile ortaya atılan sürdürülebilir kalkınma toplumsal, ekonomik ve çevresel olarak üç bağlamda ele alınmaktadır. Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile küresel yönetişime dahil ettiği bu yaklaşıma göre ekonominin toplumsal ve çevresel zararlar meydana getirmeden gelişebileceği öne sürülmektedir. Esasında kavram ekonominin inkâr edilemez bir biçimde çevresel ve toplumsal olarak sürdürülemez olduğu gerçeğine de dikkat çekmektedir. Ancak ekonomik ve politik öncelikleri nedeniyle sürdürülebilir kalkınma gündemi şirketler ve hükümetler tarafından kapsamlı ve anlamlı uygulamalarla sonuçlanmamaktadır.

Küresel düzeyde sonuçları ve mücadele alanları konusunda tartışmalı ve çok yönlü bir gündem oluşturan küresel ısınma ve iklim değişikliği Türkiye için de ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Bu tez, Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklığa etki derecesinin çeşitli faktörlerle ilişkili olarak öngörüsünü sunmuştur. Bu değerlerin en doğru şekilde tahmin edilebilmesi amacıyla ideal bir yöntem oluşturmak için öncelikle Türkiye özelinde, literatür taraması sonucu belirlenen nüfus ( $X_1$ ), GSYH ( $X_2$ ), CO<sub>2</sub> yoğunluğu ( $X_3$ ), elektrik üretimi ( $X_4$ ), enerji kullanımı ( $X_5$ ), fosil yakıt enerji tüketimi ( $X_6$ ), yenilenebilir enerji ( $X_7$ ), toplam sera gazı ( $X_8$ ) ve ormanlık alan ( $X_9$ ) değişkenlerinin, CO<sub>2</sub> emisyonu ( $Y_1$ ) ve küresel sıcaklık etkisi ( $Y_2$ ) değişkenleri ile aralarındaki korelasyon değerleri incelenmiştir. Ardından geriye doğru eleme yöntemi kullanılarak her bir bağımsız değişken  $X_n$ 'in iki bağımlı değişken  $Y_n$  ile ilişkisi tespit edilerek özellik seçimi yapılmıştır. Özellik seçimi sonucunda belirlenen bağımsız değişkenler zaman serisi yöntemleri ile tahmin edilerek en iyi performans gösteren yöntem tercih edilmiş, bu değişkenler ile MLR modeli kurulmuş ve  $Y_1$  ile  $Y_2$  değişkenleri tahmin edilmiştir. Ardından

zaman serilerinde çoğunluk oyu yöntemi ile  $Y_1$  ve  $Y_2$  değişkenlerinin tahmini için yeniden MLR modeli kurulmuş ve çoğunluk oyu stratejisi ile kurulan modelin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Türkiye'nin 2030 yılındaki CO<sub>2</sub> emisyonu ve küresel sıcaklık projeksiyonunu çok faktörlü analiz ile ortaya koymak amacıyla oluşturulan modelinden elde edilen istatistiksel bilgiler, modelin başarılı bir şekilde sonuç verdiğini göstermektedir. 2030 yılına kadar yapılan analizin bulguları şu şekildedir: (1) nüfus değişkeni %9,36; (2) GSYH değişkeni %13,38; (3) CO<sub>2</sub> yoğunluğu %9,65; (4) enerji kullanımı %19,94; (5) toplam sera gazı %32,18 ve (6) ormanlık alan %6,17 oranında artış göstermiştir. Bu artışlar  $Y_1$  oranının %50,92 artış göstermesine neden olmuştur. Benzer şekilde, küresel sıcaklık etkisini artıran değişkenler nüfus, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, elektrik üretimi, fosil yakıt enerji tüketimi, toplam sera gazı ve ormanlık alandır. CO<sub>2</sub> emisyonundan farklı olarak elektrik üretimi %13,55 ve fosil yakıt enerji tüketimi %7,31 oranlarında artış göstermiştir. Bu artışlar ise Küresel sıcaklığın %19,93 oranında artmasına neden olmuştur.

Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak Türkiye'nin 2030 yılına kadar hedeflenen BAU senaryosu bağlamında belirlenen azaltma senaryosunun gerçekleşmesi mümkün görülmemektedir. COP 27'de ifade edilen, 2030 yılına kadar emisyon azaltma hedefini %41'e yükseltilmesi ve 2038 yılında zirve noktasına ulaşması yönündeki planının uygulama bulması olası değildir. Bununla birlikte, Türkiye'nin küresel sıcaklığa etkisinde gerçekleşen yaklaşık %20 oranındaki artış Paris İklim Anlaşması kapsamında belirlenen sıcaklığı düşürme hedefi için de risk oluşturmaktadır.

Türkiye'nin iklim değişikliği kapsamındaki ulusal vizyonu; iklim değişikliği politikalarını kalkınma politikalarıyla entegre etmiş; enerji verimliliğini yaygınlaştırmış; temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmış; iklim değişikliğiyle mücadeleye özel şartları çerçevesinde aktif katılım sağlayan ve yüksek yaşam kalitesiyle refahı tüm vatandaşlarına düşük karbon yoğunluğu ile sunabilen bir ülke olmayı vizyon haline getirmiş ise belirtilen stratejik hedeflere mevcut durumda kısa veya uzun vadede ulaşması mümkün görülmemektedir. Nitekim mevcut 2023 verileri itibarıyla görüldüğü üzere uygulanması ve iyi sonuç beklenen pek çok uygulama başarısızlıkla ilerlemektedir. Özellikle yapılan anlaşmalar ve kâğıt üzerinde yazılı olan pek çok kural doğanın metalaştırılması üzerine kurulmuştur. Bu gizli bir yeşil kapitalizm düşüncesi doğurmakta ve antropojenik yıkıma yol açmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin politika gündemine aşağıda yer alan önerileri dahil etmesi yararlı olacaktır:

- Küresel iklim değişikliği ile mücadele ve uyum çabalarında, kapsamlı ve işlevsel bir uluslararası işbirliği mekanizmasının oluşturulmasına yönelik yürütülen müzakerelere aktif katılım sağlanmalıdır. Özellikle küresel temsil çoğunluğu nedeniyle Birleşmiş Milletler çerçevesinde yapılan çok taraflı iklim eylem ve platformlarına katılım sağlamak, ulusal politika gündeminin şekillenmesini de teşvik edecektir.

- Dinamik bir anlayış içinde Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi ile Dokuzuncu Kalkınma Planı ve ilgili diğer ulusal politika ve strateji belgeleri doğrultusunda Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nı hazırlanmalıdır. Ekonomi politikalarına çevresel duyarlılığın dahil edilmesi, yasal ve kurumsal mekanizmalarla bu sürecin güçlenmesi gerekmektedir. Ayrıca denetleme, izleme ve değerlendirme aşamaları politika ve uygulama süreçlerinin başarısı ve iyileştirilmesi için önemlidir.
- İlgili kurumlarda iklim değişikliğine ilişkin yapılanmaların hızla inşa edilmesi gerekmektedir. Uzmanlaşmış ve konuya özel birim ve başkanların geliştirilmesi ve güçlendirilmesi politika uygulama sürecini ve politikaların çıktılarını etkilemektedir. Bu nedenle aktörler arasında koordinasyonu sağlayacak, uygulamaları takip edecek ve ulusal gündem oluşturacak kurumlar yapılandırılmalıdır.
- Emisyon envanterinin daha sağlıklı olarak hazırlanması ve çevre göstergelerinin izlenmesi için gerekli altyapı kurulmalıdır. Bu envanter hem sorunun tespiti hem de politikaların uygulanma süreci için gereklidir. Türkiye'de küresel ısınma ve iklim değişikliğinin derinliği ve boyutları inşa edilecek ölçüm mekanizmaları ile takip edilerek sorun tüm çerçevesi ile ortaya konulmalıdır. İkinci olarak yine bu mekanizmalarla politikaların sonuçları incelenmesi ve bunlara göre gereken revizyonların yapılması gereklidir.
- İklim değişikliği politikaları tüm paydaşların işbirliğiyle geliştirilmelidir. Çevre sorunları hem sorumluların hem de mücadele edecek aktörler açısından çok paydaşlı bir konuyu temsil etmektedir. Özel sektör ve kamu sektörü işbirliğinden, yerel düzeyden uluslararası düzeye kadar farklı nitelikteki aktörlerin işbirliğini ve koordinasyonunu gerektirmektedir. Küresel yönetim stratejisine uygun şekilde, Türkiye'nin de özellikle ulusal düzeyde yönlendireceği yönetim ağında düzenleyici aktör olarak yer alması önemlidir.

Çevre ve iklim sorunlarının ulusal kalkınma sürecini engellememesi ve gelecek nesiller üzerinde yük oluşturmaması için bu önerileri içeren güçlü bir politika alanının inşa edilmesi Türkiye'de çevreye duyarlı insani kalkınmaya temel oluşturacaktır. Çevre sorunları hem ulusal hem de küresel bir tehdit olarak Türkiye'nin öncelikleri arasında yer almaktadır. Tez analiz bulgularına göre Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyon salımı çevre, enerji üretimi ve tüketimi, ekonomik ve demografik değişkenler ile anlamlı ve açıklayıcı bir ilişkiye sahiptir. Bu değişkenler aynı zamanda dünya sıcaklığına etki oranını da arttırmaktadır. Mevcut durum Türkiye'nin küresel ısınma ve iklim sorunu bağlamında hızlı bir aksiyon alması gerektiğini göstermektedir. Bu aksiyonlarda analiz sürecine dahil edilen her bir faktörün dikkate alınması önem arz etmektedir.

Bu nedenle hem politika gündemini şekillendirmesi hem de konuya ilişkin teorik çerçeve ve arka planın kazandırılması için akademik çalışmaların teşvik edilmesi önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'nin CO<sub>2</sub> salımına etki eden nüfus, GSYH, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, elektrik üretimi, enerji kullanımı, fosil yakıt enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, sera gazları ve ormanlık alan faktörler incelenmiş ve CO<sub>2</sub>

salımı için çevresel etkilerden, ekonomik, demografik ve enerji faktörlerinin önemli olduğu görülmüştür.



## KAYNAKÇA

- Ang, Beng Wah vd. (2011), Potential for Reducing Global Carbon Emissions From Electricity Production—A Benchmarking Analysis, **Energy Policy**, 39(5), 2482–2489. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.013>
- Apergis, Nicholas ve Payne, James E. (2010), The Emissions, Energy Consumption, and Growth Nexus: Evidence From The Commonwealth of Independent States, **Energy Policy**, 38(1), 650–655. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.029>
- Ardakani, Samad Ranjbar vd. (2018), Statistical Approaches to Forecasting Domestic Energy Consumption and Assessing Determinants: The Case of Nordic Countries, **Strategic Planning for Energy and the Environment**, 38(1), 26–71. <https://doi.org/10.1080/10485236.2018.12016689>
- Armstrong, J. Scott ve Collopy, Fred (1992), Error Measures for Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons, **International Journal of Forecasting**, 8(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(92\)90008-W](https://doi.org/10.1016/0169-2070(92)90008-W)
- Arrhenius, Svante (1896), XXXI. On The Influence of Carbonic Acid in The Air Upon The Temperature of The Ground, **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, 41(251), 237–276. <https://doi.org/10.1080/14786449608620846>
- Aydın, Levent (2014), **Enerji Ekonomisi ve Politikaları, Kuram ve Kavramlar-Piyasalar-Modeller-Politikalar** (1st ed.), Seçkin Yayınları, Ankara.
- Baccini, Alessandro vd. (2012), Estimated Carbon Dioxide Emissions From Tropical Deforestation Improved by Carbon-Density Maps, **Nature Climate Change**, 2(3), 182–185. <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>
- Baş, Murat (2024), "Küresel Isınma ve Fast Food Arasındaki Etkileşim", GeoCED. [http://www.geoced.org/kuresel-isinma-ve-fast-food/#\\_ftnref1](http://www.geoced.org/kuresel-isinma-ve-fast-food/#_ftnref1) (07.01.2024).
- Baçoğlu, Mustafa (2013), **Küresel Isınma ve Toprak Ananın Yıkımı**, Su Yayınevi, İstanbul.
- Beale, E. M. L. (1970), Note on Procedures for Variable Selection in Multiple Regression, **Technometrics**, 12(4), 909. <https://doi.org/10.2307/1267335>
- Billah, Baki vd. (2006), Exponential Smoothing Model Selection for Forecasting, **International Journal of Forecasting**, 22(2), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2005.08.002>

- Bodansky, Daniel (2012), "The Durban Platform Negotiations: Goals and Options", <https://www.belfercenter.org/publication/durban-platform-negotiations-goals-and-options> (08.01.2024).
- Boğar, Eşref ve Özsüt-Boğar, Zeynep (2017), Türkiye'nin Sektörel CO2 Gazı Salınımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, **Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi**, 3(2), 15–27.
- Bölük, Gülden ve Mert, Mehmet (2014), Fossil & Renewable Energy Consumption, GHGs (greenhouse gases) and Economic Growth: Evidence From A Panel of EU (European Union) Countries, **Energy**, 74, 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.008>
- BP (2022), **BP Statistical Review of World Energy**, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf> (13.02.2024).
- Breaux, Harold J. (1967), On Stepwise Multiple Linear Regression, Master's Thesis, University of Delaware - Computing Laboratory.
- Brown, Robert G. ve Meyer, Richard F. (1961), The Fundamental Theorem of Exponential Smoothing, **Operations Research**, 9(5), 673–685. <https://doi.org/10.1287/opre.9.5.673>
- Celik, Oğuz vd. (2019), Implementation of Data Preprocessing Techniques on Distributed Big Data Platforms, **2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)**, 73–78. <https://doi.org/10.1109/UBMK.2019.8907230>
- Cerdeira Bento vd. (2016), CO2 Emissions, Non-Renewable and Renewable Electricity Production, Economic Growth, and International Trade in Italy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 55, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.151>
- Chatfield, Chris (1988), Apples, oranges and mean square error, **International Journal of Forecasting**, 4(4), 515–518. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(88\)90127-6](https://doi.org/10.1016/0169-2070(88)90127-6)
- Cristóbal, Jorge vd. (2012), Multi-Objective Optimization of Coal-Fired Electricity Production with CO2 Capture, **Applied Energy**, 98, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.036>
- Déqué, Michel (2011), Deterministic Forecasts of Continuous Variables. In I. T. Jolliffe & D. B. Stephenson (Edt.), **Forecast Verification**, 77–94. <https://doi.org/10.1002/9781119960003.ch5>
- Desboulets, Loann (2018), A Review on Variable Selection in Regression Analysis, **Econometrics**, 6(4), 45. <https://doi.org/10.3390/econometrics6040045>
- Dong, Huijuan vd. (2014), Three Accounts for Regional Carbon Emissions From Both Fossil Energy Consumption and Industrial Process, **Energy**, 67, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.065>

- Donglan, Zha vd. (2010), Driving Forces of Residential CO<sub>2</sub> Emissions in Urban And Rural China: An Index Decomposition Analysis, **Energy Policy**, 38(7), 3377–3383. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.011>
- Durbin, J. (1959), Efficient Estimation of Parameters in Moving-Average Models, **Biometrika**, 46(3/4), 306. <https://doi.org/10.2307/2333528>
- Eurostat (2022), "Production of Hard Coal and Brown Coal", 2022. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Coal\\_production\\_and\\_consumption\\_statistics#Consumption\\_and\\_production\\_of\\_hard\\_coal](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Coal_production_and_consumption_statistics#Consumption_and_production_of_hard_coal) (15.02.2024).
- FAO (2020), **Global Forest Resources Assessment 2020**, <https://www.fao.org/3/CA8753EN/CA8753EN.pdf> (09.02.2024).
- Fumo, Nelson ve Rafe Biswas, M. A. (2015), Regression Analysis For Prediction of Residential Energy Consumption, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 47, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.035>
- García, Salvador vd. (2016), Big Data Preprocessing: Methods and Prospects, **Big Data Analytics**, 1(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s41044-016-0014-0>
- Gardner, Everette S. (1985), Exponential Smoothing: The State of the Art, **Journal of Forecasting**, 4(1), 1–28. <https://doi.org/10.1002/for.3980040103>
- Giovanis, Eleftherios (2013), Environmental Kuznets Curve: Evidence from the British Household Panel Survey, **Economic Modelling**, 30, 602–611. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.10.013>
- GISS, G. I. for S. S. (2024), "GISS Surface Temperature Analysis", <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (10.02.2024).
- Global Carbon Atlas (2023), "Carbon Emissions", <https://globalcarbonatlas.org/> (16.02.2024).
- Global Carbon Budget (2023), **Global Carbon Budget Report 2023**, <https://globalcarbonbudget.org/fossil-co2-emissions-at-record-high-in-2023/> (16.02.2024).
- Göktaş, Özlem (2005), **Teorik ve Uygulamalı Zaman Serileri Analizi**. Beşir Kitabevi, İstanbul.
- Golub, Gene H. (1973), Some Modified Matrix Eigenvalue Problems, **SIAM Review**, 15(2), 318–334. <https://doi.org/10.1137/1015032>
- Golub, Gene H. ve van Loan, Charles F. (1980), An Analysis of the Total Least Squares Problem, **SIAM Journal on Numerical Analysis**, 17(6), 883–893. <https://doi.org/10.1137/0717073>
- Goodwin, Paul ve Lawton, Richard (1999), On the Asymmetry of the Symmetric MAPE, **International Journal of Forecasting**, 15(4), 405–408. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00007-2)

- Gujarati, Damador N. ve Porter, Dawn C. (2009), **Basic Econometrics** (5th ed.). McGraw Hill Irwin, Boston.
- Halıcıoğlu, Ferda (2009), An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey, **Energy Policy**, 37(3), 1156–1164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.012>
- Han, Jiawei vd. (2023), **Data Mining: Concepts and Techniques** (4th ed.), Morgan Kaufmann, Cambridge.
- Heidari, Hassan vd. (2015), Economic Growth, CO2 Emissions, and Energy Consumption in the Five ASEAN Countries, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 64, 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.07.081>
- Heinberg, John Gilbert (1926), History of the Majority Principle, **American Political Science Review**, 20(1), 52–68. <https://doi.org/10.2307/1945098>
- Holt, Charles C. (2004), Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages, **International Journal of Forecasting**, 20(1), 5–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015>
- Hosseini, Seyed Mohsen vd. (2019), Forecasting of CO2 Emissions in Iran Based on Time Series and Regression Analysis, **Energy Reports**, 5, 619–631. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.05.004>
- Houghton, John (2005), Global Warming, **Reports on Progress in Physics**, 68(6), 1343–1403. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/68/6/R02>
- Houghton, Richard A. (1990), The Global Effects of Tropical Deforestation, **Environmental Science & Technology**, 24(4), 414–422. <https://doi.org/10.1021/es00074a001>
- Huang, Wei Ming vd. (2008), GHG Emissions, GDP Growth and the Kyoto Protocol: A Revisit of Environmental Kuznets Curve Hypothesis, **Energy Policy**, 36(1), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.035>
- Hyndman, Rob J. vd. (2002), A State Space Framework for Automatic Forecasting Using Exponential Smoothing Methods, **International Journal of Forecasting**, 18(3), 439–454. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(01\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(01)00110-8)
- INDC (2015), **Republic of Turkey Intended Nationally Determined Contribution**, [https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The\\_IND\\_C\\_of\\_TURKEY\\_v.15.19.30.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_IND_C_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf) (09.02.2024).
- IPCC, I. P. on C. C. (2007), "Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change", <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/> (21.01.2024).
- İslamoğlu, Ebrucan (2020), **Modern Zaman Serileri ve Yöntemleri** (1st ed.), Nobel.

- Itkonen, Juha V. A. (2012), Problems Estimating the Carbon Kuznets Curve, **Energy**, 39(1), 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.018>
- Jayanthakumaran, Kankesu vd. (2012), CO2 Emissions, Energy Consumption, Trade and Income: A Comparative Analysis of China and India, **Energy Policy**, 42, 450–460. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.010>
- Jolliffe, Ian T., ve Stephenson, David B. (2011), Introduction, **Forecast Verification** (1–9), Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119960003.ch1>
- Jones, Philip D., & Wigley, Tom M. L. (1990). Global Warming Trends. **Scientific American**, 263(2), 84–91.
- Jorgenson, Andrew K. ve Clark, Brett (2010), Assessing the Temporal Stability of the Population/Environment Relationship in Comparative Perspective: A Cross-National Panel Study of Carbon Dioxide Emissions, 1960–2005. **Population and Environment**, 32(1), 27–41. <https://doi.org/10.1007/s11111-010-0117-x>
- Jovic, Alan vd. (2015), A Review of Feature Selection Methods with Applications, **2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)**, 1200–1205. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2015.7160458>
- Kadam, Pooja ve Vijayumar, Suhasini (2018), Prediction Model: CO2 Emission Using Machine Learning, **2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)**, 1–3. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2018.8529498>
- Kais, Saidi ve Sami, Hammami (2016), An Econometric Study of the Impact of Economic Growth and Energy Use on Carbon Emissions: Panel Data Evidence From Fifty Eight Countries, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59, 1101–1110. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.054>
- Kaivo-oja, Jari vd. (2016), Trend Analysis of Energy and Climate Policy Environment: Comparative Electricity Production and Consumption Benchmark Analyses Of China, Euro Area, European Union, and United States, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 60, 464–474. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.086>
- Karakaya, Etem (2016), Paris İklim Anlaşması: İçeriği ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme, **Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.30803/adusobed.188842>
- Keskenler, Mustafa Furkan ve Keskenler, Eyüp Fahri (2017), Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları ve Tarihçesi, **Takvim-i Vekayi**, 5(2), 8–18.
- Kessel, Dagobert G. (2000), Global Warming — Facts, Assessment, Countermeasures, **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 26(1–4), 157–168. [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(00\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(00)00030-9)

- Khilyuk, Leonid (2003), Global Warming: Are We Confusing Cause and Effect?, **Energy Sources**, 25(4), 357–370. <https://doi.org/10.1080/00908310390142389>
- Kumari, Surbhi ve Singh, Sunil Kumar (2022), Machine Learning-Based Time Series Models for Effective CO2 Emission Prediction in India, **Environmental Science and Pollution Research**, 30(55), 116601–116616. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21723-8>
- Lane, Jan-Erik (2011), CO2 Emissions and GDP, **International Journal of Social Economics**, 38(11), 911–918. <https://doi.org/10.1108/03068291111171414>
- Liou, Je-Liang ve Wu, Pei-Ing (2011), Will Economic Development Enhance the Energy Use Efficiency and CO2 Emission Control Efficiency?, **Expert Systems with Applications**, 38(10), 12379–12387. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.017>
- Lotfalipour, Mohammad Reza vd. (2010), Economic Growth, CO2 Emissions, and Fossil Fuels Consumption in Iran, **Energy**, 35(12), 5115–5120. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.004>
- Lotfalipour, Mohammed Reza vd. (2013), Prediction of CO2 Emissions in Iran Using Grey and ARIMA Models, **International Journal of Energy Economics and Policy**, 3(3), 229–237.
- Machado, Giovani Vitória (2000), Energy Use, CO2 Emissions and Foreign Trade: An IO approach Applied to the Brazilian Case, **XIII International Conference on Input-Output Techniques**, 1–10.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1891268230206e97c4c8d29a42003b5eed081275> (14.02.2024).
- Mahony, Tadhg O' (2013), Decomposition of Ireland's Carbon Emissions from 1990 to 2010: An Extended Kaya Identity, **Energy Policy**, 59, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.013>
- Makridakis, Spyros (1993), Accuracy Measures: Theoretical and Practical Concerns, **International Journal of Forecasting**, 9(4), 527–529. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(93\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0169-2070(93)90079-3)
- Makridakis, Spyros vd. (1982), The Accuracy of Extrapolation (Time Series) Methods: Results of A Forecasting Competition, **Journal of Forecasting**, 1(2), 111–153. <https://doi.org/10.1002/for.3980010202>
- Makridakis, Spyros ve Hibon, Michèle (2000), The M3-Competition: Results, Conclusions and Implications, **International Journal of Forecasting**, 16(4), 451–476. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(00\)00057-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(00)00057-1)
- Mantel, Nathan (1970), Why Stepdown Procedures in Variable Selection, **Technometrics**, 12(3), 621–625. <https://doi.org/10.1080/00401706.1970.10488701>
- Marbán, Óscar vd. (2009), A Data Mining & Knowledge Discovery Process Model, In J. Ponce & A. Karahoca (Eds.), **Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications**. I-Tech.

- Markovsky, Ivan ve Van Huffel, Sabine (2007), Overview of Total Least-Squares Methods, **Signal Processing**, 87(10), 2283–2302. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2007.04.004>
- Maslin, Mark (2011), **Küresel Isınma** (Çev. Sinem Gül), Dost Kitabevi, Ankara.
- McKenzie, Ed. (1985), Comments on ‘Exponential Smoothing: The State of the Art’ by E. S. Gardner Jr. **Journal of Forecasting**, 4(1), 32–36. <https://doi.org/10.1002/for.3980040107>
- Miller, Steven J. (2006), **The Method of Least Squares (8)**, Mathematics Department Brown University, Williamstown.
- Montgomery, Douglas C. vd. (2015), **Introduction to Time Series Analysis and Forecasting**, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Moore, James W. (1998), **Software Engineering Standards: A User’s Road Map**, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California.
- Morley, Steve vd. (2018), Measures of Model Performance Based On the Log Accuracy Ratio, **Space Weather**, 16(1), 69–88. <https://doi.org/10.1002/2017SW001669>
- Mudge, F. B. (2002), The Development of The ‘greenhouse’ theory of Global Climate Change From Victorian Times, In F. Chambers & M. Ogle (Eds.), **Climate Change: Critical Concepts in the Environment**, 245–248. Routledge, London.
- Murphy, Allan H. (1993), What Is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting, **Weather and Forecasting**, 8(2), 281–293. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1993\)008<0281:WIAGFA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1993)008<0281:WIAGFA>2.0.CO;2)
- Narendra, Kumpati S. ve Parthasarathy, Kannan (1990), Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, **IEEE Transactions on Neural Networks**, 1(1), 4–27. <https://doi.org/10.1109/72.80202>
- NASA (2024), "Global Temperature Anomalies from 1880 to 2023", [https://svs.gsfc.nasa.gov/5207/\(01.02.2024\)](https://svs.gsfc.nasa.gov/5207/(01.02.2024)).
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2021), "Annual 2021 Global Climate Report", <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113> (16.02.2024).
- NIST (2024a), "Double Exponential Smoothing", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc433.htm> (24.02.2024).
- \_\_\_\_\_(2024b), "Introduction to Time Series Analysis", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc4.htm> (18.02.2024).
- \_\_\_\_\_(2024c), "Single Exponential Smoothing", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc431.htm> (24.02.2024).

- \_\_\_\_\_ (2024d), "Triple Exponential Smoothing", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc435.htm> (18.02.2024).
- \_\_\_\_\_ (2024e), "What are Moving Average or Smoothing Techniques?", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc42.htm> (18.02.2024).
- \_\_\_\_\_ (2024f), "What is Exponential Smoothing?", <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc43.htm> (18.02.2024).
- Nong, Duy vd. (2021), Greenhouse Gas Emissions vs CO<sub>2</sub> Emissions: Comparative Analysis of A Global Carbon Tax, **Applied Energy**, 298, 117223. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117223>
- O' Mahony, Tadhg vd. (2013), Integrated Scenarios Of Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions in Ireland: A Multi-Sectoral Analysis to 2020, **Ecological Economics**, 93, 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.016>
- Obradović, Saša ve Lojanica, Nemanja (2017), Energy Use, CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth – Causality on a Sample of SEE Countries, **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, 30(1), 511–526. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1305785>
- O'Connor, Marcus vd. (1997), Going Up-Going Down: How Good Are People at Forecasting Trends and Changes in Trends?, **Journal of Forecasting**, 16(3), 165–176. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-131X\(199705\)16:3<165::AID-FOR653>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-131X(199705)16:3<165::AID-FOR653>3.0.CO;2-Y)
- OGM (2022), "Orman Yangınları", <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> (13.02.2024)
- Okumuş, İlyas (2020). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Tarım ve CO<sub>2</sub> Emisyonu İlişkisi, **Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi**, 6(1), 21–34.
- Olivier, Jos G.J. vd. (2012), **Trends in Global CO<sub>2</sub> Emissions**, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f4b2d6d7-31f4-4ef5-a9df-79a9813311ca/language-en> (08.02.2024).
- Orhunbilge, Neyran (2017), **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi** (3rd ed.), Nobel, Ankara.
- Ostertagova, Eva ve Ostertag, Oskar (2011), The Simple Exponential Smoothing Model, **Modelling of Mechanical And Mechatronic Systems**, 380–384.
- Ou, Yang vd. (2021), Deep Mitigation of CO<sub>2</sub> and Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases Toward 1.5 °C and 2 °C Futures, **Nature Communications**, 12(1), 6245. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26509-z>
- Our World in Data (2021), "Contribution to , 1851 to 2021", [https://ourworldindata.org/explorers/co2?facet=none&country=CHN~USA~IND~GBR~OWID\\_WRL~IRN&pickerSort=asc&Gas+or+Warming=Warming+impact&Accounting=Territorial&Fuel+or+Land+Use+Change=All+fossil+emissions&Count=Per+capita](https://ourworldindata.org/explorers/co2?facet=none&country=CHN~USA~IND~GBR~OWID_WRL~IRN&pickerSort=asc&Gas+or+Warming=Warming+impact&Accounting=Territorial&Fuel+or+Land+Use+Change=All+fossil+emissions&Count=Per+capita) (11.11.2024).

Our World in Data (2024), <https://ourworldindata.org/> (10.11.2024).

Öztürk, İlhan ve Acaravcı, Ali (2013), The Long-Run and Causal Analysis of Energy, Growth, Openness and Financial Development on Carbon Emissions in Turkey, **Energy Economics**, 36, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.025>

Palmer, Phillip B., ve O’Connell, Dennis G. (2009), Regression Analysis for Prediction: Understanding the Process, **Cardiopulmonary Physical Therapy Journal**, 20(3), 23–26.

Paramati, Sudharshan Reddy vd. (2017), The Effects of Stock Market Growth and Renewable Energy Use on CO2 Emissions: Evidence From G20 Countries, **Energy Economics**, 66, 360–371. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.06.025>

Partridge, D. ve Yates, W. B. (1996). Engineering Multiversion Neural-Net Systems, **Neural Computation**, 8(4), 869–893. <https://doi.org/10.1162/neco.1996.8.4.869>

Pressman, Roger S. (2005), **Software Engineering: A Practitioner’s Approach** (6th ed.), McGraw-Hill, New York.

Pyle, Dorian (1999), **Data Preparation for Data Mining**, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco.

Ravinder, Handanhal V. (2013), Forecasting With Exponential Smoothing Whats the Right Smoothing Constant?, **Review of Business Information Systems (RBIS)**, 17(3), 117–126. <https://doi.org/10.19030/rbis.v17i3.8001>

Roli, Fabio ve Giacinto, Giorgio (2002), **Design Of Multiple Classifier Systems** (199–226). [https://doi.org/10.1142/9789812778147\\_0008](https://doi.org/10.1142/9789812778147_0008)

Ruta, Dymitr ve Gabrys, Bogdan (2005), Classifier Selection for Majority Voting, **Information Fusion**, 6(1), 63–81. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2004.04.008>

Schober, Patrick vd. (2018), Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation, **Anesthesia & Analgesia**, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>

Shahbaz, Muhammad vd. (2016), How Urbanization Affects CO2 Emissions in Malaysia? The Application of STIRPAT Model, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 57, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.096>

Şimşek, Ergün (2020), **Küresel İklim Değişikliğinin Belirleyicileri, Etkileri ve Karbondioksit Emisyonu Projeksiyonu: Dünya ve Türkiye Örneği (2018-2027)**, Gece Kitaplığı, Ankara.

Solomon, Susan vd. (2007), **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**, Cambridge University Press, USA.

Sounderpandian, Aczel (2008), **Complete Business Statistics** (7th ed.), The McGraw-Hill/Irwin.

- Soytas, Uğur vd. (2007), Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States, **Ecological Economics**, 62(3–4), 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.009>
- Srinidhi, Sunny (2019), "Backward Elimination for Feature Selection in Machine Learning", <https://towardsdatascience.com/backward-elimination-for-feature-selection-in-machine-learning-c6a3a8f8cef4> (20.12.2024).
- Stephenson, Janet ve Saha, G. P. (1980), Energy Balance of Trade in New Zealand, **Energy Systems and Policy**, 4(4), 317–326.
- Stern, Nicholas (2008), The Economics of Climate Change, **American Economic Review**, 98(2), 1–37. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>
- Sümbüloğlu, Kadir ve Akdağ, Beyza (2007), **Regresyon Yöntemleri ve Korelasyon Analizi**, Hatiboğlu Yayınları, Ankara.
- Tanania, Vartika vd. (2020), Time Series Data Analysis And Prediction Of CO2 Emissions, **2020 10th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)**, 665–669. <https://doi.org/10.1109/Confluence47617.2020.9058001>
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2021), "Çevresel Göstergeler: Nüfus Artış Hızı", <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/nufus-artis-hizi-i-85616> (15.01.2024).
- T.C. Dışişleri Bakanlığı (2023), "Paris Anlaşması", <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (09.11.2023).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024), "Elektrik", <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1%C4%B1nda%20elektrik%20%C3%BCretimimizin%2C%20%36,si%20di%C4%9Fer%20kaynaklardan%20elde%20edilmi%C5%9Ftir.> (11.02.2024).
- TEİAŞ (2022a), "Türkiye Brüt Elektrik Enerjisi Üretiminde Birincil Enerji Kaynak Paylarının Yıllar İtibariyle Gelişimi", <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (12.02.2024).
- \_\_\_\_\_ (2022b), "Türkiye ve Kişi Başına Kurulu Güç Brüt Üretim ve Net Tüketimin Yıllar İtibariyle Gelişimi (1975-2022)", <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (12.02.2024).
- The World Bank (2023), "Data Bank", <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators> (10.11.2023).
- \_\_\_\_\_ (2024), <https://www.worldbank.org/en/home> (10.11.2023).
- Thompson, Mary L. (1978), Selection of Variables in Multiple Regression: Part I. A Review and Evaluation, **International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique**, 46(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1402505>

- Thornes, John E. ve Stephenson, David B. (2001), How to Judge the Quality and Value of Weather Forecast Products, **Meteorological Applications**, 8(3), 307–314. <https://doi.org/10.1017/S1350482701003061>
- Travers, Jason C. vd. (2017), Null Hypothesis Significance Testing and P Values, **Learning Disabilities Research & Practice**, 32(4), 208–215. <https://doi.org/10.1111/ldrp.12147>
- TÜİK (2023), "ABD Dolar, Avro ve TL/YTL Cinsinden Dış Ticaret", <https://www.tuik.gov.tr/> (13.02.2024).
- Tyndall, John (1861), XXIII. On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction. —The Bakerian Lecture, **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, 22(146), 169–194. <https://doi.org/10.1080/14786446108643138>
- Uğuz, Sinan (2021), **Makine Öğrenmesi Teorik Yönleri ve Uygulamaları ile Bir Ekolü** (2nd ed.), Nobel, Ankara.
- Ulueren, Melih (2001), Küresel Isınma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Protokolü **Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi**, 3, 1–5. [https://www.mfa.gov.tr/uluslararasi-ekonomik-sorunlar-\\_eylul-2001\\_.tr.mfa](https://www.mfa.gov.tr/uluslararasi-ekonomik-sorunlar-_eylul-2001_.tr.mfa) (08.01.2024).
- UN (1987), **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**, [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/UN%20WCED%201987%20Brundtland%20Report.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UN%20WCED%201987%20Brundtland%20Report.pdf) (01.02.2024).
- UNFCCC (1992), **United Nations Framework Convention on Climate Change**, <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (01.02.2024).
- \_\_\_\_\_ (1998), **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**, <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (09.12.2023).
- \_\_\_\_\_ (2021), **Conference of the Parties of the UNFCCC (COP 26)**, <https://unfccc.int/event/cop-26> (12.01.2024).
- \_\_\_\_\_ (2022), **Conference of the Parties of the UNFCCC (COP 27)**, <https://unfccc.int/event/cop-27> (12.01.2024)
- Venkataramanan, M. ve Smitha (2011), Causes and effects of global warming, **Indian Journal of Science and Technology**, 4(3), 226–229.
- Voumik, Liton Chandra vd. (2022), Electricity Production Sources and CO2 Emission in OECD countries: Static and Dynamic Panel Analysis, **Global Sustainability Research**, 1(2), 12–21. <https://doi.org/10.56556/gssr.v1i2.327>

- Waheed, Rida vd. (2018), Forest, Agriculture, Renewable Energy, and CO2 Emission, **Journal of Cleaner Production**, 172, 4231–4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
- Walach, Jan (2018), **Data Normalization and Scaling: Consequences for the Analysis in Omics Sciences** (165–196). <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.06.004>
- Walther, Bruno A. ve Moore, Joslin L. (2005), The Concepts of Bias, Precision and Accuracy, and Their use in Testing the Performance of Species Richness Estimators, with a Literature Review of Estimator Performance, **Ecography**, 28(6), 815–829. <https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04112.x>
- Wang, Qiang vd. (2020), Modeling Carbon Emission Trajectory of China, US and India, **Journal of Cleaner Production**, 258, 120723. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120723>
- Watch, Corporate (2018), **A'dan Z'ye Yeşil Kapitalizm** (A. Timur, Ed.; 1st ed.), Yeni İnsan Yayınevi, İstanbul.
- White House, Initiative on Global Climate Change (2023), "The Greenhouse Effect and Historical Emmissions", <https://clintonwhitehouse5.archives.gov/Initiatives/Climate/greenhouse.html> (02.01.2024).
- Winters, Peter R. (1960), Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages, **Management Science**, 6(3), 324–342. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324>
- Xu, Shi-Chun vd. (2014), Factors that Influence Carbon Emissions due to Energy Consumption in China: Decomposition Analysis Using LMDI, **Applied Energy**, 127, 182–193. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.093>
- Yang, Yayun vd. (2015), Research on Impacts of Population-Related Factors on Carbon Emissions in Beijing from 1984 to 2012, **Environmental Impact Assessment Review**, 55, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.06.007>
- Yoro, Kelvin O. ve Daramola, Micheal O. (2020), CO2 Emission Sources, Greenhouse Gases, and he Global Warming Effect, In **Advances in Carbon Capture** (3–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- Yue, Ting vd. (2013), The Optimal CO2 Emissions Reduction Path in Jiangsu Province: An Expanded IPAT Approach, **Applied Energy**, 112, 1510–1517. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.046>
- Zaki, Mohammed J. ve Meira, Wagner (2014), **Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms**, Cambridge University Press, New York.



**EKLER**

Ek-1: Dünya Bankası Verileri

| Yıl  | Nüfus (toplam) | CO <sub>2</sub> yoğunluğu<br>(petrol eşdeğeri<br>enerji kullanımı<br>başına kg) | Petrol, gaz ve kömür<br>kaynaklarından<br>elektrik üretimi<br>(toplam %) | Enerji kullanımı<br>(kişi başına düşen<br>petrol eşdeğeri kg) | Fosil yakıt enerji<br>tüketimi (toplam %) | Yenilenebilir enerji<br>tüketimi (toplam<br>nihai enerji tüketimi<br>%) | Toplam sera gazı<br>emisyonları (kt CO <sub>2</sub><br>eşdeğeri) | Orman alan (km <sup>2</sup> ) | GSYH (Güncel US\$) | CO <sub>2</sub> emissions (kt) |
|------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1960 | 27510980       | 1,573502177                                                                     | 62,94849023                                                              | 388,567292                                                    | 44,19907189                               |                                                                         |                                                                  |                               | 274,5257           |                                |
| 1961 | 28255002       | 1,60032607                                                                      | 56,52607107                                                              | 383,9963274                                                   | 44,15911347                               |                                                                         |                                                                  |                               | 282,1155           |                                |
| 1962 | 29033647       | 1,824880772                                                                     | 67,16292135                                                              | 408,2754054                                                   | 49,04966574                               |                                                                         |                                                                  |                               | 306,6249           |                                |
| 1963 | 29827877       | 1,820931976                                                                     | 45,59377354                                                              | 417,3725136                                                   | 51,62627951                               |                                                                         |                                                                  |                               | 346,4073           |                                |
| 1964 | 30612821       | 2,006848298                                                                     | 60,79532689                                                              | 428,6851251                                                   | 53,97489237                               |                                                                         |                                                                  |                               | 363,5517           |                                |
| 1965 | 31374536       | 1,983132369                                                                     | 53,98748233                                                              | 440,194239                                                    | 56,08172971                               |                                                                         |                                                                  |                               | 379,7257           |                                |
| 1966 | 32172785       | 2,079713766                                                                     | 55,6836606                                                               | 471,4857915                                                   | 59,44922184                               |                                                                         |                                                                  |                               | 436,3194           |                                |
| 1967 | 33026490       | 2,132851629                                                                     | 58,86330704                                                              | 475,914637                                                    | 60,62461071                               |                                                                         |                                                                  |                               | 471,5978           |                                |
| 1968 | 33884075       | 2,19746678                                                                      | 51,64359862                                                              | 487,7078392                                                   | 62,18319547                               |                                                                         |                                                                  |                               | 514,1816           |                                |
| 1969 | 34721990       | 2,227591525                                                                     | 53,77647359                                                              | 501,7409428                                                   | 64,16108791                               |                                                                         |                                                                  |                               | 558,163            |                                |
| 1970 | 35540990       | 2,341257631                                                                     | 62,90154239                                                              | 512,4331371                                                   | 65,65402953                               |                                                                         |                                                                  |                               | 488,0459           |                                |
| 1971 | 36359957       | 2,44238808                                                                      | 71,65933954                                                              | 537,5065763                                                   | 68,9916544                                |                                                                         |                                                                  |                               | 448,616            |                                |
| 1972 | 37188035       | 2,440007388                                                                     | 69,9368496                                                               | 593,5395081                                                   | 70,28142806                               |                                                                         |                                                                  |                               | 549,3997           |                                |
| 1973 | 38028236       | 2,442471524                                                                     | 77,46478873                                                              | 640,4417234                                                   | 72,39128652                               |                                                                         |                                                                  |                               | 676,4548           |                                |
| 1974 | 38863420       | 2,425712586                                                                     | 73,56236551                                                              | 648,5123543                                                   | 72,57193154                               |                                                                         |                                                                  |                               | 916,0208           |                                |
| 1975 | 39673590       | 2,455419107                                                                     | 60,80138258                                                              | 674,4112897                                                   | 72,37632892                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1125,017           |                                |
| 1976 | 40500997       | 2,531920357                                                                     | 53,31181972                                                              | 718,9151418                                                   | 73,1048969                                |                                                                         |                                                                  |                               | 1266,138           |                                |
| 1977 | 41385656       | 2,554608183                                                                     | 57,25747629                                                              | 771,5590638                                                   | 74,85099186                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1417,786           |                                |
| 1978 | 42292206       | 2,429317503                                                                     | 56,40246709                                                              | 751,9511042                                                   | 73,69749533                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1540,392           |                                |
| 1979 | 43187476       | 2,498542319                                                                     | 53,67196519                                                              | 700,3971475                                                   | 70,98886767                               |                                                                         |                                                                  |                               | 2069,874           |                                |
| 1980 | 44089069       | 2,409077553                                                                     | 50,65950591                                                              | 713,313656                                                    | 71,91816933                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1560,233           |                                |
| 1981 | 44981877       | 2,519112998                                                                     | 48,42135127                                                              | 704,8933952                                                   | 71,59576614                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1579,309           |                                |
| 1982 | 45949991       | 2,581190943                                                                     | 46,64432058                                                              | 733,4265854                                                   | 72,17232929                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1404,705           |                                |
| 1983 | 47026425       | 2,537648623                                                                     | 58,52195853                                                              | 758,710576                                                    | 73,87615828                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1311,566           |                                |
| 1984 | 48106764       | 2,581256893                                                                     | 56,07095025                                                              | 771,4596434                                                   | 74,38064344                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1247,023           |                                |
| 1985 | 49175673       | 2,714004145                                                                     | 64,78272305                                                              | 799,6002617                                                   | 76,59234288                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1367,24            |                                |
| 1986 | 50223885       | 2,759544025                                                                     | 69,97858672                                                              | 843,3344613                                                   | 77,98247752                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1507,805           |                                |
| 1987 | 51250152       | 2,765642601                                                                     | 57,89236354                                                              | 916,5197208                                                   | 78,86663214                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1700,84            |                                |
| 1988 | 52275890       | 2,671180555                                                                     | 39,60622711                                                              | 904,5496691                                                   | 77,03619448                               |                                                                         |                                                                  |                               | 1737,954           |                                |
| 1989 | 53305234       | 2,83726566                                                                      | 65,41003766                                                              | 921,1560538                                                   | 79,78316108                               |                                                                         |                                                                  |                               | 2009,998           |                                |
| 1990 | 54324142       | 2,640877949                                                                     | 59,63366526                                                              | 970,4215301                                                   | 81,76598213                               | 24,37                                                                   | 205436,3                                                         | 197834,8                      | 2773,651           | 139197,9                       |
| 1991 | 55321172       | 2,767075131                                                                     | 62,15184411                                                              | 939,5220152                                                   | 81,41887116                               | 23,98                                                                   | 207888,3                                                         | 198199,7                      | 2730,264           | 143796,1                       |
| 1992 | 56302037       | 2,793947187                                                                     | 60,37391227                                                              | 952,4813463                                                   | 81,37420133                               | 23,98                                                                   | 215375,1                                                         | 198564,5                      | 2825,741           | 149797,2                       |
| 1993 | 57296008       | 2,735720857                                                                     | 53,81936917                                                              | 992,8809351                                                   | 81,38847423                               | 23,55                                                                   | 221665,6                                                         | 198929,4                      | 3148,943           | 155579,5                       |
| 1994 | 58310245       | 2,738444695                                                                     | 60,78191034                                                              | 963,9942175                                                   | 81,61678501                               | 24,05                                                                   | 216829,3                                                         | 199294,3                      | 2240,633           | 153823,1                       |
| 1995 | 59305490       | 2,732886746                                                                     | 58,43449627                                                              | 1038,160143                                                   | 82,59288875                               | 21,9                                                                    | 231330,3                                                         | 199659,2                      | 2855,037           | 168150,5                       |

|      |          |             |             |             |             |       |          |          |          |          |
|------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1996 | 60293786 | 2,771163504 | 57,05867471 | 1109,921162 | 83,23558002 | 21,04 | 249038,9 | 200024   | 3009,674 | 185337,7 |
| 1997 | 61277426 | 2,749539727 | 61,0894904  | 1149,006291 | 83,78303176 | 20,69 | 258031   | 200388,9 | 3098,668 | 193428,4 |
| 1998 | 62242204 | 2,701803125 | 61,66525553 | 1152,728798 | 83,63248921 | 21,53 | 259245,7 | 200753,8 | 4433,354 | 193687,6 |
| 1999 | 63185615 | 2,737580685 | 70,01717623 | 1115,011985 | 84,53000919 | 20,47 | 259126   | 201118,6 | 4057,822 | 192651,4 |
| 2000 | 64113547 | 2,851880249 | 75,01801124 | 1184,724751 | 86,24798514 | 17,29 | 283075,6 | 201483,5 | 4278,267 | 216396,5 |
| 2001 | 65072018 | 2,815848091 | 80,12466898 | 1079,391206 | 86,07294035 | 18,12 | 261178,9 | 202418,2 | 3100,459 | 197771,1 |
| 2002 | 65988663 | 2,803963553 | 73,71715611 | 1124,791754 | 86,07008772 | 17,49 | 271454,7 | 203353   | 3640,762 | 208107,6 |
| 2003 | 66867327 | 2,814130422 | 74,67936634 | 1164,670587 | 87,04065847 | 16,29 | 282946,6 | 204287,7 | 4704,772 | 219158,6 |
| 2004 | 67785075 | 2,782256827 | 69,25042137 | 1190,908662 | 86,70136114 | 16,78 | 288963,8 | 205222,4 | 6031,79  | 224601,2 |
| 2005 | 68704715 | 2,790710687 | 75,40319593 | 1225,702253 | 88,05963778 | 15,34 | 301420,1 | 206157,2 | 7369,431 | 235003   |
| 2006 | 69601333 | 2,802832113 | 74,69185872 | 1338,36816  | 89,00397079 | 14,23 | 330635,2 | 207091,9 | 8003,812 | 261083,6 |
| 2007 | 70468869 | 2,889685927 | 80,90604412 | 1419,073251 | 90,49675228 | 12,48 | 360254,5 | 208026,6 | 9668,399 | 288967,8 |
| 2008 | 71320726 | 2,909501201 | 82,61347257 | 1384,044773 | 90,56269753 | 12,53 | 357394,7 | 208961,3 | 10802,6  | 287205   |
| 2009 | 72225639 | 2,943319879 | 80,37646552 | 1353,964262 | 89,89750931 | 13,12 | 360935,7 | 209896,1 | 8989,736 | 288307,2 |
| 2010 | 73195345 | 2,785718296 | 73,56302792 | 1457,173376 | 89,12433057 | 14,21 | 371145,3 | 210830,8 | 10614,98 | 297814   |
| 2011 | 74173854 | 2,799148587 | 74,61823159 | 1530,268914 | 89,96939746 | 12,68 | 393957,2 | 211925,2 | 11308,37 | 318641,2 |
| 2012 | 75277439 | 2,781859397 | 72,71561947 | 1570,498234 | 89,41051234 | 13,03 | 409510,2 | 213019,7 | 11697,47 | 329797,8 |
| 2013 | 76576117 | 2,720856368 | 71,05482316 | 1527,074662 | 88,15732151 | 13,8  | 400372,8 | 214114,1 | 12507,8  | 319088,6 |
| 2014 | 78112073 | 2,802673796 | 78,97389696 | 1555,983286 | 89,5439509  | 11,51 | 425731,3 | 215208,6 | 12020,35 | 341671,5 |
| 2015 | 79646178 | 2,711203037 | 67,84588762 | 1628,206679 | 86,84318766 | 13,34 | 433860,5 | 216303   | 10851,92 | 353413,8 |
| 2016 | 81019394 |             |             |             |             | 13,23 | 460806,4 | 216303   | 10734,26 | 376399   |
| 2017 | 82089826 |             |             |             |             | 11,4  | 503113,7 | 217524,6 | 10464,01 | 418098,2 |
| 2018 | 82809304 |             |             |             |             | 11,83 | 503525,2 | 219083,6 | 9400,836 | 414111,9 |
| 2019 | 83481684 |             |             |             |             | 14,12 | 491454,9 | 220643,6 | 9103,012 | 398772,9 |
| 2020 | 84135428 |             |             |             |             | 13,72 | 504956,3 | 222203,6 | 8561,064 | 407406,2 |
| 2021 | 84775404 |             |             |             |             |       |          | 223763,6 | 9661,228 |          |
| 2022 | 85341241 |             |             |             |             |       |          |          | 10616,06 |          |

Ek-2: Our Data in World Verileri

| Yıl  | Sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki değişimlik (°C) |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |      |              |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|
| 1851 | 0,0000070072                                                                                | 1870 | 0,0001191298 | 1889 | 0,0001994448 | 1908 | 0,0003062816 | 1927 | 0,0005109737 | 1946 | 0,0010038548 | 1965 | 0,0020682428 | 1984 | 0,0036696396 | 2003 | 0,0059673986 |
| 1852 | 0,0000138214                                                                                | 1871 | 0,0001239913 | 1890 | 0,0002036580 | 1909 | 0,0003119838 | 1928 | 0,0005264413 | 1947 | 0,0010373971 | 1966 | 0,0021428636 | 1985 | 0,0037538274 | 2004 | 0,0061196364 |
| 1853 | 0,0000204870                                                                                | 1872 | 0,0001287437 | 1891 | 0,0002079978 | 1910 | 0,0003192586 | 1929 | 0,0005424921 | 1948 | 0,0010719044 | 1967 | 0,0022258987 | 1986 | 0,0038511930 | 2005 | 0,0062851840 |
| 1854 | 0,0000270201                                                                                | 1873 | 0,0001333754 | 1892 | 0,0002124735 | 1911 | 0,0003276735 | 1930 | 0,0005616470 | 1949 | 0,0011071903 | 1968 | 0,0023225115 | 1987 | 0,0039502480 | 2006 | 0,0064649857 |
| 1855 | 0,0000334309                                                                                | 1874 | 0,0001379370 | 1893 | 0,0002171087 | 1912 | 0,0003365682 | 1931 | 0,0005824418 | 1950 | 0,0011473099 | 1969 | 0,0024086477 | 1988 | 0,0040513870 | 2007 | 0,0066622254 |
| 1856 | 0,0000397298                                                                                | 1875 | 0,0001424779 | 1894 | 0,0002218720 | 1913 | 0,0003459905 | 1932 | 0,0006043813 | 1951 | 0,0011908998 | 1970 | 0,0024956753 | 1989 | 0,0041555366 | 2008 | 0,0068567717 |
| 1857 | 0,0000459329                                                                                | 1876 | 0,0001469201 | 1895 | 0,0002267468 | 1914 | 0,0003556314 | 1933 | 0,0006278407 | 1952 | 0,0012367517 | 1971 | 0,0025867322 | 1990 | 0,0042649540 | 2009 | 0,0070624165 |
| 1858 | 0,0000520371                                                                                | 1877 | 0,0001514019 | 1896 | 0,0002318345 | 1915 | 0,0003652669 | 1934 | 0,0006528398 | 1953 | 0,0012871498 | 1972 | 0,0026718094 | 1991 | 0,0043721055 | 2010 | 0,0072772442 |
| 1859 | 0,0000580453                                                                                | 1878 | 0,0001557592 | 1897 | 0,0002370318 | 1916 | 0,0003749017 | 1935 | 0,0006789602 | 1954 | 0,0013394906 | 1973 | 0,0027536673 | 1992 | 0,0044811180 | 2011 | 0,0075140360 |
| 1860 | 0,0000639486                                                                                | 1879 | 0,0001599549 | 1898 | 0,0002425737 | 1917 | 0,0003847899 | 1936 | 0,0007061084 | 1955 | 0,0013945642 | 1974 | 0,0028308067 | 1993 | 0,0045912364 | 2012 | 0,0077720983 |
| 1861 | 0,0000697614                                                                                | 1880 | 0,0001640786 | 1899 | 0,0002484178 | 1918 | 0,0003949467 | 1937 | 0,0007331588 | 1956 | 0,0014529896 | 1975 | 0,0029077933 | 1994 | 0,0046914816 | 2013 | 0,0080374160 |
| 1862 | 0,0000754781                                                                                | 1881 | 0,0001681550 | 1900 | 0,0002545995 | 1919 | 0,0004055895 | 1938 | 0,0007613902 | 1957 | 0,0015154247 | 1976 | 0,0029893823 | 1995 | 0,0048003453 | 2014 | 0,0083200540 |
| 1863 | 0,0000811103                                                                                | 1882 | 0,0001721404 | 1901 | 0,0002607809 | 1920 | 0,0004170584 | 1939 | 0,0007906132 | 1958 | 0,0015808784 | 1977 | 0,0030742278 | 1996 | 0,0049233604 | 2015 | 0,0086133180 |
| 1864 | 0,0000866628                                                                                | 1883 | 0,0001760650 | 1902 | 0,0002671473 | 1921 | 0,0004287062 | 1940 | 0,0008195600 | 1959 | 0,0016489729 | 1978 | 0,0031661303 | 1997 | 0,0050641880 | 2016 | 0,0089119860 |
| 1865 | 0,0000922354                                                                                | 1884 | 0,0001799501 | 1903 | 0,0002736910 | 1922 | 0,0004408140 | 1941 | 0,0008487019 | 1960 | 0,0017122155 | 1979 | 0,0032499060 | 1998 | 0,0052080275 | 2017 | 0,0092145580 |
| 1866 | 0,0000977744                                                                                | 1885 | 0,0001837718 | 1904 | 0,0002804356 | 1923 | 0,0004535748 | 1942 | 0,0008778208 | 1961 | 0,0017768672 | 1980 | 0,0033306090 | 1999 | 0,0053524356 | 2018 | 0,0095194300 |
| 1867 | 0,0001032681                                                                                | 1886 | 0,0001875074 | 1905 | 0,0002871915 | 1924 | 0,0004672591 | 1943 | 0,0009079955 | 1962 | 0,0018524955 | 1981 | 0,0034094984 | 2000 | 0,0055140240 | 2019 | 0,0098133380 |
| 1868 | 0,0001086815                                                                                | 1887 | 0,0001913707 | 1906 | 0,0002938508 | 1925 | 0,0004811704 | 1944 | 0,0009392480 | 1963 | 0,0019226966 | 1982 | 0,0034903500 | 2001 | 0,0056673787 | 2020 | 0,0101100090 |
| 1869 | 0,0001140964                                                                                | 1888 | 0,0001953255 | 1907 | 0,0003003480 | 1926 | 0,0004958276 | 1945 | 0,0009712312 | 1964 | 0,0019934780 | 1983 | 0,0035806545 | 2002 | 0,0058080290 | 2021 | 0,0104343980 |

Ek-3: CO<sub>2</sub> Tahmin Verileri (Çoğunluk Oyu Yöntemi)

| Yıl  | Nüfus (toplam) | CO <sub>2</sub> yoğunluğu<br>(petrol eşdeğeri<br>enerji kullanımı<br>başına kg) | Enerji kullanımı<br>(kişi başına düşen<br>petrol eşdeğeri<br>kg) | GSYH (Güncel<br>US\$) | Toplam sera gazı<br>emisyonları (kt<br>CO <sub>2</sub> eşdeğeri) | Orman alan<br>(km <sup>2</sup> ) | CO <sub>2</sub> emissions<br>(kt) |
|------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2016 |                | 2,72865                                                                         | 1649,848                                                         |                       |                                                                  |                                  | 367550,7                          |
| 2017 |                | 2,746097                                                                        | 1671,49                                                          |                       |                                                                  |                                  | 390913,5                          |
| 2018 |                | 2,763543                                                                        | 1693,132                                                         |                       |                                                                  |                                  | 398117,5                          |
| 2019 |                | 2,78099                                                                         | 1714,773                                                         |                       |                                                                  |                                  | 399782,5                          |
| 2020 |                | 2,798437                                                                        | 1736,415                                                         |                       | 504956,3                                                         |                                  | 411904                            |
| 2021 |                | 2,815884                                                                        | 1758,057                                                         |                       | 538097,8                                                         |                                  | 430946,5                          |
| 2022 |                | 2,83333                                                                         | 1779,698                                                         |                       | 559072,7                                                         | 225113,6                         | 444763,5                          |
| 2023 | 86649632       | 2,850777                                                                        | 1801,34                                                          | 10821,74              | 561044,5                                                         | 226808,7                         | 452517,9                          |
| 2024 | 87591441       | 2,868224                                                                        | 1822,982                                                         | 10677,09              | 565457,8                                                         | 228368                           | 460957,2                          |
| 2025 | 88531227       | 2,885671                                                                        | 1844,623                                                         | 11054,57              | 582646,3                                                         | 229718,2                         | 473893,4                          |
| 2026 | 89520603       | 2,903117                                                                        | 1866,265                                                         | 11331,22              | 605076,9                                                         | 231413,2                         | 489610,2                          |
| 2027 | 90462412       | 2,920564                                                                        | 1887,907                                                         | 11597,09              | 626051,8                                                         | 232972,6                         | 504486,2                          |
| 2028 | 91402198       | 2,938011                                                                        | 1909,548                                                         | 11803,53              | 628023,5                                                         | 234322,8                         | 511383,3                          |
| 2029 | 92391574       | 2,955458                                                                        | 1931,19                                                          | 11658,89              | 632436,8                                                         | 236017,8                         | 520082,4                          |
| 2030 | 93333382       | 2,972905                                                                        | 1952,832                                                         | 12036,36              | 649625,4                                                         | 237577,1                         | 533362,2                          |

Ek-4: Küresel Sıcaklık Etkisi Tahmin Verileri (Çoğunluk Oyu Yöntemi)

| Yıl  | Nüfus (toplam) | CO <sub>2</sub> yoğunluğu<br>(petrol eşdeğeri<br>enerji kullanımı<br>başına kg) | Petrol, gaz ve<br>kömür<br>kaynaklarından<br>elektrik üretimi<br>(toplam %) | Fosil yakıt enerji<br>tüketimi (toplam<br>%) | Toplam sera gazı<br>emisyonları (kt<br>CO <sub>2</sub> eşdeğeri) | Orman alan (km <sup>2</sup> ) | Sera gazı<br>emisyonlarının<br>neden olduğu<br>küresel ortalama<br>yüzey<br>sıcaklığındaki<br>değişiklik (°C) |
|------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2016 |                | 2,72865                                                                         | 72,47882                                                                    |                                              |                                                                  |                               |                                                                                                               |
| 2017 |                | 2,746097                                                                        | 65,61484                                                                    |                                              |                                                                  |                               |                                                                                                               |
| 2018 |                | 2,763543                                                                        | 70,22919                                                                    |                                              |                                                                  |                               |                                                                                                               |
| 2019 |                | 2,78099                                                                         | 68,54164                                                                    |                                              |                                                                  |                               |                                                                                                               |
| 2020 |                | 2,798437                                                                        | 76,4463                                                                     |                                              | 504956,3                                                         |                               |                                                                                                               |
| 2021 |                | 2,815884                                                                        | 73,13047                                                                    |                                              | 538097,8                                                         |                               |                                                                                                               |
| 2022 |                | 2,83333                                                                         | 75,26404                                                                    |                                              | 559072,7                                                         | 225113,6                      | 0,010205                                                                                                      |
| 2023 | 86649632       | 2,850777                                                                        | 74,75784                                                                    | 92,20419                                     | 561044,5                                                         | 226808,7                      | 0,010404                                                                                                      |
| 2024 | 87591441       | 2,868224                                                                        | 67,89386                                                                    | 93,17763                                     | 565457,8                                                         | 228368                        | 0,010521                                                                                                      |
| 2025 | 88531227       | 2,885671                                                                        | 72,50822                                                                    | 93,89868                                     | 582646,3                                                         | 229718,2                      | 0,010794                                                                                                      |
| 2026 | 89520603       | 2,903117                                                                        | 70,82066                                                                    | 92,66178                                     | 605076,9                                                         | 231413,2                      | 0,011164                                                                                                      |
| 2027 | 90462412       | 2,920564                                                                        | 78,72532                                                                    | 94,31581                                     | 626051,8                                                         | 232972,6                      | 0,011454                                                                                                      |
| 2028 | 91402198       | 2,938011                                                                        | 75,40949                                                                    | 95,73193                                     | 628023,5                                                         | 234322,8                      | 0,011556                                                                                                      |
| 2029 | 92391574       | 2,955458                                                                        | 77,54306                                                                    | 96,70537                                     | 632436,8                                                         | 236017,8                      | 0,011792                                                                                                      |
| 2030 | 93333382       | 2,972905                                                                        | 77,03686                                                                    | 97,42642                                     | 649625,4                                                         | 237577,1                      | 0,01203                                                                                                       |

## ÖZGEÇMİŞ

Beyza GÜDEK, İlköğretimini Manisa Halil Yurtseven İlkokulu'nda, ortaöğretimini Ankara Açık Öğretim Lisesi'nde tamamladı. 2016-2018 yılları arasında Özel Bardas Bilgisayar ve Yabancı Dil Kursunda ileri düzey yabancı dil eğitimini tamamlayarak mesleki eğitmen sertifikasını aldı. 2018-2022 yılları arasında Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi – Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü'nde lisans eğitimi aldı. 2021 yılında Selçuk Üniversitesi – Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bilgi İşlem Departmanında gönüllü stajını, 2022 yılında aynı birimde zorunlu stajını tamamladı. 2022 yılında üniversite birinciliği derecesi ile mezun oldu. 2022-2024 yılları arasında Anadolu Üniversitesi – Açık Öğretim Fakültesi, Bilgisayar Programcılığı Bölümü'nde ön lisans eğitimi aldı. 2022 Haziran ayında Konya, The White International Danışmanlık A.Ş., Dijital Dönüşüm Proje Yöneticisi olarak tam zamanlı işe başladı. 2022 Ağustos ayında Konya, Necmettin Erbakan Üniversitesi – Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2023 Şubat ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı'na yatay geçiş yaptı. 2022 Aralık ayında Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi – İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi kadrosuna atanmış ve halen bu göreve devam etmektedir.

GÜDEK, bekar olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.