



Adı :Mehmet Emin

Soyadı :BOZDOĞAN

Öğrenci No :23010903051

Adı :Emirhan

Soyadı :Güngör

Öğrenci No:23010903097

**Ödev:** Yapay Öğrenme ile Sürdürülebilir Kalkınma Planlaması

Akademisyen: Doç. Dr. Ekin EKİNCİ

Arş. Gör. Furkan ATBAN

**GİTHUB:**

[https://github.com/Mehmetett646131/yapay\\_ogrenme\\_dersiproje\\_SK](https://github.com/Mehmetett646131/yapay_ogrenme_dersiproje_SK)

## Seçilen SKA ve Problem Tanımı

Günümüzde gezegenimizi tehdit eden en büyük küresel krizlerden biri olan iklim değişikliği ile mücadele, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) arasında yer alan '**13. İklim Eylemi**' hedefi doğrultusunda hayatı bir önem taşımaktadır. Bu projenin temel amacı, gelişmekte olan bir ekonomi olarak Türkiye'nin karbon (CO<sub>2</sub>) emisyonlarını etkileyen makroekonomik ve çevresel dinamikleri veriye dayalı yöntemlerle analiz etmektir.

Sanayileşme ve kalkınmanın kaçınılmaz bir sonucu olarak artan enerji ihtiyacı ve ekonomik büyümeye (GSYİH), karbon ayak izini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada, Dünya Bankası'ndan elde edilen kapsamlı veri setleri kullanılarak, Türkiye'nin ekonomik büyümesi ve enerji tüketim alışkanlıklarıyla karbon salınımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, **yapay öğrenme teknikleri (Regresyon Modelleri)** kullanılarak geçmiş verilerden öğrenen bir model geliştirilmiş ve Türkiye'nin gelecekteki emisyon senaryolarına yönelik bilimsel tahminler üretilmiştir. Bu proje, veriye dayalı karar verme süreçlerinin sürdürülebilirlik politikalarındaki rolünü somut bir örnekle ortaya koymayı hedeflemektedir.

## Veri Künyesi ve Kaynaklar

Bu çalışmanın empirik analizinde kullanılan veri seti, küresel ölçekte en kapsamlı ve güvenilir veri sağlayıcılarından biri olan Dünya Bankası (World Bank Open Data) veritabanından temin edilmiştir. Çalışmanın zaman kapsamı, verilerin sürekliliği ve güncelliliği gözetilerek 1990 - 2023 dönemini kapsayacak şekilde belirlenmiş olup, toplamda 34 yıllık kesintisiz bir zaman serisi oluşturulmuştur.

Analiz modelinde kullanılan değişkenler ve tanımları aşağıda detaylandırılmıştır:

- Bağımlı (Hedef) Değişken (y):** Çevresel etkinin bir göstergesi olarak Kişi Başına Karbon Emisyonları



- **Bağımsız Değişken 1 (X1):** Ekonomik büyümeye göstergesi olarak Kişi Başına Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) .



- **Bağımsız Değişken 2 (X2):** Enerji yoğunluğunu temsilen Kişi Başına Enerji Kullanımı.



Veri ön işleme aşamasında; ham veriler **Python** programlama ortamında Pandas kütüphanesi kullanılarak entegre edilmiş, veri tutarlılığı sağlanmış ve eksik gözlemlerden arındırılarak modelleme sürecine hazır hale getirilmiştir."

## Yöntem

Bu çalışmanın modelleme ve analiz süreçleri, veri bilimi alanında endüstri standartı olan Python programlama dili ve onun güçlü makine öğrenmesi kütüphanesi Scikit-Learn kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Problemin yapısı itibarıyla sürekli bir sayısal değerin (CO<sub>2</sub> emisyonu) tahmin edilmesi hedeflendiğinden, denetimli öğrenmetekniklerinden Çoklu Doğrusal Regresyon algoritması tercih edilmiştir.

Modelin geliştirilme aşamaları şu şekildedir:

- **Veri Seti Ayrımı (Train-Test Split):** Modelin genelleştirme yeteneğini ölçmek ve aşırı öğrenme (overfitting) riskini minimize etmek amacıyla; 34 yıllık veri seti rastgele örneklem yöntemiyle **%80 Eğitim (Training)** ve **%20 Test** seti olarak ikiye ayrılmıştır. Model eğitim verisi üzerinde desenleri öğrenmiş, başarısı ise hiç görmediği test verisi üzerinde sınanmıştır.
- **Matematiksel Modelleme:** Kurulan regresyon modeli, bağımsız değişkenler olan GSYİH (X1) ve Enerji Kullanımı (X2) ile hedef değişken CO<sub>2</sub> (y) arasındaki ilişkiyi doğrusal bir denklem düzleminde modellemiştir. Modelin temel amacı, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hatayı (RMSE) minimize etmektir.

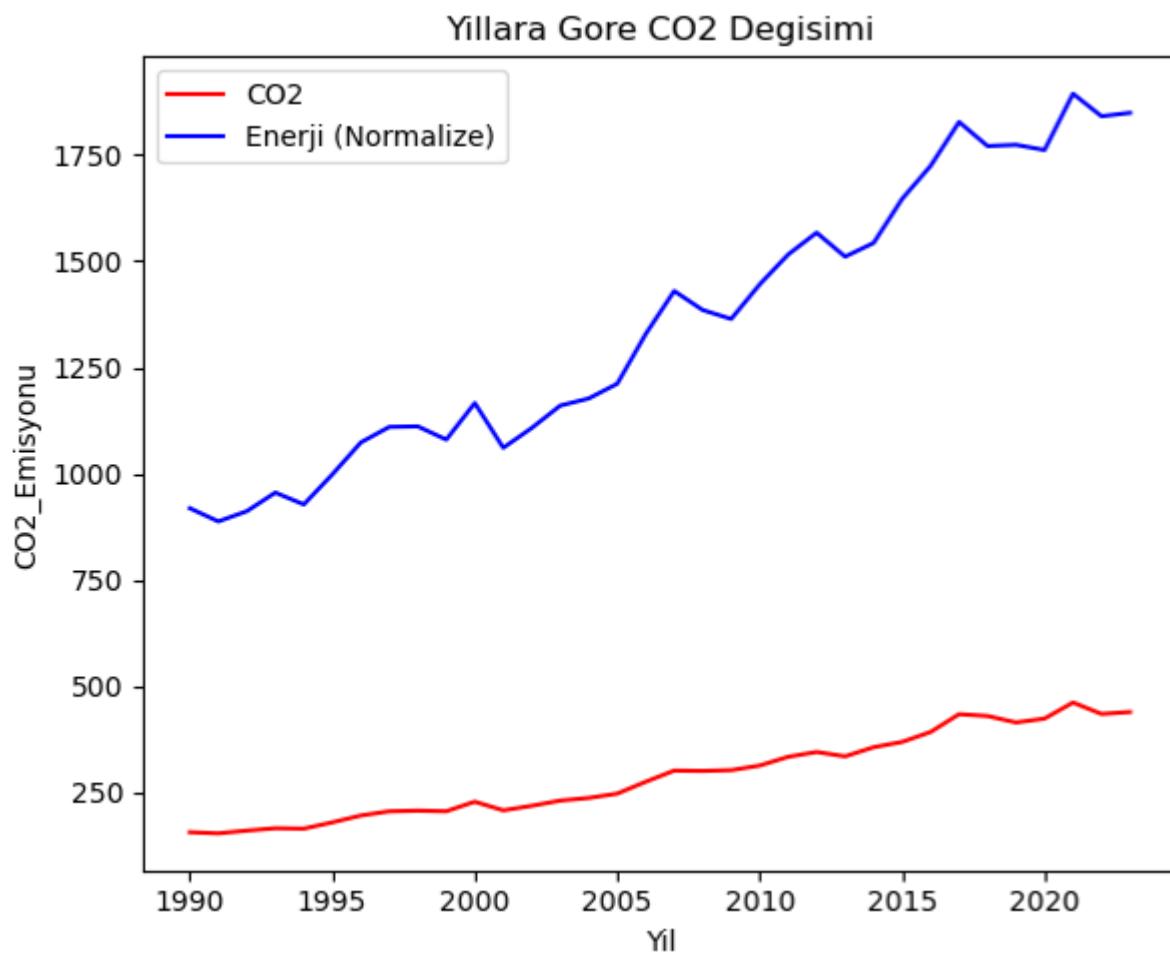
## Bulgular ve Görseller

Geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modelinin performans değerlendirmesi, test veri seti üzerinde elde edilen istatistiksel metrikler ve görsel analizler ışığında gerçekleştirılmıştır. Modelin tahmin yeteneğini ölçmek adına **Belirtme Katsayısı ( $R^2$ )** ve **Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE)** metrikleri temel alınmıştır.

Elde edilen sayısal bulgular şu şekildedir:

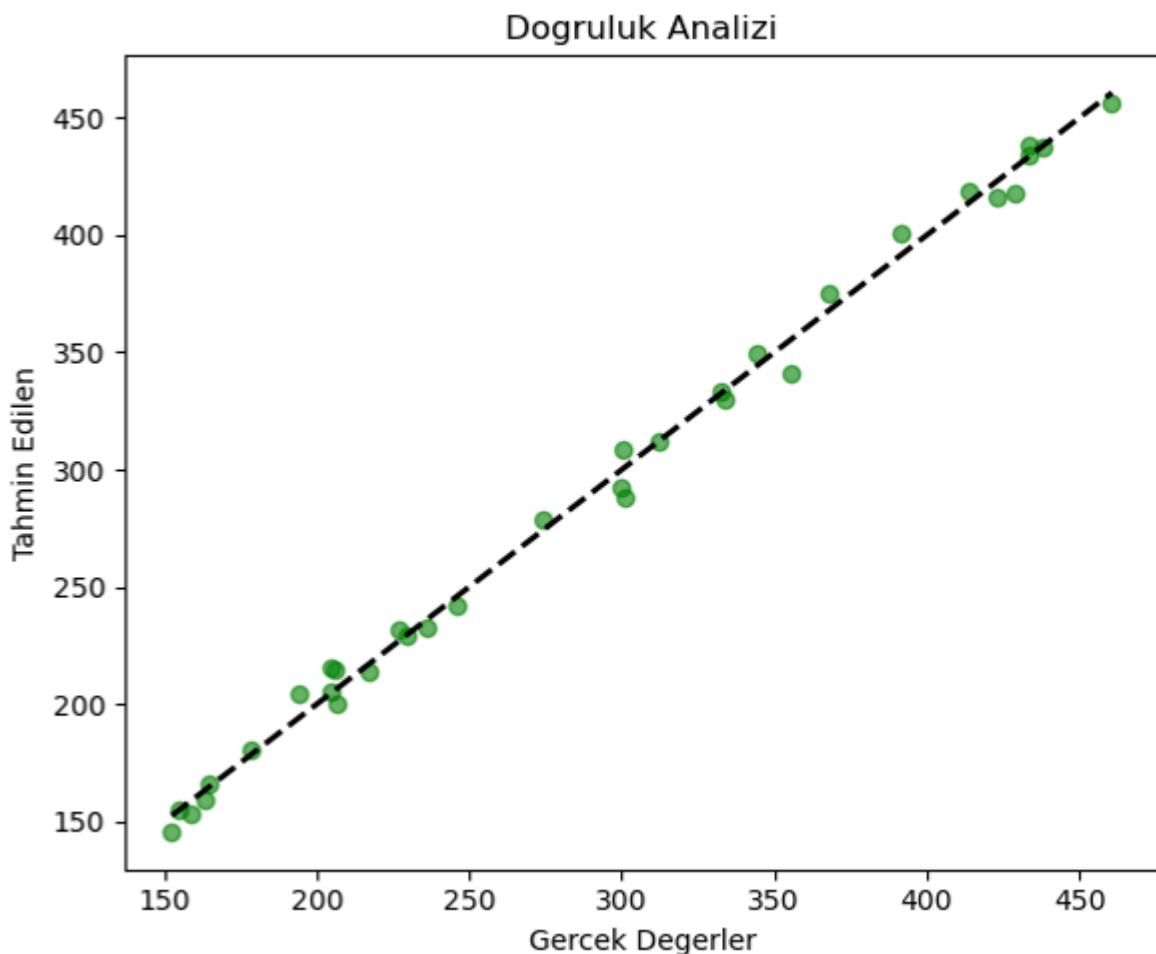
- **$R^2$  Skoru (0.9853):** Modelimiz, Türkiye'nin karbon emisyonundaki değişimin **%98.53'ünü** seçilen bağımsız değişkenler (GSYİH ve Enerji Kullanımı) ile açıklamayı başarmıştır. Bu oran, kurulan modelin gerçeğe son derece yakın tahminler ürettiğini ve değişkenler arasında çok güçlü bir korelasyon olduğunu kanıtlamaktadır.
- **RMSE Değeri (8.92):** Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama sapma sadece 8.92 birim (Mt) olarak hesaplanmıştır. Toplam emisyon hacmi düşünüldüğünde bu hata payı, modelin güvenilirliğini teyit etmektedir.

Aşağıdaki grafiklerde modelin başarısı görselleştirilmiştir:



Şekil 1: Zaman Serisi Analizi ve Değişkenlerin Birlikte Hareketi

Yorum: Grafikte görüldüğü üzere, enerji tüketimi ve karbon emisyonu eğrileri 1990-2023 yılları arasında birbirine paralel bir artış trendi sergilemektedir.



Şekil 2: Gerçek Değerler ve Tahmin Edilen Değerler (Doğruluk Analizi)

Yorum: Yeşil noktaların regresyon doğrusu (kesik çizgi) üzerindeki sıkı dağılımı, modelin eğitim verisinde görmediği yıllar için bile yüksek doğrulukla tahmin yapabildiğini göstermektedir."

**Gelecek Senaryo Analizi:** Modelin pratik uygulanabilirliğini test etmek amacıyla, Türkiye'nin ekonomik büyümesinin ve enerji tüketiminin artmaya devam ettiği varsayımsal bir gelecek senaryosu model üzerinde koşturulmuştur.

- **Senaryo Girdileri:** Kişi Başı Gelir (GSYİH): 15.000\$, Enerji Kullanımı: 2.000 birim.
- **Model Çıktısı (Tahmin):** 482.44 Mt CO<sub>2</sub>.

Bu sonuç, mevcut enerji politikaları ve üretim alışkanlıklarını değimezse, ekonomik büyümeyen karbon emisyonlarını 482 Mt seviyelerine kadar yükselteceğini matematiksel olarak kanıtlamaktadır.

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada geliştirilen makine öğrenmesi modeli, Türkiye'nin ekonomik büyümeye (GSYİH) ve enerji tüketim verilerini kullanarak karbon emisyonlarını %98.5 gibi yüksek bir doğruluk orANIyla tahmin etmiştir. Analiz sonuçları, Türkiye'de ekonomik kalkınma ve enerji kullanımının karbon ayak izini doğrudan ve güçlü bir şekilde artırdığını ortaya koymaktadır. Modelimizin senaryo analizine göre, mevcut enerji politikalarıyla ekonomik büyümeyenin (kişi başı gelir 15.000\$ seviyelerine ulaştığında) devam etmesi durumunda, yıllık CO<sub>2</sub> emisyonlarında kritik artışlar (480 Mt seviyelerine) öngörülmektedir.

Bu bulgular ışığında, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA 13 - İklim Eylemi) hedeflerine ulaşılabilmesi için aşağıdaki politika önerileri geliştirilmiştir:

### 1. Ekonomik Büyümenin Karbondan Arındırılması (Decoupling):

Modelimiz GSYİH artışının emisyonu artırdığını göstermektedir. Bu ilişkiye kırmak için ekonomik büyümeye stratejileri, fosil yakıt bağımlılığından çıkarılarak "Yeşil Büyüme" (Green Growth) modeline entegre edilmelidir.

### 2. Yenilenebilir Enerji Dönüşümü:

Enerji tüketimi değişkeninin emisyon üzerindeki baskın etkisi nedeniyle, Türkiye'nin enerji portföyünde güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynakların payı agresif bir şekilde artırılmalıdır.

### 3. Endüstriyel Enerji Verimliliği:

Enerji kullanımını azaltmadan üretimi korumanın yolu verimlilikten geçmektedir. Sanayi üretiminde enerji yoğunluğunu düşürecek teknolojik teşvikler ve yasal düzenlemeler hayatı geçirilmelidir.

### 4. Karbon Fiyatlandırma Mekanizması:

Emisyon artışını kontrol altında tutmak için karbon vergisi veya emisyon ticaret sistemi (ETS) gibi ekonomik araçlar devreye alınarak, düşük karbonlu üretim modelleri finansal olarak cazip hale getirilmelidir.

## **Kullanılan Kaynaklar**

<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>

<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>

<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi *Yapay Öğrenmenin Temelleri Ders Notları ve Proje Yönergeleri.*