

The Future Earth •

KÜRESEL CO₂ EMİSYON ANALİZİ

miuul veri bilimi bootcamp projesi

Problem Tanımı

"Dünya ekonomileri büyürken CO₂ emisyonları da kontrollsüz bir şekilde artmaktadır. Temel problemimiz; fosil yakıt bağımlılığının devam etmesi, emisyonların 30 yılda %68 artması ve bu karmaşık süreci yönetmek için gereken güvenilir, zamana karşı dayanıklı veri analiz modellerinin eksikliğidir."

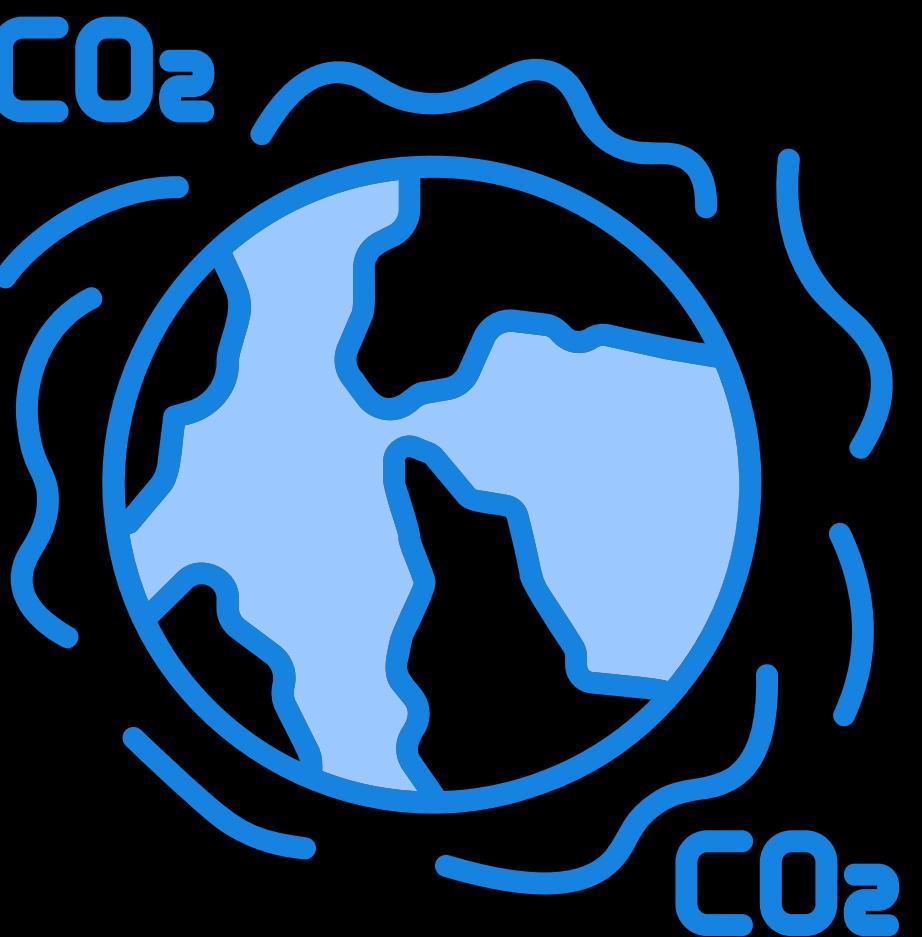


Veri Seti Hikayesi

- Bu analizde kullanılan veri seti, 'Our World in Data' platformundan alınmış olup, ülkelerin tarihsel CO₂ emisyonlarını ve bu emisyonları etkileyen ekonomik, demografik ve enerjik faktörleri içermektedir.
- Veri seti, Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar uzanan geniş bir zaman dilimini kapsamakta olup, küresel ısınmanın kök nedenlerini anlamak için kritik bir kaynaktır.
- Biz bu çalışmada, veri kalitesini artırmak adına eksik verileri tamamladık ve analizi 1990 sonrası modern döneme odaklıladık.

Veri Seti Değişkenleri

- co2 : Toplam CO2 emisyonları (Milyon ton/yıl)
- country : Ülke veya bölge adı (kategorik)
- year : Gözlem yılı (1750-2024)
- gdp : Gayri Safi Yurtiçi Hasılatı (USD, PPP)
- population : Toplam nüfus
- co2_per_capita : Kişi başı CO2 emisyonu (ton/kİŞİ)
- co2_per_gdp : Karbon yoğunluğu (kg CO2 / \$ GSYİH)
- energy_per_capita : Kişi başı enerji tüketimi (kWh)
- coal_co2 : Kömür yanmasından CO2
- oil_co2 : Petrol yanmasından CO2
- gas_co2 : Doğalgaz yanmasından CO2
- consumption_co2 : Tüketim tabanlı CO2 (ithalat dahil)
- methane: Metan emisyonları (hayvancılık)
- nitrous_oxide: Diazot monoksit emisyonları (azotlu gübre kullanımı)



Veri ve Metodoloji

Veri Seti : owid-co2-data.csv

Ön İşleme (Preprocessing):

- Eksik Veriler: Ülke bazında yıllara göre sıralanarak zaman güvenli 'Linear Interpolation' yöntemiyle doldurulmuştur.
- Filtreleme: Analizler genelde 1990 sonrası, tahmin modelleri ise 2000-2024 arası verilere odaklanmıştır.

Model Eğitimi:

- Regresyon Modeli: Geleceği tahmin etmek için Çok Değişkenli Regresyon (Multivariate Regression) modeli kullanılmıştır. Bu model, sadece zamanı değil, GSYİH, Nüfus, Enerji Tüketimi ve yakıt türleri gibi faktörleri de hesaba katar.
- Eğitim Seti: 2000-2024 yılları arasındaki verilerle model eğitilmiş, 2025-2028 için tahmin üretilmiştir.
- Ön Tahmin: Gelecek yıllar için önce bağımsız değişkenler (GSYİH vb.) tahmin edilmiş, ardından bu değerler CO2 tahmininde kullanılmıştır.

Metodoloji

Model Performans Metrikleri

Model, tutulan test seti (2019-2024) üzerinde standart regresyon metrikleri kullanılarak titizlikle değerlendirilmiştir:

- **Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE):** 6.3652
- **Ortalama Mutlak Hata (MAE):** 6.0765
- **R-Kare (R²):** 0.9359

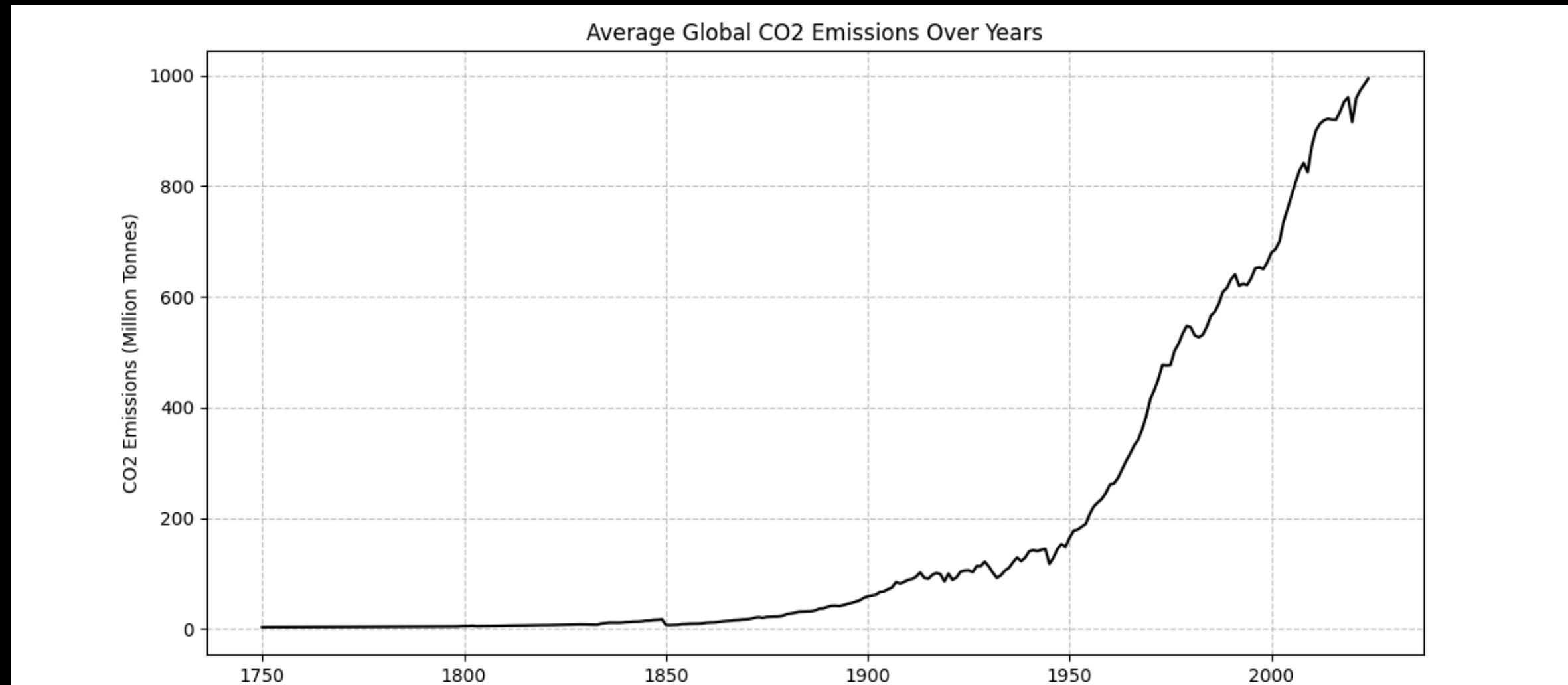
Zaman güvenli doğrulama yoluyla elde edilen bu metrikler, gelecek veriler üzerindeki model performansının gerçekçi tahminlerini sağlar.

Teknolojiler ve Araçlar

- **Python 3.x:** Birincil programlama dili, zengin veri bilimi kütüphane ekosistemi için seçilmiştir
- **Pandas:** Yüksek performanslı veri manipülasyonu ve analizi
- **NumPy:** Sayısal hesaplamalar ve dizi işlemleri
- **Scikit-learn:** Makine öğrenimi model geliştirme ve değerlendirme
- **Matplotlib & Seaborn:** Yayın kalitesinde statik görselleştirmeler
- **Plotly:** Animasyon yetenekleri ile interaktif 3D dünya görselleştirmesi

Tarihsel Trend Analizi

ZAMANA GÖRE KÜRESEL CO2 EMİSYONLARI



İstikrarlı Büyüme(1990-2000)

Baskınılıkla gelişmekte olan ekonomilerdeki sanayileşme tarafından yönlendirilen yıllık yaklaşık %1.5 büyümeye oranları.

Hızlanan Büyüme(2000-2010)

En hızlı büyümeye on yılı, Çin'in hızlı sanayileşmesi küresel emisyonları yılda yaklaşık %3 yukarı itmiştir.

Plato Girişimleri(2014-2016)

Çin'in ekonomik yeniden dengelenmesi ve gelişmiş ülkelerdeki yenilenebilir enerji genişlemesine atfedilen kısa süreli stabilizasyon.

COVID-19 Etkisi (2020):

Küresel kilitlenmeler nedeniyle benzeri görülmemiş %5.4 düşüş, kayıtlı tarihteki en büyük tek yıllık azalma.

Pandemi Sonrası Toparlanma (2021-2024):

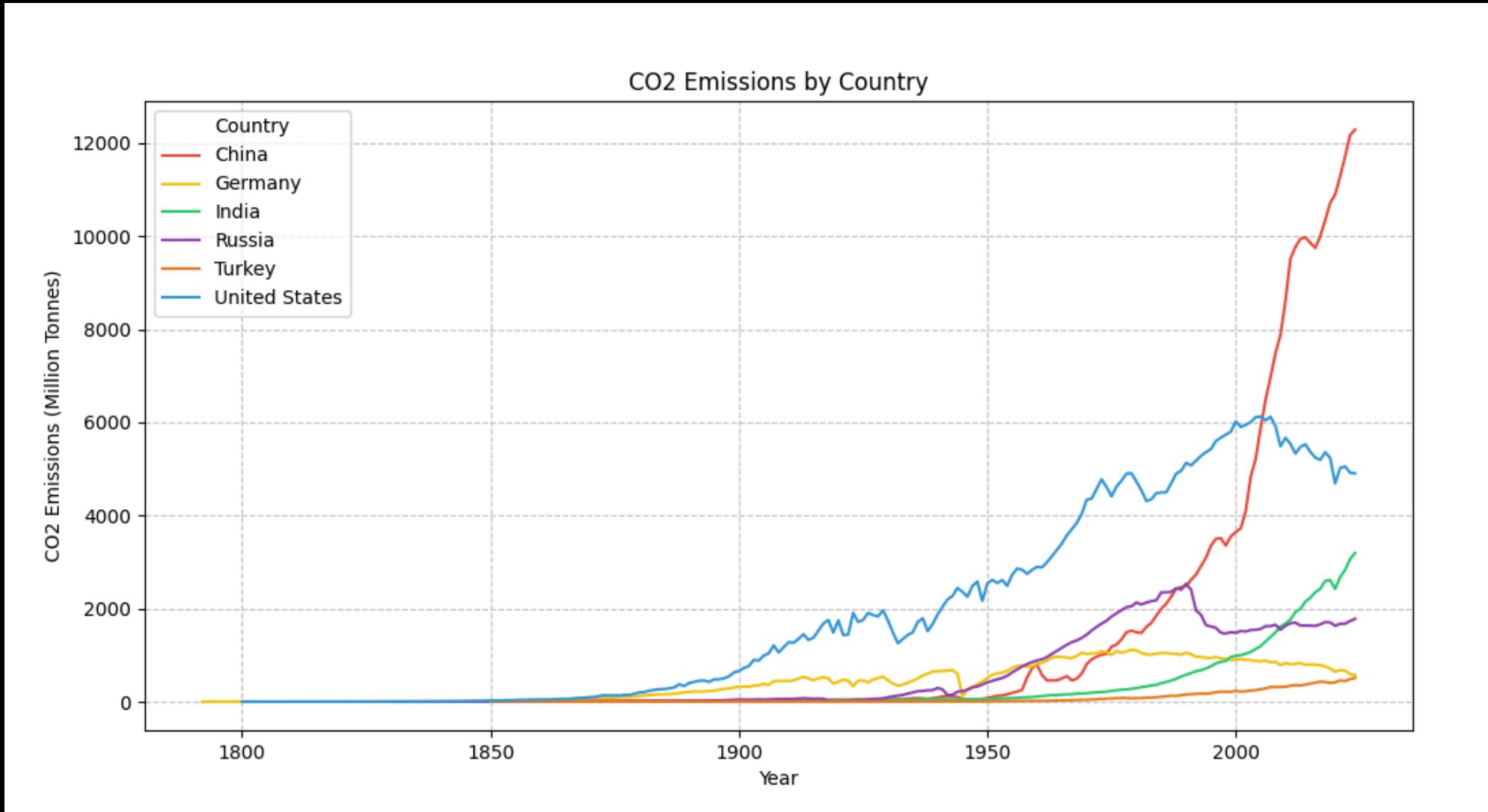
Emisyonlar hızla toparlanmış ve pandemi öncesi seviyeleri aşmıştır, bu da kalıcı azalmalar için enerji sisteminde yapısal değişikliklerin gerekliliğini göstermektedir.

ÜLKEYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

ÇİN:

Çin, dünyanın en büyük CO₂ yayıcısı olarak ortaya çıkmış olup, şu anda küresel emisyonların yaklaşık %30'undan sorumludur. Temel özellikler şunlardır:

- 1990-2024 arasında emisyonlar artmıştır
- Kömür baskın enerji kaynağı olmaya devam etmektedir (birincil enerjinin >%60'i)
- Son yıllar yenilenebilir kapasite hızla genişlerken plato işaretleri göstermektedir
- Kişi başı emisyonlar artık AB ortalamasını aşmıştır ancak ABD seviyelerinin altında kalmaktadır

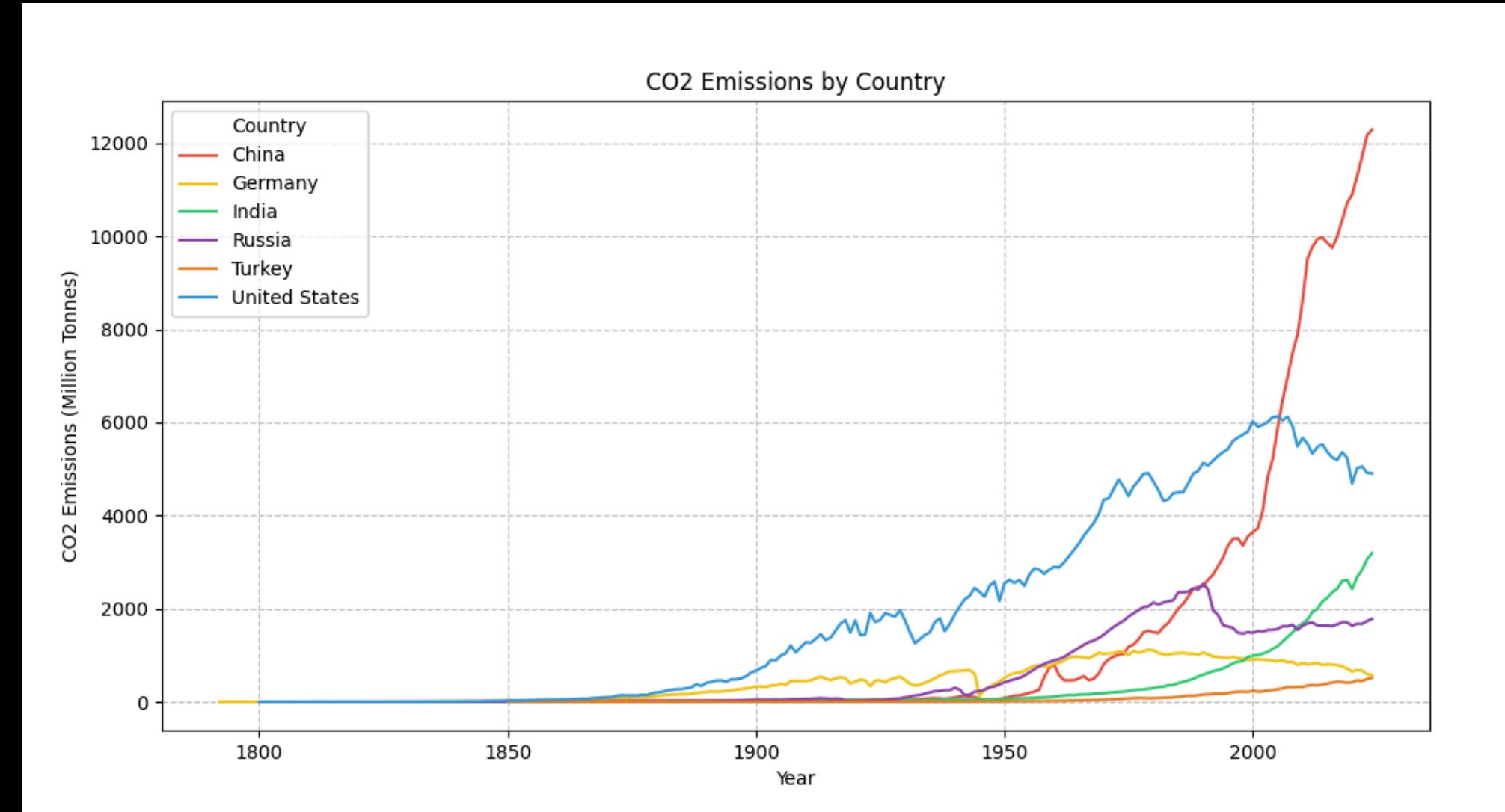


ÜLKEYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ

Tarihsel olarak en büyük yayıcı olan ABD artık küresel olarak ikinci sıradadır:

- Zirve emisyonları 2007'de meydana gelmiş, ardından yaklaşık %15 düşüş yaşanmıştır
- Emisyonların GSYIH büyümelerinden başarılı ayrıştırması gösterilmiştir
- Doğalgazın kömürü değiştirmesi önemli azalmaları yönlendirmiştir
- Büyük ekonomiler arasında en yüksek kişi başı emisyonları (yaklaşık 15 ton/kİŞİ)

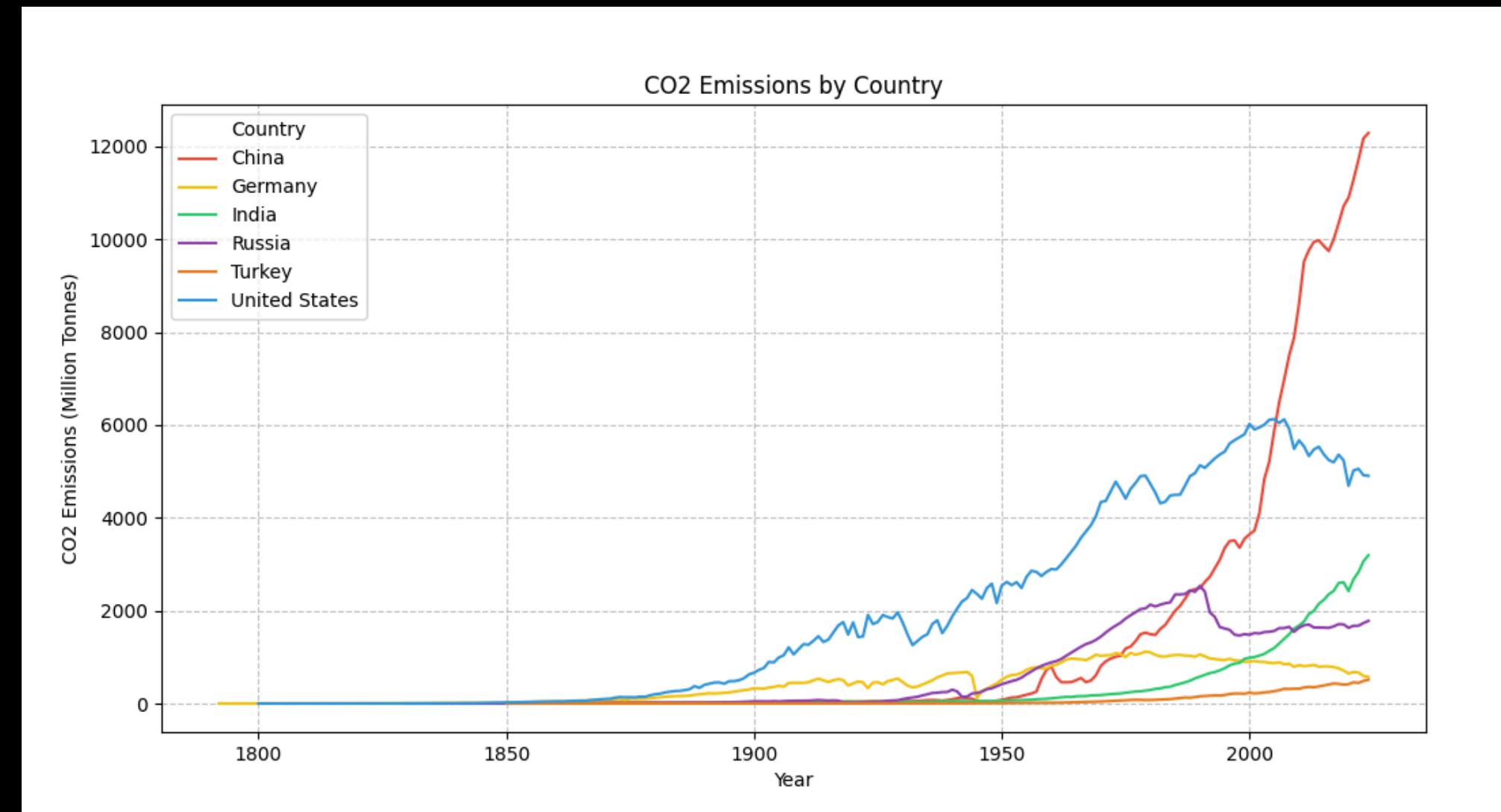


ÜLKEYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

HİNDİSTAN

Hızla gelişen bir ekonomi olarak Hindistan güçlü emisyon büyümesi göstermektedir:

- 1990'dan bu yana emisyonlar üç katına çıkmıştır
- Artık küresel olarak üçüncü en büyük yayıcıdır
- Kişi başı emisyonlar çok düşük kalmaktadır (yaklaşık 1.9 ton/kişi)
- Önemli güneş yatırımına rağmen kömür genişlemesi devam etmektedir

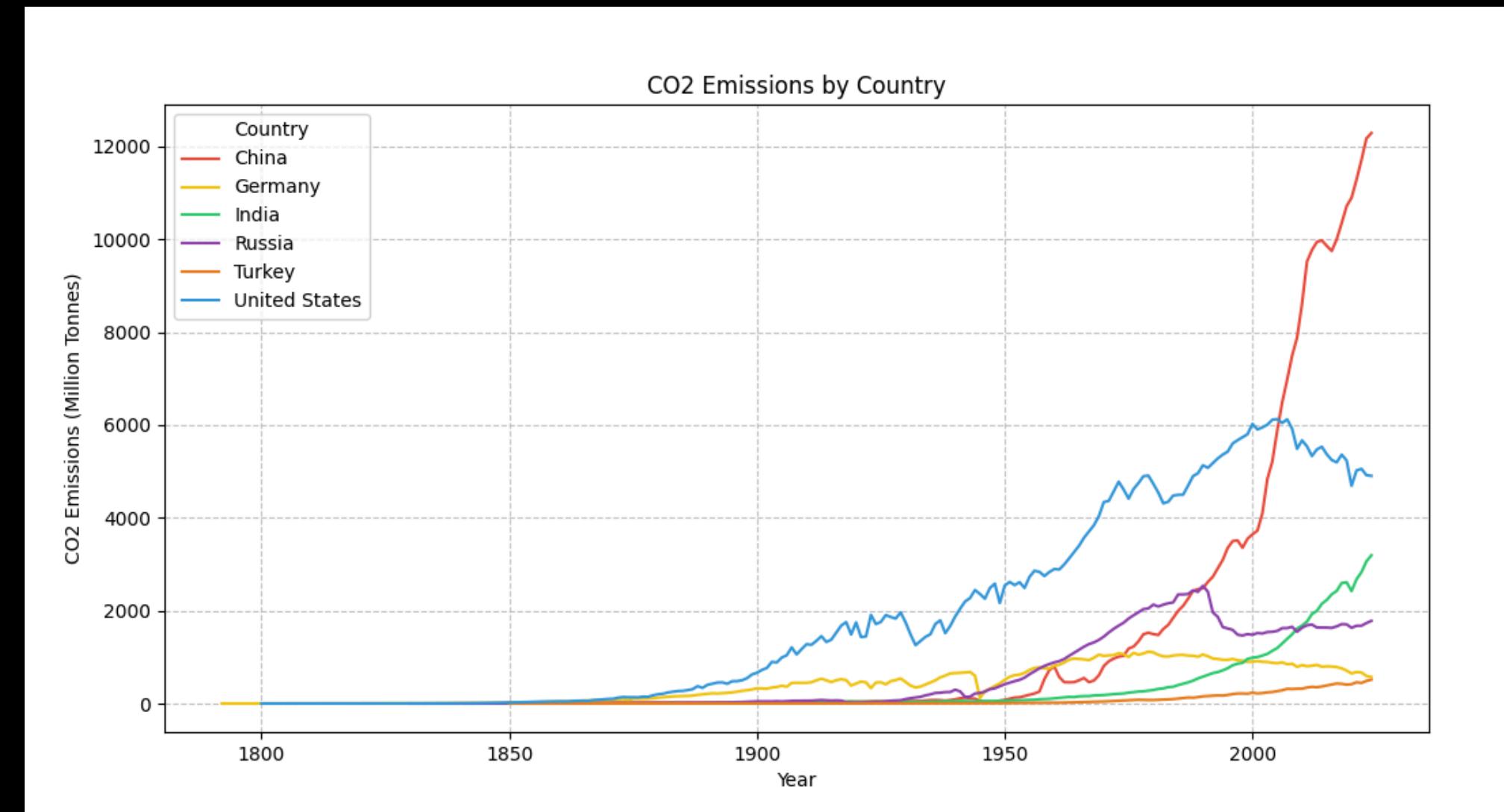


ÜLKEYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

RUSYA:

Rusya'nın emisyonları benzersiz Sovyet sonrası dinamikler göstermektedir:

- Ekonomik çöküşün ardından 1990'larda keskin düşüş
- 2000'den bu yana kademeli toparlanma, su anda 1990 seviyelerinin yaklaşık %15 altında
- Yerli enerji için doğalgaza ağır bağımlılık
- Önemli fosil yakıt ihracatçısı

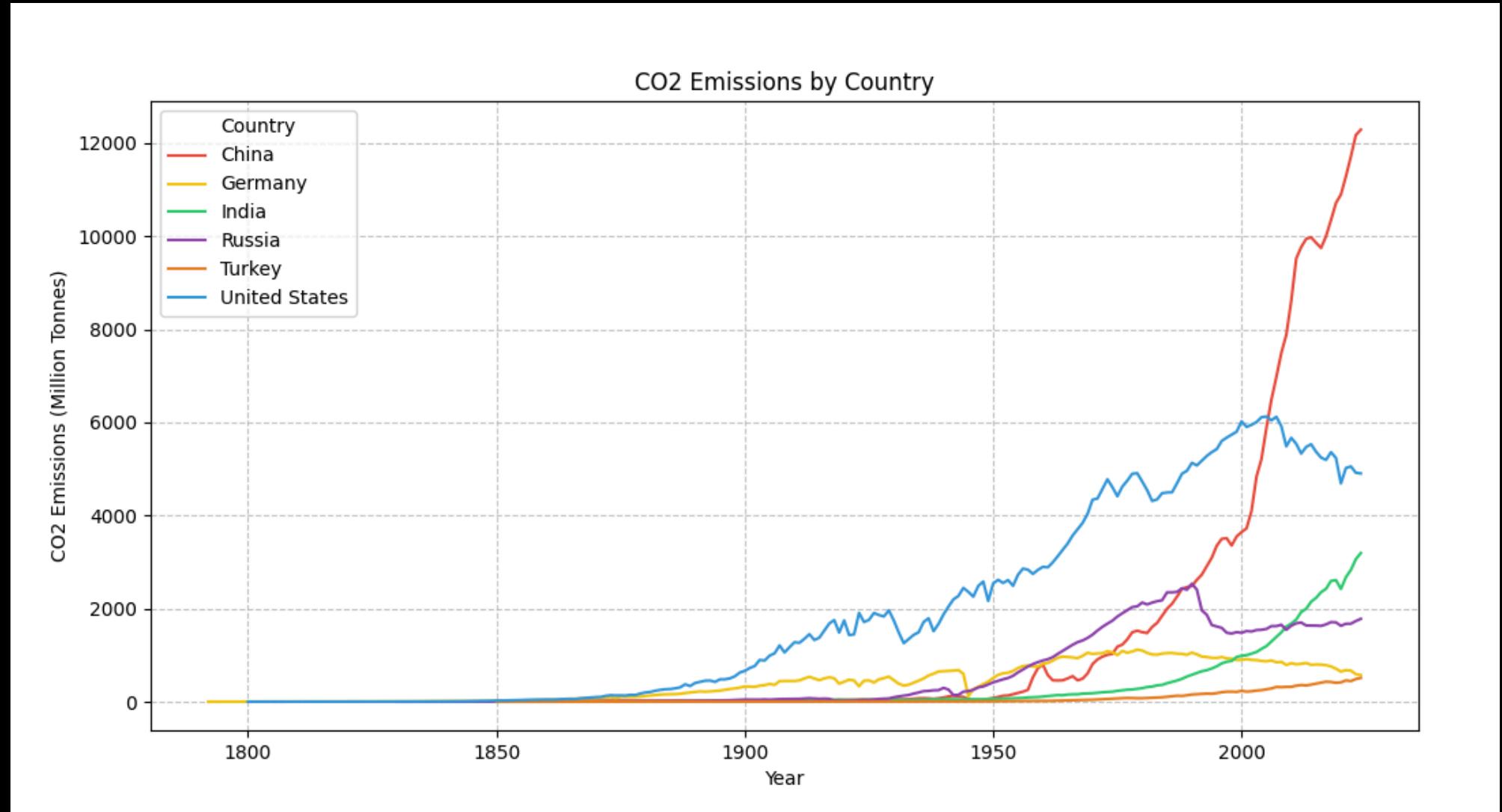


ÜLKEYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

ALMANYA:

Almanya emisyon azaltmada bir Avrupa başarı hikayesini temsil etmektedir:

- 1990 seviyelerinden yaklaşık %40 düşüş
- Hırslı 'Energiewende' (Enerji Dönüşümü) politikası değişimi yönlendirmektedir
- Enerji güvenliğini korurken kömürü aşamalı olarak kaldırma zorlukları devam etmektedir

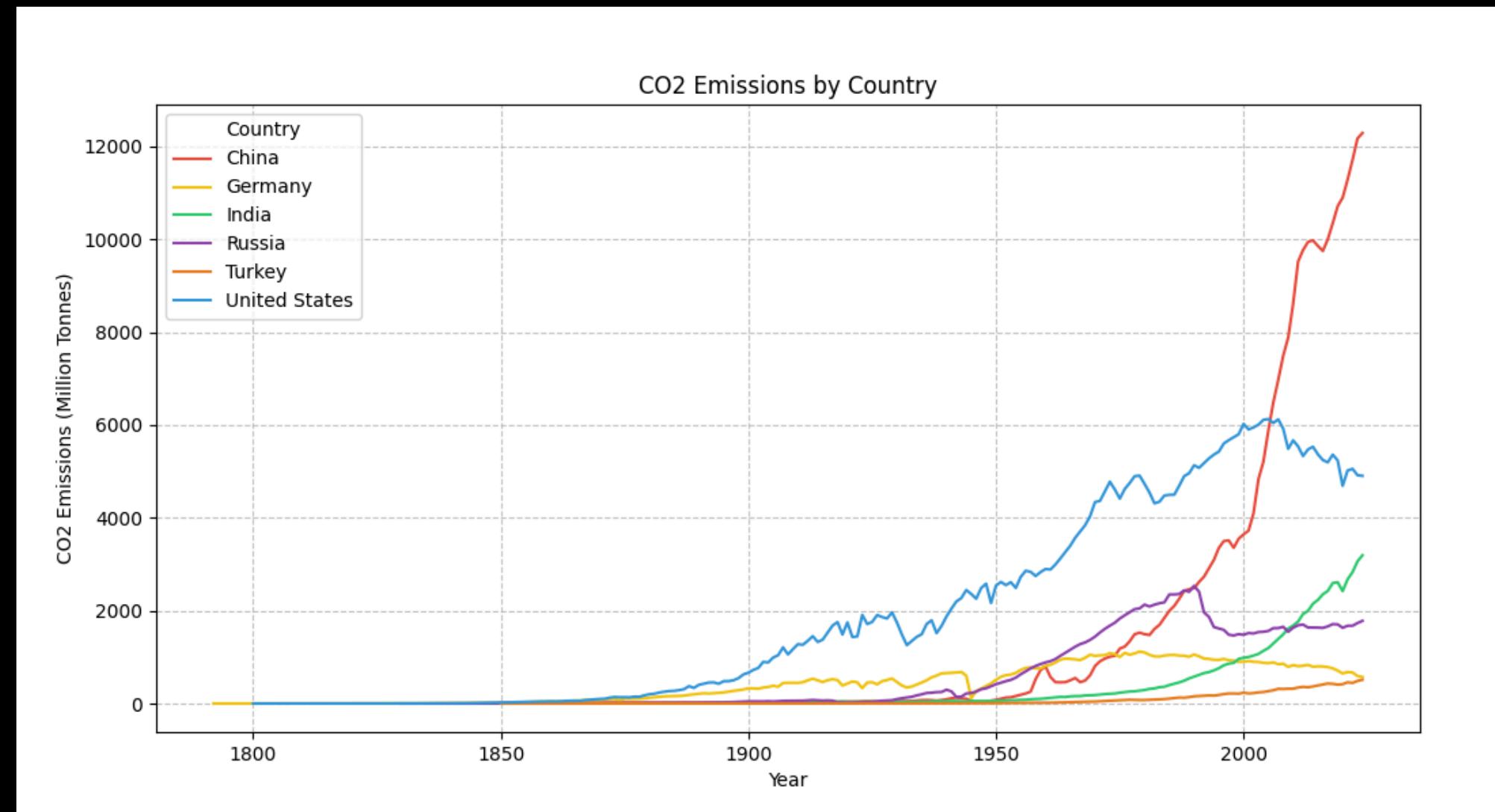


ÜLKELYE ÖZGÜ EMİSYON PROFİLLERİ

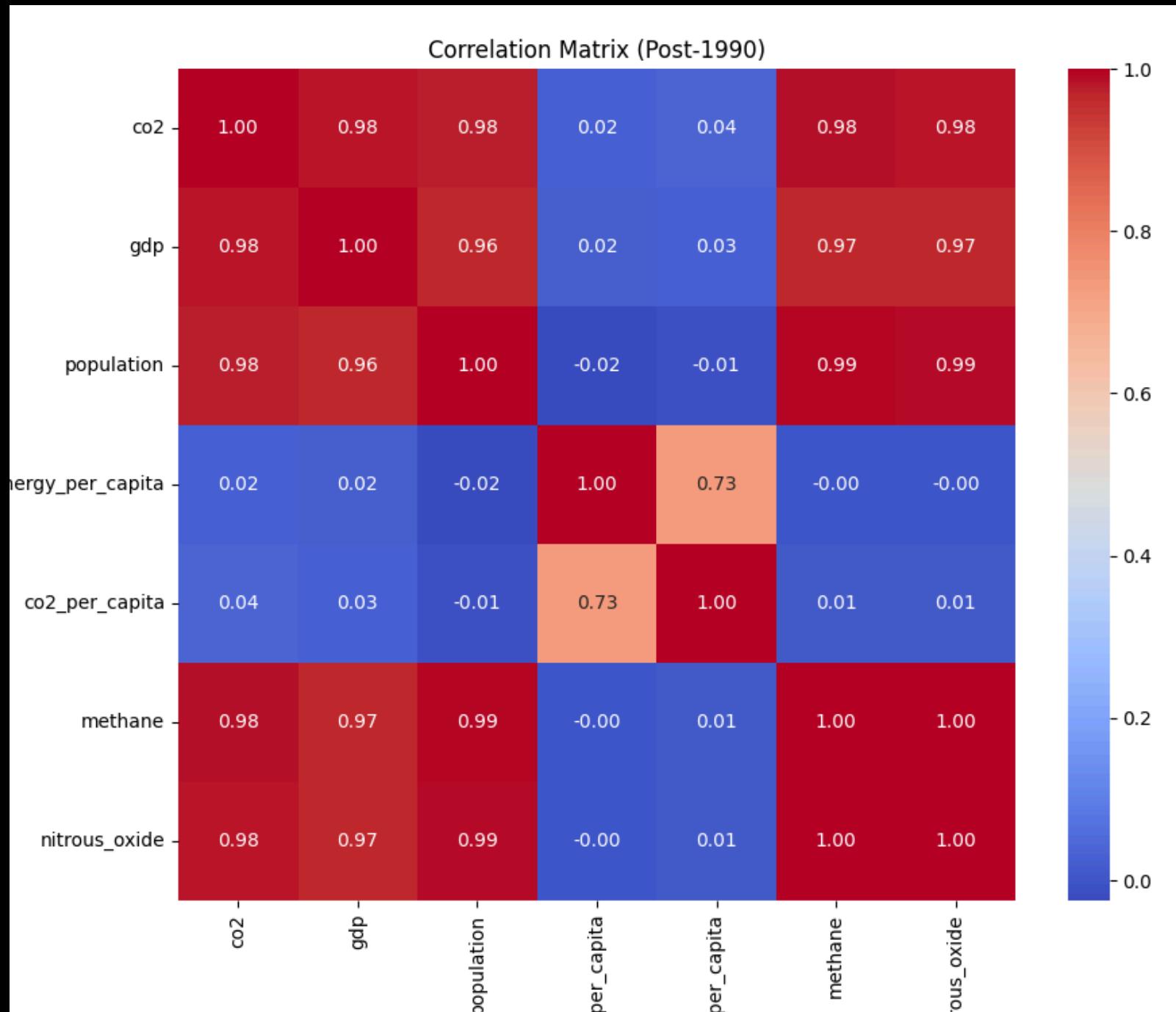
TÜRKİYE:

Türkiye gelişmekte olan bir ekonominin özelliklerini göstermektedir:

- 1990'dan bu yana emisyonlar artmıştır
- Büyüyen ekonomi artan enerji talebini yönlendirmektedir
- Önemli kömür ve doğalgaz tüketimi
- Yerli yenilenebilir enerji kapasitesi geliştirilmektedir



İstatistiksel Korelasyon Analizi



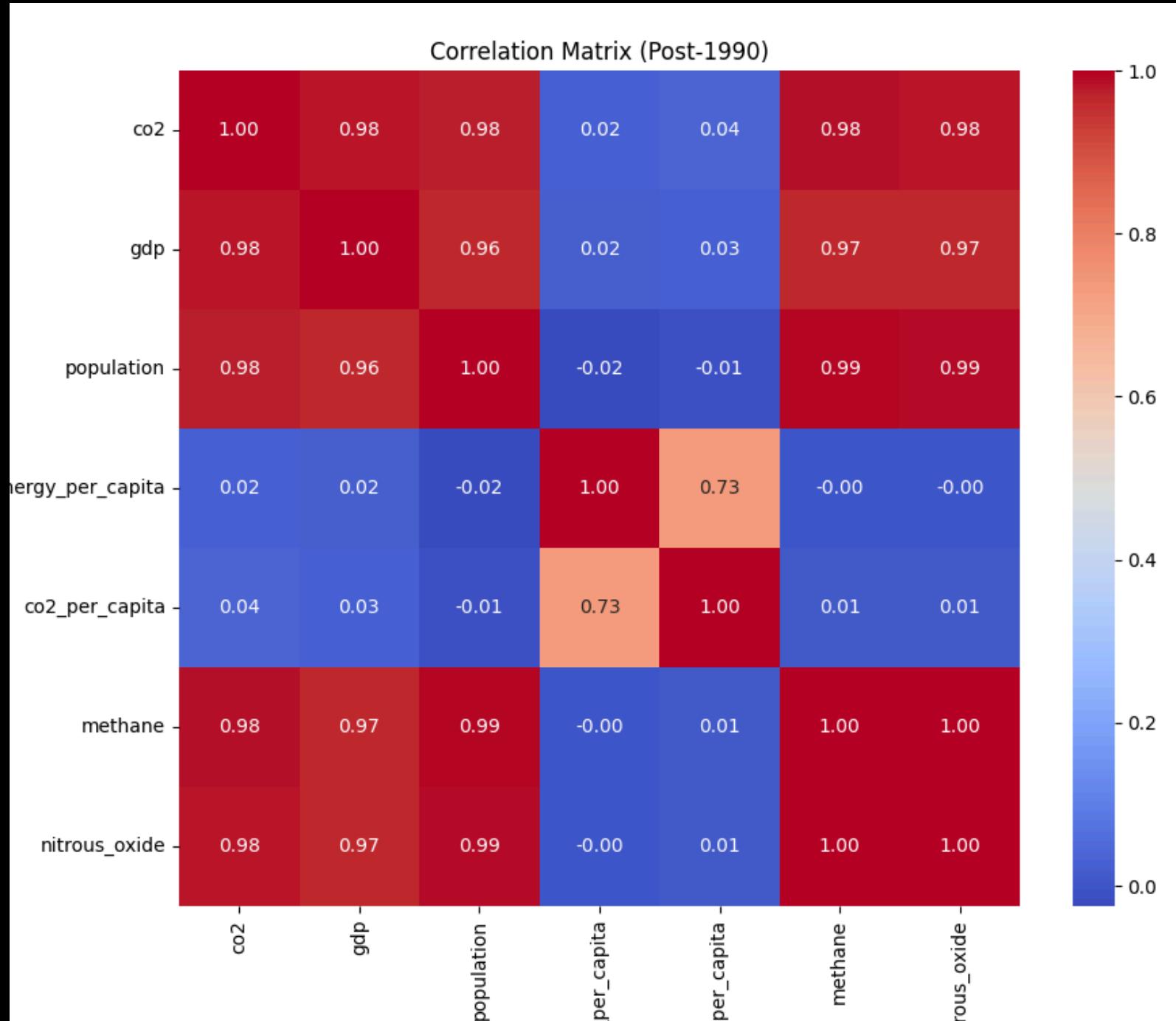
Korelasyon matrisi, emisyonlar ve çeşitli sosyoekonomik göstergeler arasındaki ilişkilerin gücünü ve yönünü ortaya koymaktadır.

Temel Bulgular:

1. GSYİH-Emisyon ilişkisi ($r = 0.95+$): Küresel düzeyde ekonomik çıktı ve CO2 emisyonları arasında çok güçlü pozitif korelasyon mevcuttur.

2. Nüfus-Emisyon Korelasyonu ($r = 0.85+$): Nüfus büyüklüğü toplam emisyonlarla güçlü şekilde ilişkilidir,

İstatistiksel Korelasyon Analizi



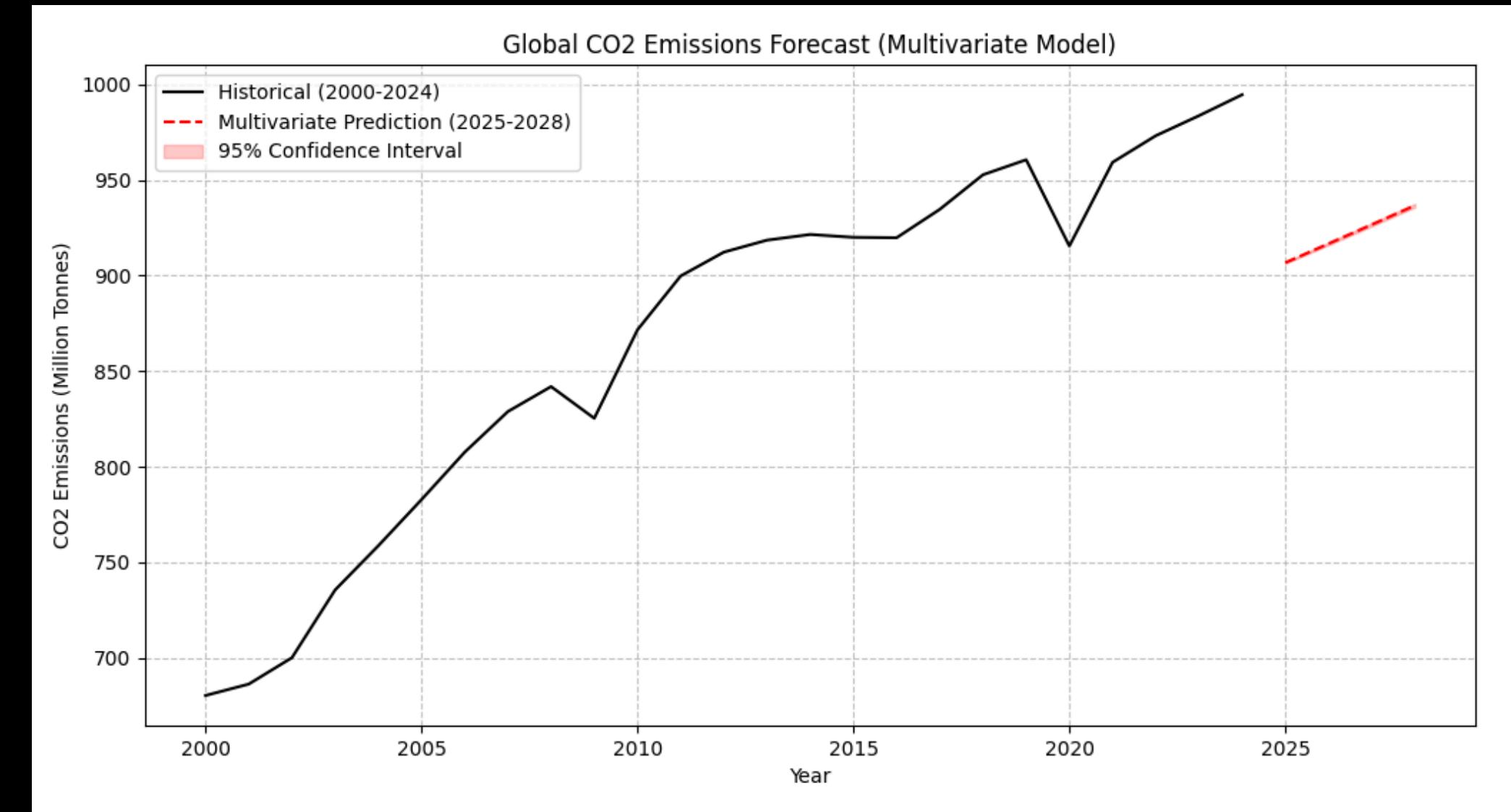
3. Enerji-Emisyon Bağlantısı ($r = 0.90+$): Birincil enerji tüketimi belki de emisyonların en güçlü öngörücüdür, iklim azaltımında enerji sistemlerinin merkezi rolünü vurgulamaktadır.

4. Ayrıştırma Kanıtları: Gelişmiş ekonomiler (ABD, Almanya) son yıllarda azalan korelasyon gücü göstermeye olup, ekonomik büyumenin emisyon büyumesinden başarılı kısmi ayırtılmasını işaret etmektedir.

Tahmine Dayalı Modelleme ve Projeksiyonlar

KÜRESEL EMİSYON TAHMİNİ(2025-2028)

Çok değişkenli regresyon modelleme ve trend analizine dayanarak, büyük politika müdahaleleri veya teknolojik atılımlar olmaksızın küresel CO₂ emisyonlarının 2028'e kadar kademeli artışını sürdürmesi öngörmektedir.

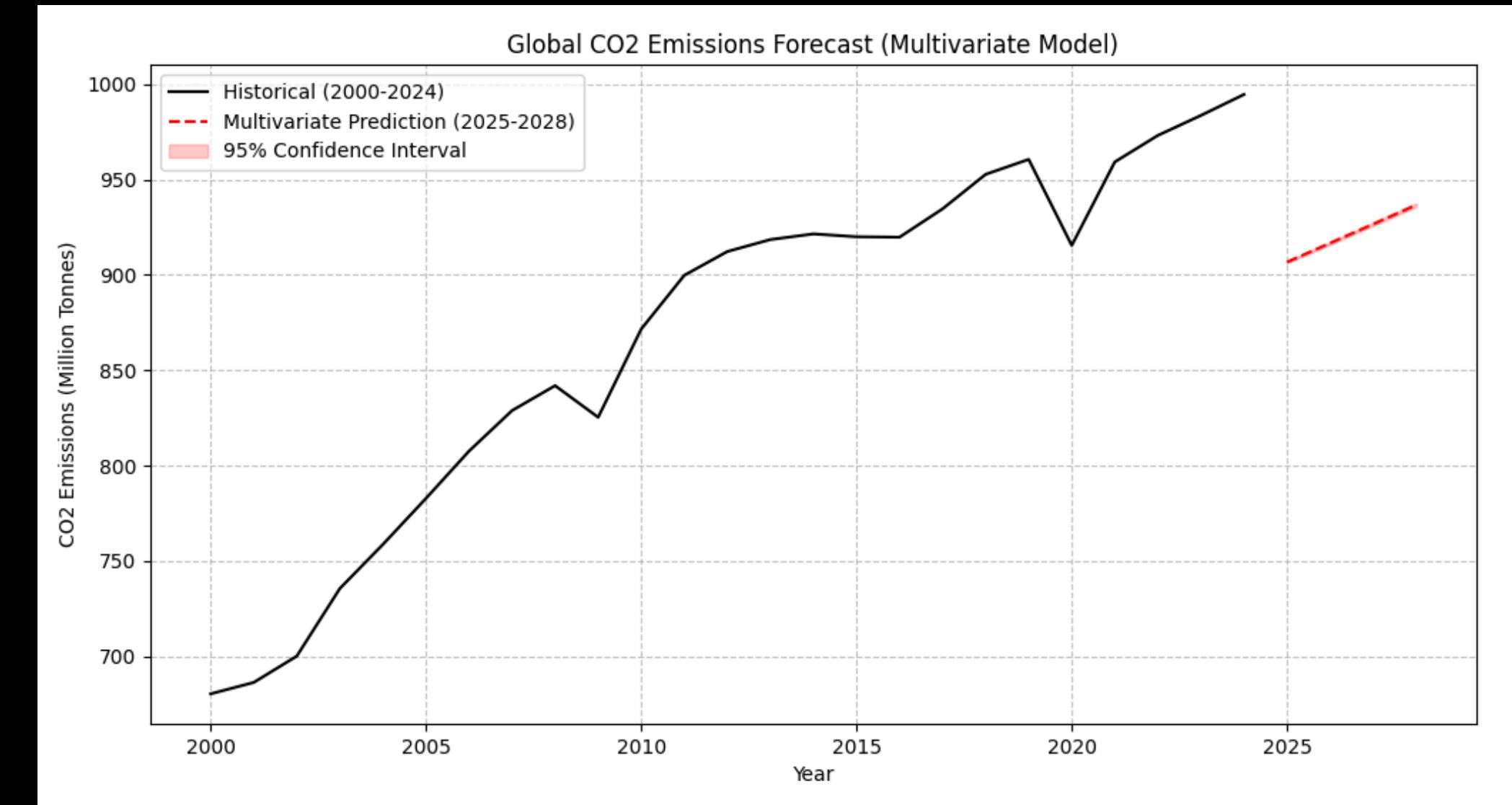


Tahmine Dayalı Modelleme ve Projeksiyonlar

KÜRESEL EMİSYON TAHMİNİ(2025-2028)

Tahmin metodolojisi:

Tahmin, sürücü değişkenler (GSYİH, nüfus, enerji) için polinom trend ekstrapolasyonunu, gelecekteki emisyonları tahmin etmek üzere eğitilmiş bir regresyon modeliyle birleştirir. Güven aralıkları, tarihsel tahmin hatalarına dayanarak hesaplanmıştır.

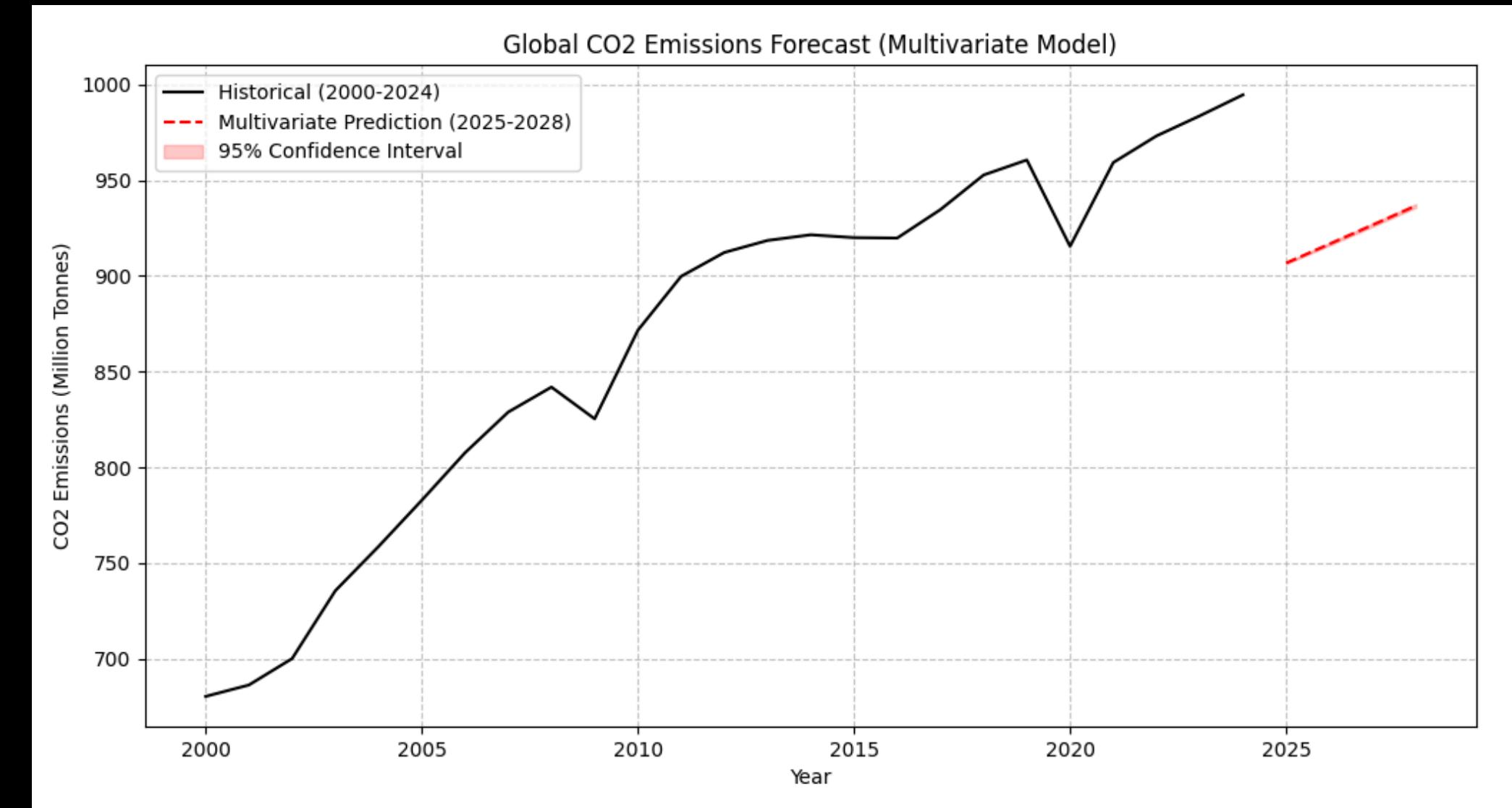


Tahmine Dayalı Modelleme ve Projeksiyonlar

KÜRESEL EMİSYON TAHMİNİ(2025-2028)

Temel Projeksiyonlar:

- 2025: 2024 seviyelerinin üzerinde ılımlı %1-2 artış
- 2026-2028: Devam eden kademeli büyümeye, mevcut yenilenebilir enerji genişlemesi devam ederse plato potansiyeli
- Kümülatif 2025-2028: Yaklaşık 145-155 milyar ton ilave CO₂

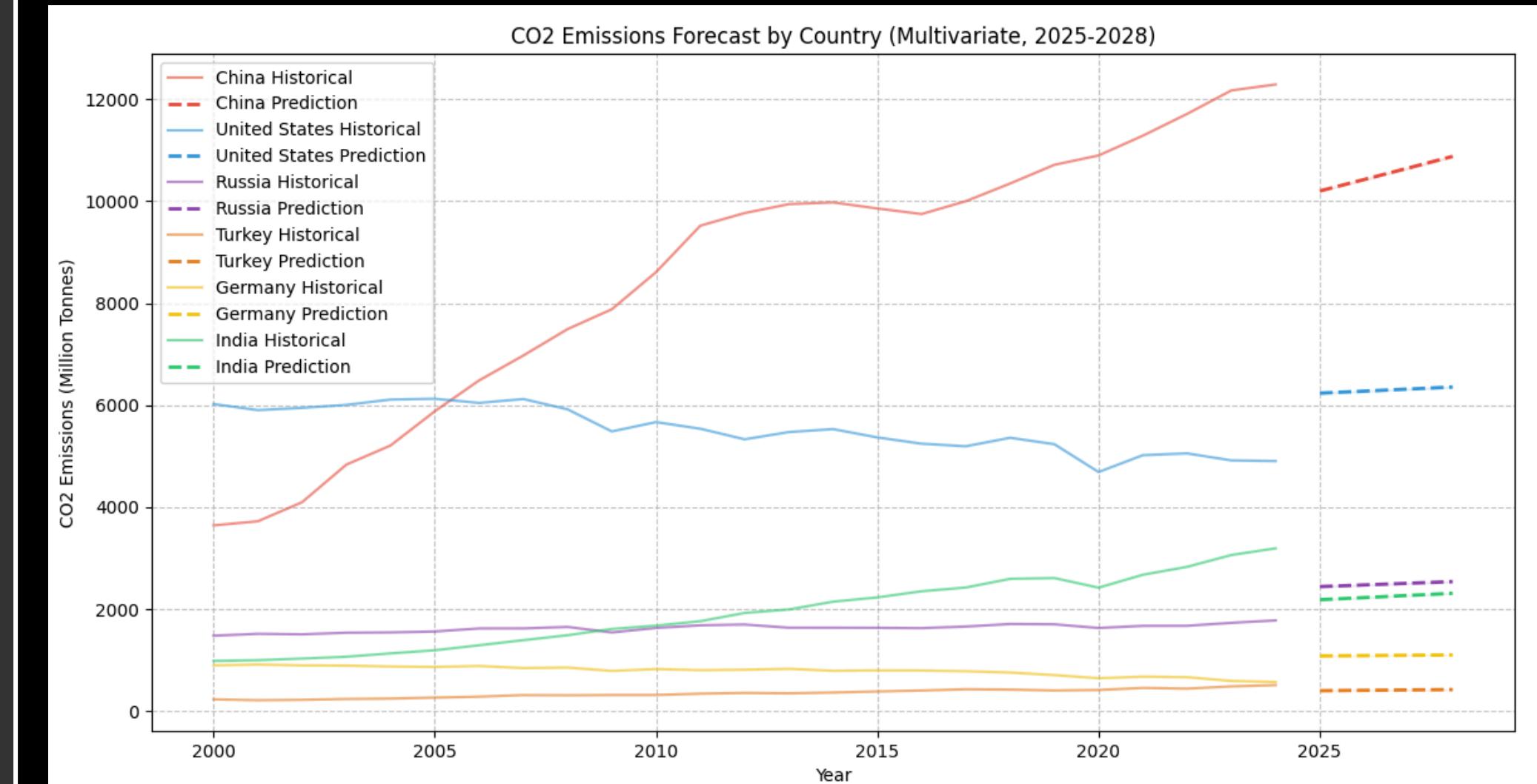


Tahmine Dayalı Modelleme ve Projeksiyonlar

Bireysel ülke tahminleri farklı yönelimleri ortaya koymaktadır:

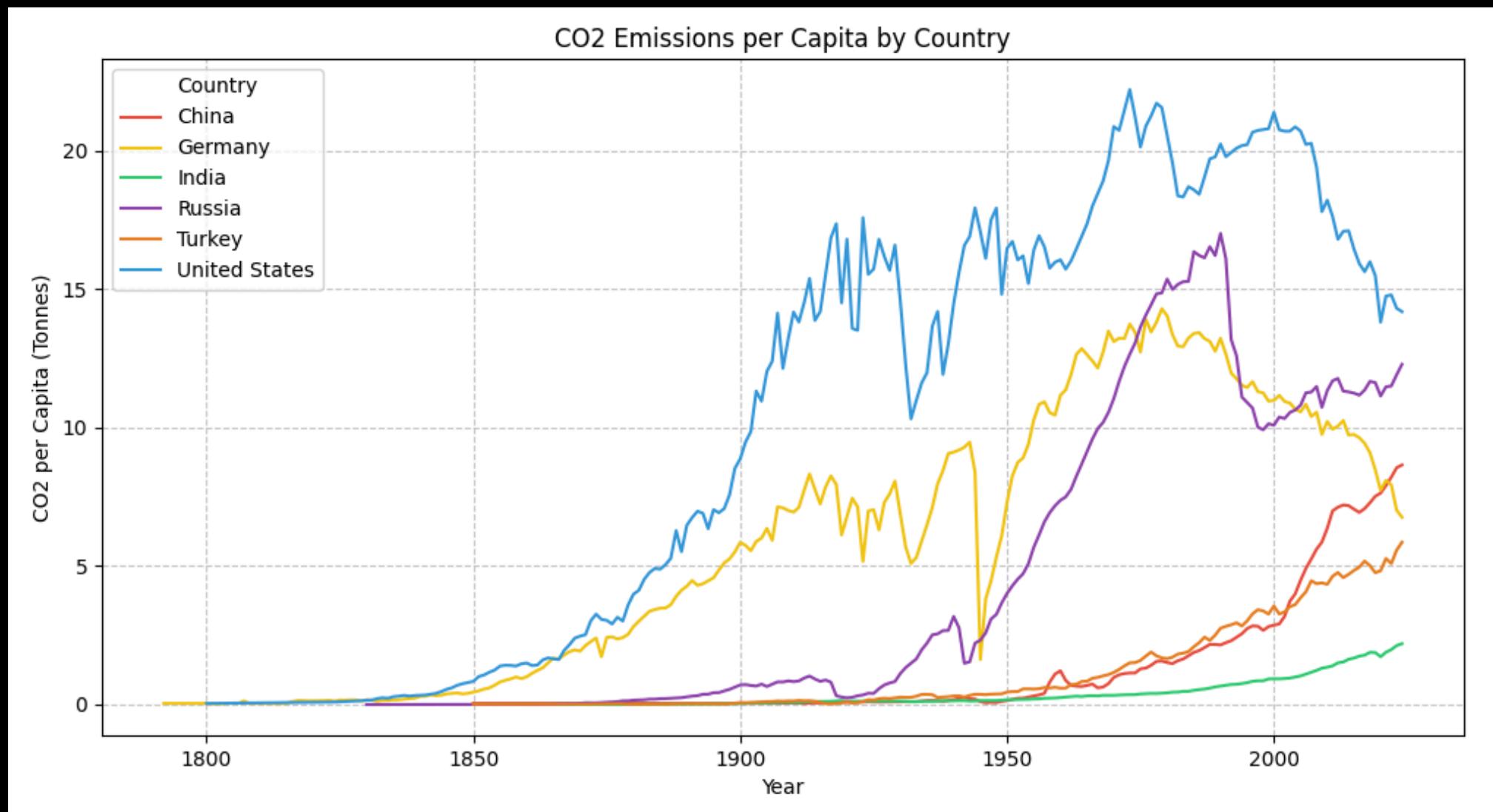
- Çin: Yenilenebilir kapasite kömürü dengeledikçe potansiyel zirveye ulaşılması ve ardından düşüşün başlaması öngörmektedir.
- Hindistan: Kalkınma ilerledikçe devam eden büyümeye beklenmekte, ancak büyümeye oranının yavaşlaması öngörmektedir.
- ABD: Kömürden gaza ve yenilenebilirlere geçişin devam etmesiyle kademeli bir düşüş öngörmektedir.
- Almanya: Kömürden çıkışla birlikte güçlü düşüş eğiliminin hızlanması beklenmektedir.
- Rusya: İlmlî varyasyonlarla nispeten istikrarlı emisyonlar öngörmektedir.
- Türkiye: Yenilenebilir yatırımlar hızlanırsa, daha hızlı azalma potansiyeliyle birlikte İlmlî büyümeye öngörmektedir.

ÜLKE DÜZEYİNDE PROJEKSİYONLAR



İstatistiksel Korelasyon Analizi

KİŞİ BAŞI EMİSYON ANALİZİ



Kişi başı emisyonlarının incelenmesi, bireysel sorumluluk ve kalkınma adaleti konusunda önemli perspektif sağlamaktadır:

Mevcut Kişi Başı Emisyonlar (2024 tahminleri):

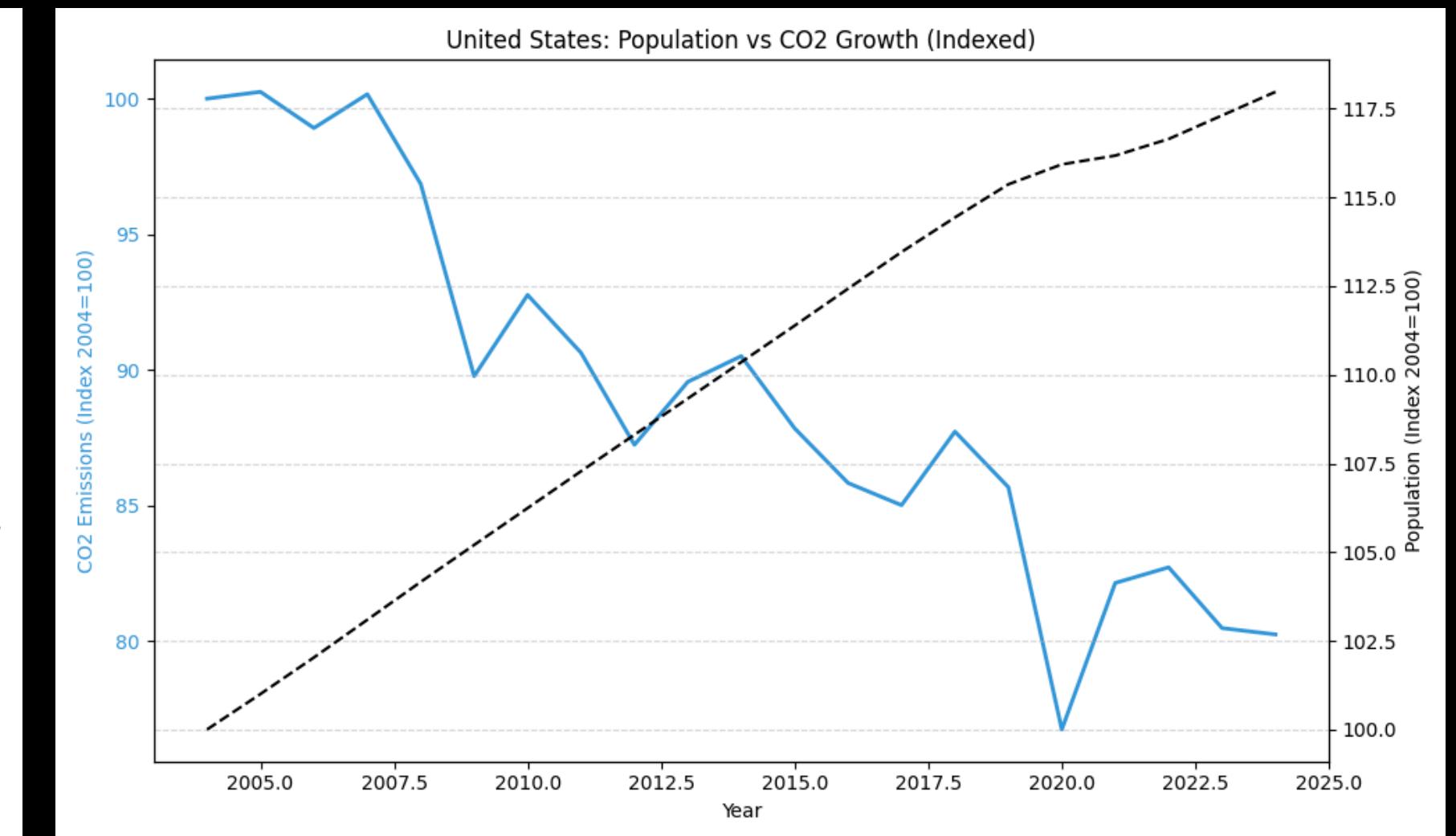
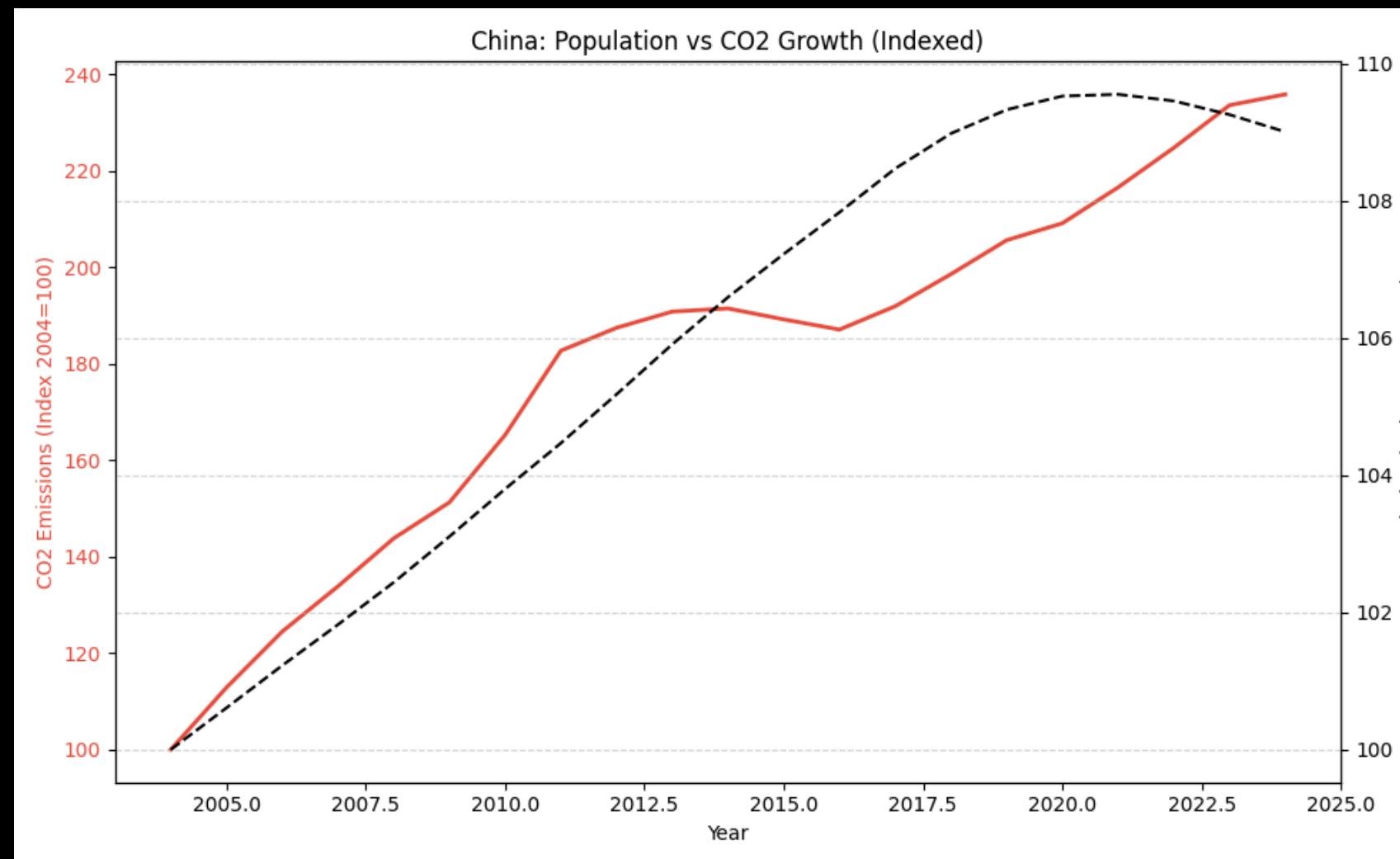
- Amerika Birleşik Devletleri: ~15 ton CO2/kİŞİ (buyuk ekonomiler arasında en yüksek)
- Rusya: ~12 ton CO2/kİŞİ
- Almanya: ~8 ton CO2/kİŞİ (düşüste)
- Çin: ~8 ton CO2/kİŞİ (artık AB ortalamasını asıyor)
- Türkiye: ~5 ton CO2/kİŞİ
- Hindistan: ~2 ton CO2/kİŞİ (en dusuk, kalkınma aşamasını yansitmaktadir)

Politika Etkileri:

Kişi başı emisyonlardaki geniş eşitsizlik, iklim azaltımında adil yük paylaşımı hakkında önemli sorular ortaya koymaktadır.

Demografik Dinamikler ve Emisyonlar

Nüfus büyümesi ile emisyonlar arasındaki ilişki, farklı kalkınma modellerini ve politika seçimlerini yansıtarak Ülkeler arasında dramatik biçimde değişmektedir



Enerji Karması ve Karbon

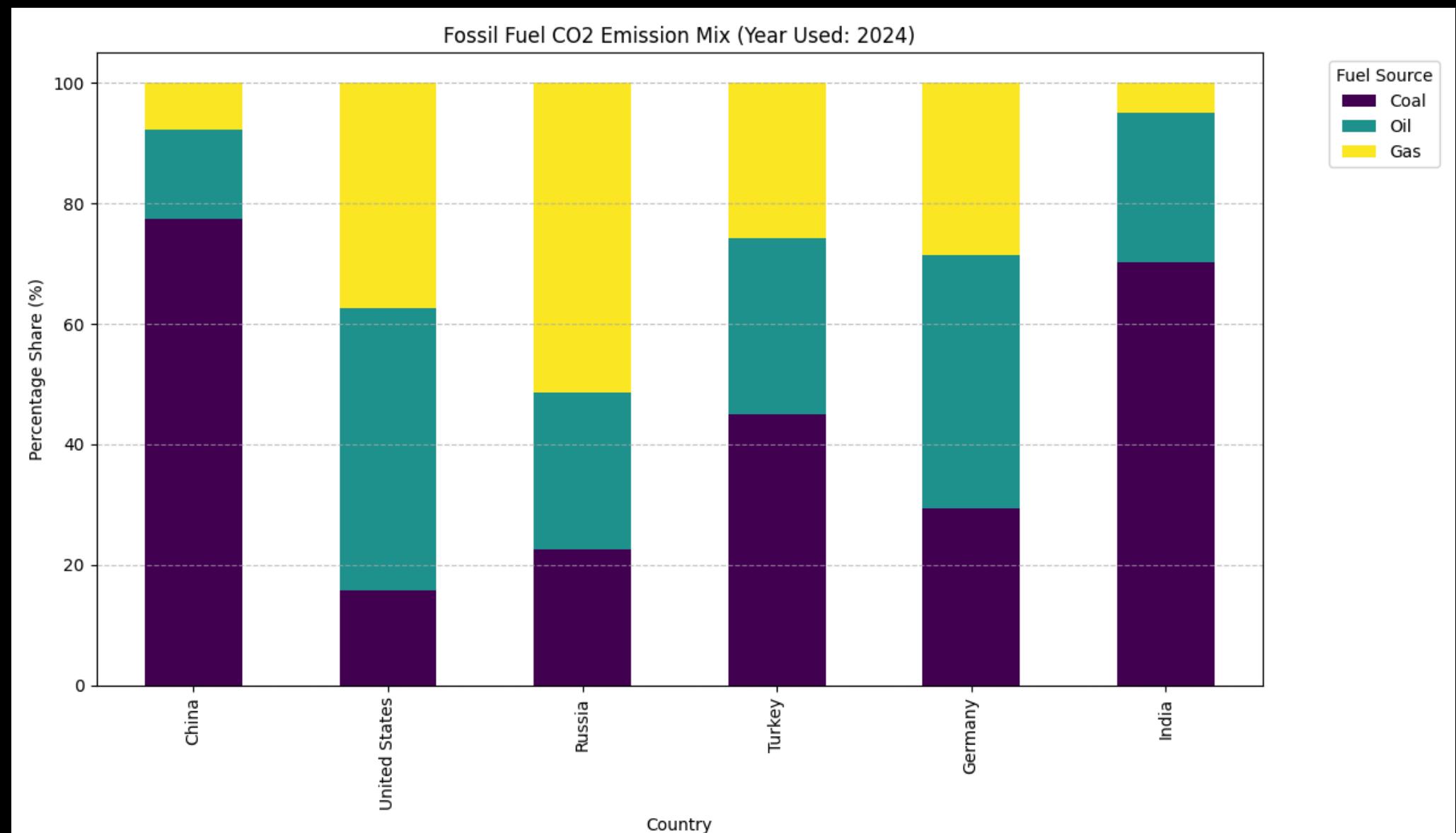
Fosil yakıt tüketiminin bileşimi, azaltım stratejilerini bilgilendiren farklı enerji profillerini ortaya koymaktadır:

Kömür-baskın ülkeler (Çin, Hindistan):

Kömür, en büyük emisyon kaynağını temsil etmektedir (fosil CO₂'nin %60–70'i). Kömür, endüstriyel süreçlere ve enerji üretimine derinden gömülü olduğu için bu ülkeler karbonsuzlaşmada en büyük zorluklarla karşı karşıyadır. Ancak her ikisi de hızlı bir yenilenebilir enerji konuşlandırması yaşamaktadır.

Yoğunluğu

FOSİL YAKIT BAĞIMLILIĞI ANALİZİ



Enerji Karmaşımı ve Karbon

Petrol-baskın ülkeler (ABD):

Ulaşım sektöründe petrol tüketimi birincil zorluktur. Elektrikli araç benimsemesi ve verimlilik standartları temel kaldırılacaktır.

Gaz-baskın ülkeler (Rusya):

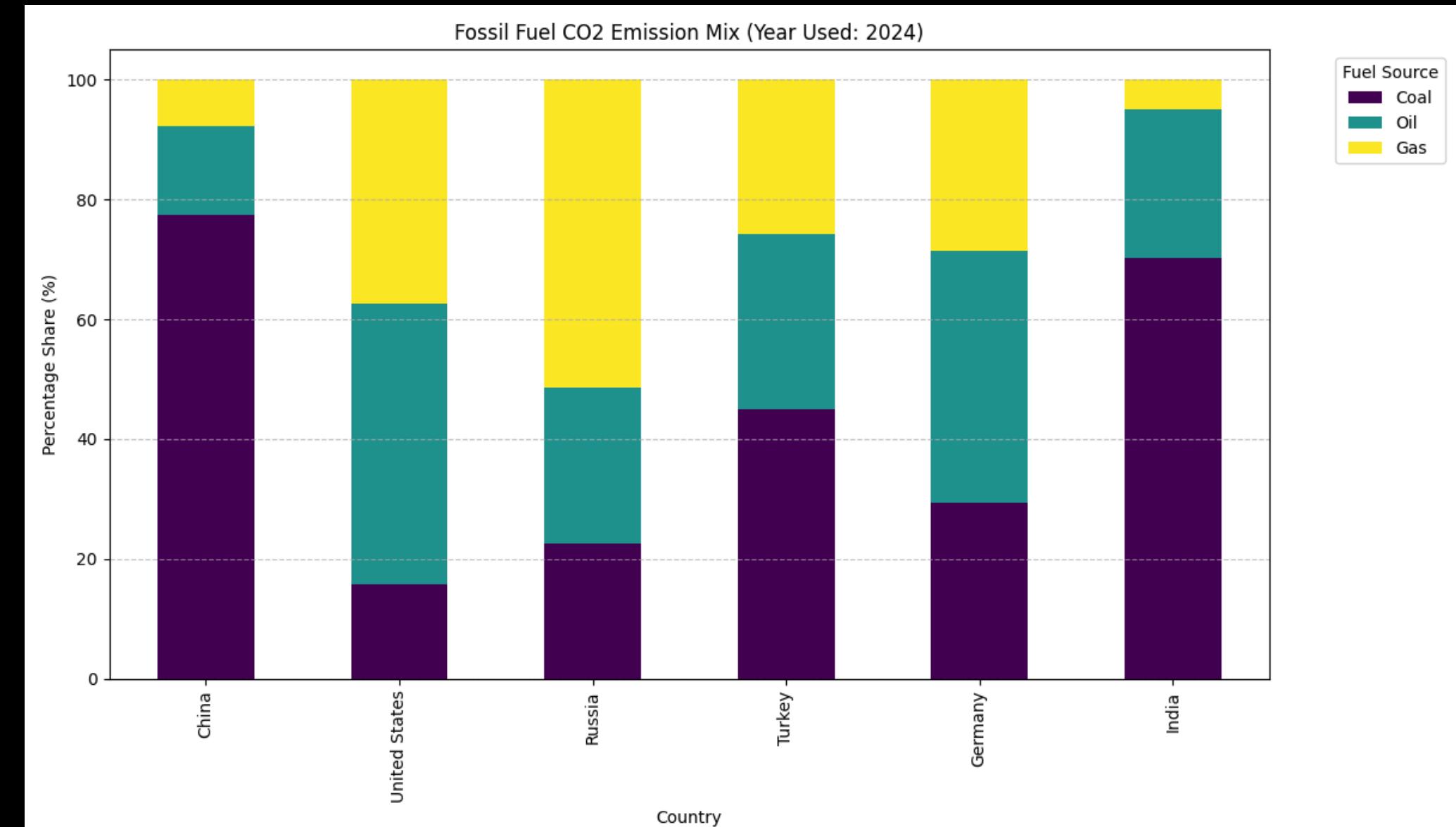
Doğal gaz, kömüre kıyasla daha temiz olmakla birlikte yine de önemli emisyonlar üretmektedir. Rusya'nın ekonomisi gaz ihracatına büyük ölçüde bağımlıdır ve bu durum karmaşık teşvik yapıları oluşturmaktadır.

Karma profiller (Almanya, Türkiye):

Bu ülkeler, her üç fosil yakıtı da önemli miktarda kullanmakta olup enerji üretimi, sanayi, ulaşım ve ısıtmayı kapsayan bütüncül stratejiler gerektirmektedir.

Yoğunluğu

FOSİL YAKIT BAĞIMLILIĞI ANALİZİ



Enerji Karmaşımı ve Karbon

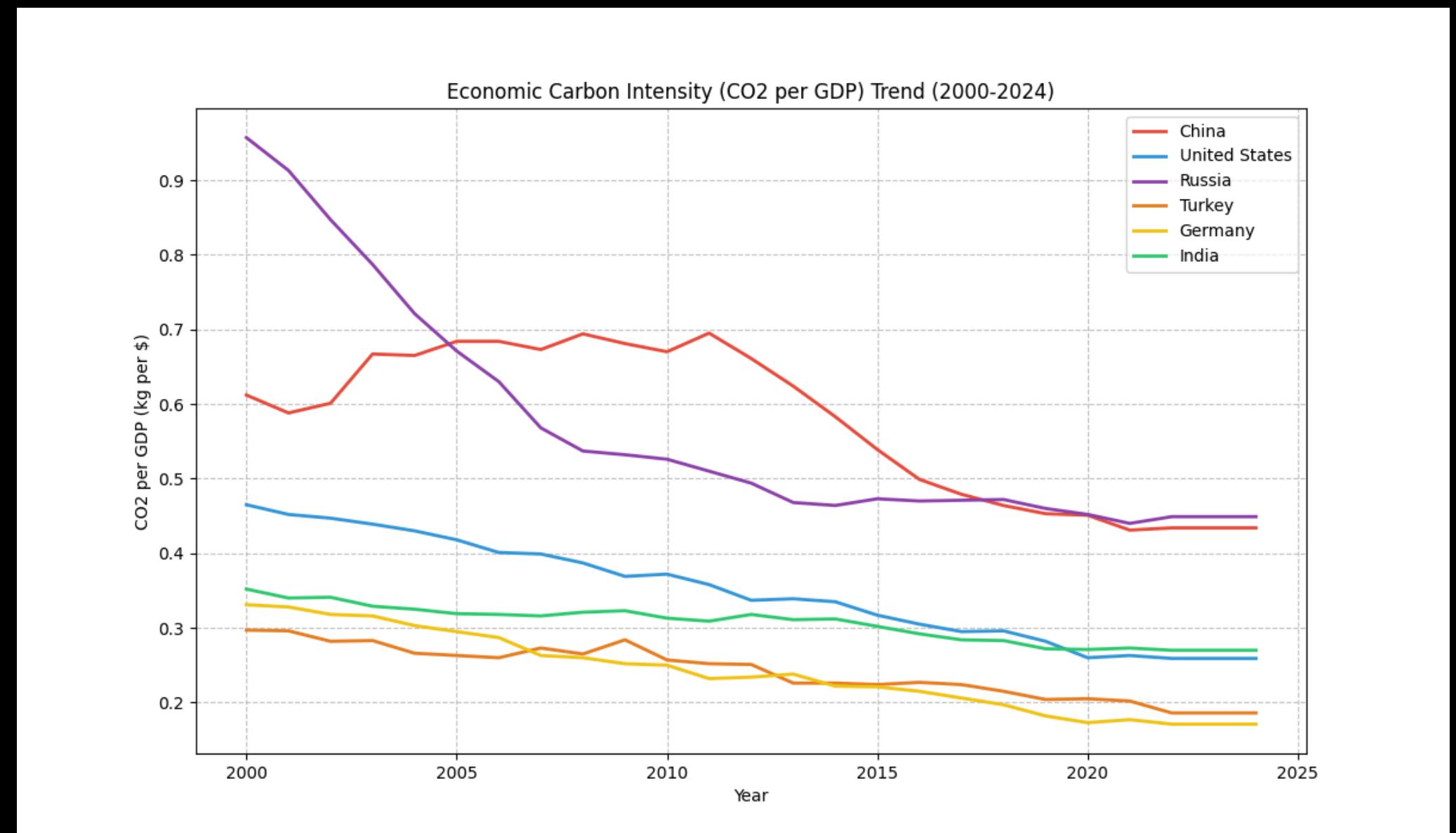
Karbon yoğunluğu (birim GSYİH başına CO₂ emisyonları), ekonomik faaliyetin “yeşillliğini” ölçer. Azalan yoğunluk, ekonomik büyümeyenin emisyonlardan başarılı bir şekilde ayırtırıldığını gösterir:

Kayda değer trendler:

- Küresel karbon yoğunluğu 1990'dan bu yana yaklaşık %35 azalmıştır.
- Çin, en hızlı iyileşme oranını göstermekte olup yoğunluk, büyük emisyon artışına rağmen %60'ın üzerinde düşmüştür.
- Gelişmiş ekonomiler, düşük ve istikrarlı yoğunluk seviyelerini korumaktadır.
- Enerji verimliliği ve temiz enerji konuşlandırması yoluyla daha fazla yoğunluk iyileştirmesi mümkündür ve gereklidir.

Yoğunluğu

KARBON YOĞUNLUĞU TRENDLERİ



Politika Önerileri

ÇİN:

- Enerji güvenliğini sağlamak için kömür enerji santrallerini aşamalı olarak kaldırmayı hızlandırın.
- Büyük ölçekli yenilenebilir enerji konuşlandırmasını sürdürün (güneş, rüzgâr).
- Elektrikli araç benimsenmesini ve şarj altyapısını genişletin.
- Karbon pazarı mekanizmalarını ve fiyatlandırmayı güçlendirin.

HİNDİSTAN:

- Kömür genişlemesi yerine yenilenebilir enerjiye sıçramayı önceliklendirin.
- Agresif güneş ve rüzgâr hedefleri uygulayın.
- Biyokütle yakmayı azaltmak için temiz pişirme çözümleri geliştirin.
- Yenilenebilir entegrasyonu için şebeke altyapısına yatırım yapın.

AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ:

- Federal iklim politikasını ve emisyon standartlarını güçlendirin.
- Kömür enerji santrallerinin emekliye ayrılmasını hızlandırın.
- Elektrikli araç teşviklerini ve altyapısını genişletin.
- Azaltılması zor sektörler için karbon yakalama teknolojilerine yatırım yapın.

Politika Önerileri

ALMANYA:

- 2030'a kadar kömürden çıkışı tamamlamalı
- Yenilenebilir enerji kapasitesini ve şebeke ara bağlantılarını genişletmeli
- Endüstriyel uygulamalar için yeşil hidrojen geliştirmeli
- AB iklim politikasında liderliği sürdürmeli

RUSYA:

- Ekonomiyi fosil yakıt ihracat bağımlılığından çeşitlendirmeli
- Yerli enerji verimliliğini iyileştirmeli (önemli potansiyel)
- Petrol ve gaz operasyonlarından metan emisyonlarını azaltmalı
- Uygun bölgelerde yenilenebilir kaynaklar geliştirmeli

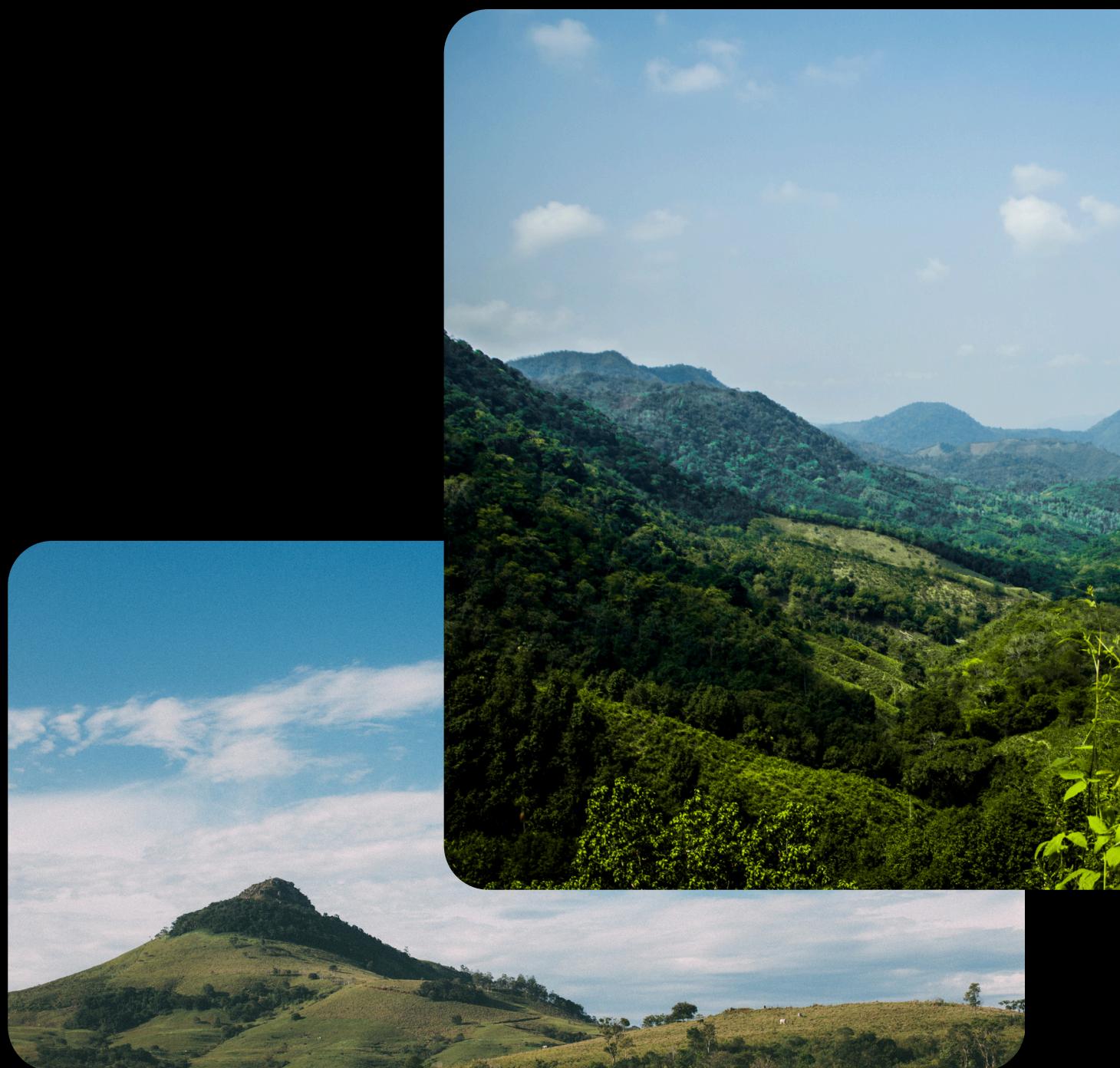
TÜRKİYE:

- Yerli yenilenebilir enerji gelişmesini hızlandırmalı (mükemmel güneş/rüzgar potansiyeli)
- Enerji güvenliği için ithal fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmalı
- Karbon fiyatlandırma mekanizmaları uygulamalı
- Bina enerji verimliliği standartlarını iyileştirmeli

Sonuçlar

Bu kapsamlı analiz birkaç temel sonuç vermektedir:

1. Emisyonlar artmaya devam ediyor: Artan farkındalık ve politika çabalarına rağmen, küresel CO₂ emisyonları artmayı sürdürmekte olup ağırlıklı olarak gelişmekte olan ekonomiler tarafından yönlendirilmektedir.
2. Farklı ulusal yönelimler: Veriler, emisyonları başarıyla azaltan gelişmiş ekonomiler (ABD, Almanya) ile hâlen emisyon artışı yaşayan gelişmekte olan ekonomiler (Çin, Hindistan, Türkiye) arasında belirgin bir ayırım olduğunu ortaya koymaktadır.
3. Ayrıştırma mümkündür: Bazı ülkeler, emisyonlar azalırken ekonomik büyümeyenin devam edebileceğini göstererek yeşil büyümeye stratejileri için kanıta dayalı bir konsept sunmaktadır.
4. Enerji sistemi dönüşümü merkezîdir: Analiz, özellikle kömür olmak üzere fosil yakıt yanmasının baskın emisyon kaynağı olduğunu doğrulamaktadır.



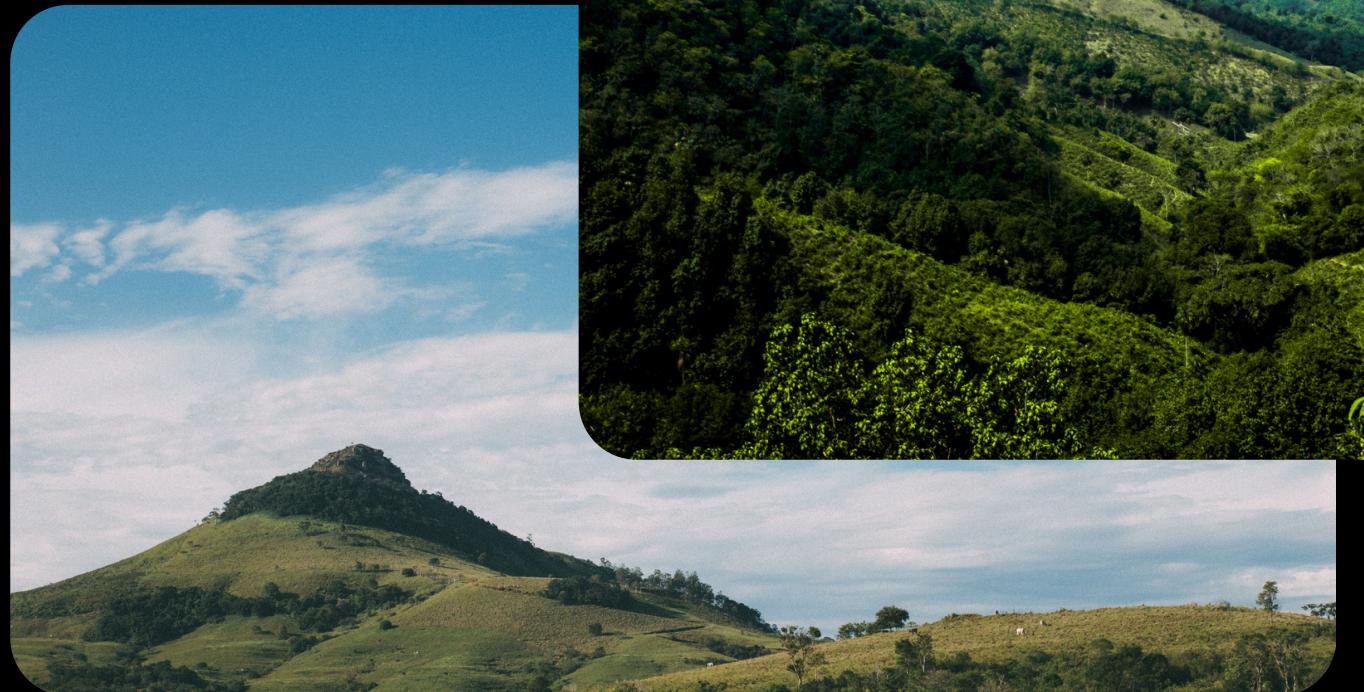
Sonuçlar

Bu kapsamlı analiz birkaç temel sonuç vermektedir:

5.Tahmine Dayalı Modeller Planlama Değeri Sağlar: Tahminler belirsizlik taşımamasına rağmen, zaman güvenli modelleme yaklaşımıları politika planlaması için yararlı rehberlik sağlayabilir.

6.Görselleştirme Anlayışı Arttırır: İnteraktif 3D görselleştirmeler karmaşık emisyon verilerini daha geniş kitlelere erişilebilir kılmaktadır.

7.İklim eylemi aciliyeti: Bu analiz boyunca iklim eyleminin aciliyeti vurgulanmaktadır. Temiz enerji konuşlandırmasını hızlandırmak, enerji verimliliğini iyileştirmek ve fosil yakıtları aşamalı olarak ortadan kaldırmak için koordineli küresel çabalar olmaksızın, emisyon eğilimleri iklim değişikliğinin etkilerini ağırlaştırmaya devam edecektir.



-
1. Our World in Data - CO2 ve Sera Gazı Emisyonları
Veri Seti
Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2024)
<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
2. Küresel Karbon Projesi - Yıllık Karbon Bütçesi
Raporları
Friedlingstein ve ark. (2023)
<https://www.globalcarbonproject.org/>
3. IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6)
Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (2021-2023)
4. Uluslararası Enerji Ajansı - Dünya Enerji Görünümü
IEA (2024)
5. Dünya Bankası Kalkınma Göstergeleri Veri tabanı
<https://data.worldbank.org/>

Kaynaklar ve Veri Kaynakları

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION