

## Türkiye’de Enerji Üretiminde Fosil Yakıt Kullanımı ve CO2 Emisyonu İlişkisi: Bir Senaryo Analizi

Hakan Çetintaş<sup>1</sup>, İ. Murat Bicil<sup>2</sup>, Kumru Türköz<sup>3</sup>

### Özet

Elektrik üretiminde fosil yakıtların kullanımı CO2 emisyonlarının artmasında önemli etkenlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de 1986-2013 yılları için yıllık veriler ele alınarak fosil yakıtlarla CO2 emisyonları arasındaki uzun dönemli ilişkiden yola çıkılarak üretimde fosil yakıt seçimi ile ilgili farklı bileşimlere göre oluşturulan senaryolara dayalı CO2 emisyonu öngörülere yapılmıştır. Farklı üretim senaryolarına göre emisyondaki değişimleri hesaplamak için Türkiye’de elektrik üretimi Box-Jenkins metodolojisi ile tahmin edilmiş ve üretim projeksiyonu kullanılarak farklı yakıt bileşimi senaryoları altında CO2 emisyonları hesaplanmıştır. Buna göre elektrik üretiminde mevcut durumun devamı, kömüre alternatif olarak doğal gaz kullanımı, kömürden yenilenebilir enerjiye geçiş gibi alternatif senaryoların CO2 emisyonunu nasıl değiştirdiği üretim projeksiyonuna bağlı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** CO2 Emisyonları, Enerji Üretimi, Fosil Yakıtlar

**JEL Kodları:** Q2, Q4, Q47

### Abstract

The use of fossil fuels in electricity generations is a major factor that increases CO2 emissions. In this paper, annual data between 1986-2013 used to predict CO2 emissions. Predictions based on alternative generation scenarios with different fuel combinations and the long run relation between fossil fuels and CO2 emissions. Electricity generation is predicted by using Box-Jenkins methodology to accounting emission changes in Turkey. Then generation predictions used for accounting CO2 emissions with different fuel combination scenarios. Accordingly, how the CO2 emissions changes under alternative scenarios that the continuation of the current situation in electricity generation and the use of natural gas and renewable resources as an alternative to coal has been evaluated depending on generation forecast.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Production, Fossil Fuels

**JEL Codes:** Q2, Q4, Q47

<sup>1</sup> Economics Department, Faculty of Economics and Administrative Science, Kyrgyzstan-Turkey Manas University, Kyrgyzstan. [cetintash@yahoo.com](mailto:cetintash@yahoo.com)

<sup>2</sup> İktisat Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye. [muratbicil@balikesir.edu.tr](mailto:muratbicil@balikesir.edu.tr)

<sup>3</sup> İktisat Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye. [kumru.turkoz@balikesir.edu.tr](mailto:kumru.turkoz@balikesir.edu.tr)

## 1. Giriş

Elektrik enerjisi ikamesi güç olan ve günlük yaşamda hemen her alanda ihtiyaç duyulan özellikle üretim sürecinde önemli bir girdi niteliği taşıyan bir enerji türüdür. Bu bağlamda ekonomik gelişmeye bağlı olarak talebi her geçen gün artan elektrik enerjisinin her geçen gün daha fazla üretilmesi gerekmektedir. Bunun yanında elektrik enerjisi depolanmadığı için üretildiği anda tüketilmesi gereken özel bir niteliğe sahiptir. Elektrik üretiminde fosil yakıt, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer enerji kullanılmaktadır. Üretim yöntemine ve kullanılan kaynağa göre elektrik üretimi neticesinde karbondioksit salınımı gerçekleşmektedir.

Karbondioksit salınımlarında meydana gelen artışlar tüm ülkeler için ciddi tehditler oluşturan iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi çevresel problemlere yol açmaktadır. Küresel olarak tüm dünyada hissedilen bu problemlerin temel sebebi; üretim ve tüketim için gerekli bütün enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması yerine fosil yakıtlardan sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların yaygın olarak kullanılması, sera gazlarının yoğunluğunu artırmakta; artan sera gazları ise sera etkisine yol açarak yer kürenin karbon tutma kapasitesini azaltmakta ve atmosferin doğal dengesini bozmaktadır. Karbondioksit emisyonlarının bu olumsuz etkisini ortadan kaldırmak mümkün olmasa da azaltmak amacıyla; üretimden tüketime gerekli olan bütün enerjinin fosil yakıtlardan değil de yeni teknolojilerden ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması gerekmektedir.

Bu kapsamda çalışmada; Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtlar ile CO<sub>2</sub> salınımları arasındaki ilişkiden yola çıkılarak alternatif üretim senaryoları altında 2014-2023 döneminde CO<sub>2</sub> salınımlarının izleyeceği seyir araştırılmaktadır. Bu bağlamda elektrik üretimi CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisini konu alan literatür incelenmiş ve ardından gelecekte elektrik üretimi alternatiflerine bağlı olarak salınımlarda meydana gelen değişiklikleri tespit edebilmek için öncelikle Türkiye’de gerçekleştirilen elektrik üretimi 1986-2013 dönemi elektrik üretim verileri kullanılarak 2014-2023 dönemi için üretim değerleri Box-Jenkins metodolojisiyle tahmin edilmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonları ile üretimde kullanılan fosil yakıtlar arasındaki uzun dönemli ilişki ve tahmin edilen üretim verilerinden hareketle üç alternatif üretim senaryosu için CO<sub>2</sub> emisyonları elde edilmiştir. Üç alternatif üretim senaryosundan ilki Türkiye’deki mevcut üretim yapısının aynen devam edeceği Senaryo-1, üretimde kömürden doğalgaza doğru bir geçişin gerçekleşeceğini varsayıldığı Senaryo-2 ve üretimde kömürden yenilenebilir enerjiye geçişin gerçekleşeceğini varsayıldığı Senaryo-3 şeklinde belirlenmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde ise alternatif senaryolara ilişkin yapılan emisyon tahminlerine dayalı değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. Literatür

Say ve Yücel (2006) çalışmalarında; 1970 ve 2002 yılları arasında Türkiye’nin ekonomik büyüme ve artan nüfusuyla paralel olarak gelişen toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonları ve toplam enerji tüketimi arasında güçlü bir ilişki olduğu ve toplam enerji tüketiminin nüfus ve büyüme oranı ile paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada 2015 yılı için Ulusal Kalkınma Planında yer alan büyüme hedeflerinin bir fonksiyonu olarak toplam enerji tüketimi ve enerji tüketiminin bir fonksiyonu olarak CO<sub>2</sub> emisyonları tahminlenmiştir. Toplam CO<sub>2</sub> emisyonları Uluslararası İklim Değişikliği Paneli metodu ile de hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre iklim değişikliği paneli metodu ile yapılan tahminlerin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Köne ve Büke (2010) çalışmalarında; enerji ilişkili CO<sub>2</sub> salınımlarının tahminini modellemek amacıyla trend analizi yaklaşımını kullanmışlardır. 1991-2007 yıllarının ele alındığı çalışmada 25 ülke için toplam CO<sub>2</sub> emisyonları belirlenmiştir. Regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamsız olan ülkeler analizden çıkarılmış ve istatistiksel olarak anlamlı 11 ülke için üç temel senaryo oluşturulmuştur. Yüksek ekonomik büyümeli baz senaryo, mevcut durum senaryosu ve düşük ekonomik büyümeli baz senaryo altında 2015 ve 2030 yılları için tahminlemeler yapılmış ve ulaşılan sonuçların söz konusu ülkelerde kabul edilebilir aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.

Lin, Liou ve Huang (2011) yaptıkları çalışmada; Tayvan'da 2010 ve 2012 yılları arasında CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artışı gri tahminleme yöntemi ile analiz etmişlerdir. 1997'den 2006'ya kadar CO<sub>2</sub> emisyonlarında %47 artış olan Tayvan'da tahmin sonuçlarına göre, gelecek üç yıl içinde emisyonların mevcut durumdan daha fazla artacağı öngörülmüştür. Henüz Kyoto Protokolünü imzalamayan ve Birleşmiş Milletler üyesi olmayan Tayvan için CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki ciddi artış enerji tüketiminin azaltılması yolunda politikalar izlenmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Pao ve Tsai (2011) çalışmalarında; Brezilya'da 1980-2007 döneminde CO<sub>2</sub> emisyonları, enerji tüketimi ve çıktı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Gri tahminleme yönteminin kullanıldığı çalışmada 2008-2013 dönemleri için tahminleme yapılmıştır. Tahmin sonuçları, uzun dönemde emisyonların hem enerji tüketimine hem de çıktıya karşı inelastik olduğunu, ancak enerjinin çıktıya oranla emisyonlar üzerinde daha belirleyici olduğunu göstermiştir. Nedensellik sonuçlarına göre ise gelir, enerji tüketimi ve emisyonlar arasında iki yönlü ve güçlü bir nedensellik ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Wang, Nie ve Shi (2011) çalışmalarında; Çin'in gelecekteki birincil enerji talebi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını analiz etmişlerdir. IPAT modelinin kullanıldığı çalışmada düşük karbon senaryosuna göre, sanayileşmeyle birlikte 2020 yılında birincil enerji talebinin 4,48 milyar ton ve CO<sub>2</sub> emisyonunun 10,58 milyar ton olacağı, toplam GSMH'nin ise mevcut durum senaryosu ile karşılaştırıldığında 8.26 Yuan azalacağı tespit edilmiştir. İki senaryo arasında enerji talebinin yapısında büyük farklılıklar olmadığı gözlemlenmiş ancak düşük karbonlu ekonomiye geçmek için düşük karbonlu senaryonun baz alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Pao, Fu ve Tseng (2012) yaptıkları çalışmada; Çin'de CO<sub>2</sub> emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan gri tahminleme (Nonlinear Grey Bernoulli Model- NGBM) metodu ile analiz etmişlerdir. Tahmin sonuçları Çin'de 2011-2020 yılları arasında yıllık emisyonların %4,47, enerji tüketiminin %-0,06 ve reel GSYH büyümesinin %6,67 olacağını göstermiştir. Koentegrasyon test sonuçlarına göre ise, uzun dönemde emisyonların ve reel çıktının inelastik, enerji tüketiminin ise elastik olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonuçları; çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin Çin için geçerli olmadığını ve reel çıktının emisyonlar üzerinde negatif etkisinin olduğunu göstermiştir.

Özer, Görgün ve İncecik (2013); Türkiye elektrik sektöründe CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak amacıyla senaryo analizine dayalı çalışmalarında 2006-2030 yıllarını esas almışlardır. Uzun vadeli enerji alternatifleri planlama sistemi yöntemi (LEAP)'nin kullanıldığı çalışmada mevcut durum senaryosu ve azaltma senaryosu olarak iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. Mevcut durum senaryosu altında CO<sub>2</sub> emisyonları belirgin bir şekilde artarken, azaltım senaryosu uygulandığında elektrik kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının 2006-2030 yılları arasında yıllık %5,8 artacağı ve aynı dönemde elektrik artışlarının %6,6 artacağı öngörülmüştür. Ayrıca çalışmada eğer azaltma senaryosu politikalarla kontrol edilebilirse CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki azalmanın söz konusu dönemde %17,5'i aşabileceği de belirtilmiştir.

Martos, Rodriguez ve Sanchez (2013) yaptıkları çalışmada; İspanya'da 2009-03 ve 2011-04 döneminde fosil yakıt fiyatları, CO<sub>2</sub> fiyatları ve elektrik fiyatlarını çok değişkenli model yardımıyla tahminlemeyi ve ilgili verilerin fiyatlarındaki dalgalanmaları karşılaştırmalı olarak analiz etmeyi hedeflemişlerdir. Tek değişkenli ve çok değişkenli analizin birlikte kullanıldığı çalışmada özellikle elektrik fiyatları için ulaşılan sonuçların kısa ve yakın vadenin sonuçlarıyla tutarlılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca brent petrolün, kömürün ve gaz fiyatları için yapılan iyileştirmenin bu güç piyasaları arasındaki çapraz korelasyona neden olduğu da belirtilmiştir.

Özcan (2016) çalışmasında; Türkiye'de 2013-2017 döneminde yakıt türlerine göre elektrikten kaynaklanan sera gazı emisyonlarını tahminlemiştir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)'nin 5 yıllık elektrik üretim kapasitesi projeksiyonunun baz alındığı çalışmada Türkiye'nin gelecek dönemlerde CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar olacağı öngörülmüştür. Ayrıca çalışmada projeksiyon periyodunun her yılı için fosil yakıtlar tarafından üretilen elektriğe uygulanan karbon vergisinden elde edilen tahmini gelirler hesaplanmış ve bu gelirlerin ekonomiye kaynak yaratacağı belirtilmiştir.

### 3. Veri ve Yöntem

Çalışmada 1986-2013 dönemine ilişkin yıllık zaman serileri kullanılmıştır. Kullanılan zaman serilerine ilişkin birimler, elde edildiği kaynak ve zaman serilerine ilişkin kısaltmalar Tablo-1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1: Değişkenlere İlişkin Açıklamalar**

Zaman Serisi	Değişken İsmi	Birim	Veri Kaynağı
Elektrik Üretimi	EURT	Gwh.	TUİK
Karbondiyoksit Emisyonu	CO <sub>2</sub>	Kt.	DÜNYA BANKASI
Kömürden Üretilen Elektrik	KOMUR	Gwh.	TUİK
Sıvı Yakıt ve Doğal Gazdan Üretilen Elektrik	SDG	Gwh.	TUİK

Elektrik üretiminde alternatif üretim senaryolarına göre karbondiyoksit emisyonlarının nasıl değişeceğine ilişkin tahmin iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Öncelikle Box-Jenkins metodolojisiyle elektrik üretimi zaman serisi modellenmiş ve gelecekte gerçekleşeceği öngörülen üretim verileri elde edilmiştir. Ardından karbondiyoksit emisyon miktarları ile kömürden, sıvı ve doğalgazdan üretilen elektrik enerjisi miktarları arasındaki ilişki sınır testi yaklaşımıyla belirlenmiştir. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisini gösteren modelde Box-Jenkins metodolojisiyle elde edilen üretim projeksiyonları kullanılarak farklı üretim senaryoları için emisyon değerleri hesaplanmıştır. Elektrik üretiminde Linyit, taşkömürü, ithal kömür, doğalgaz, jeotermal, fuel oil, motorin, biogaz ve atık, hidrolik ve rüzgâr kullanılmaktadır. Çalışmada bu kaynaklar kömür, sıvı+doğalgaz, hidrolik ve yenilenebilir başlıkları altında ele alınmıştır. Senaryolar oluşturulurken baz senaryo için TEİAŞ 2011-2020 Üretim Kapasite Projeksiyonu kullanılmıştır.

#### 3.1. Birim Kök Testi

Çalışmada EURT, CO<sub>2</sub>, KOMUR ve SDG değişkenleri arasındaki ilişkiler araştırılmadan önce değişkenlerin düzey değerlerinde mi yoksa fark değerlerinde mi durağan oldukları Augmented Dickey Fuller ve Philips Perron birim kök testleri uygulanarak belirlenmiştir.

**Tablo 2: ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları**

ADF TESTİ								
Değişkenler	Düzy (test ist.)	Fark (Test ist.)	Düzy Kritik Değer			Fark Kritik Değer		
			1%	5%	10%	1%	5%	10%
EURT	3.53	-4.23	-3.79	-3.01	-2.65	-3.72	-2.99	-2.63
CO <sub>2</sub>	0,126	-5,21	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
KOMUR	0,009	-4,78	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
SDG	0,176	-4,27	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
PP TESTİ								
Değişkenler	Düzy (test ist.)	Fark (Test ist.)	Düzy Kritik Değer			Fark Kritik Değer		
			1%	5%	10%	1%	5%	10%
EURT	3.44	-3.56	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
CO <sub>2</sub>	0,67	-5,32	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
KOMUR	0,23	-4,78	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63
SDG	0,12	-4,27	-3.70	-2.98	-2.63	-3.71	-2.98	-2.63

Tablo-2’de verilen sonuçlara göre EURT, CO<sub>2</sub>, KOMUR ve SDG değişkenlerinin farkı alındığında test istatistiğinin anlamlı ve kritik değerlerden yüksek olması nedeniyle serilerin fark durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre EURT, CO<sub>2</sub>, KOMUR ve SDG zaman serilerinin birinci farklarında durağan olduğuna karar verilmiştir.

### 3.2. Elektrik Üretimi Tahmini

Türkiye’de elektrik üretimi 1986-2013 dönemi elektrik üretimi verileri ile Box-Jenkins metodolojisi kullanılarak 2014-2023 dönemi için elektrik üretimi öngörüsü oluşturulmuştur.

Box Jenkins yaklaşımı modelin belirlenmesi, tahmin edilmesi, ayırt edici kontrol ve ön raporlama şeklinde dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada serilerin durağanlığı dikkate alınarak otokorelasyon ve kısmi otokorelasyonlar hesaplanarak potansiyel modeller belirlenir. Ardından potansiyel modellere ilişkin parametre tahminleri yapılarak alternatif modeller arasından yüksek bir belirlenim katsayısına, F-istatistiğinin anlamlılığına, Akaike ve Schwarz Bilgi kriterlerinin küçük olmasına, hata kalıntı kareler toplamının küçük olmasına, olabilirlik oranının yüksek olmasına ve Portmanteau Q-istatistiklerinin anlamsız olmasına dikkat edilerek uygun model seçilir (Sevüktekin ve Çınar, 2014).

**Tablo 3: Model Belirleme Kriterleri**

ARIMA Model	LogL	AIC	SIC	HQ
(2,1,2)	-263.055	19.21825	19.50372	19.30552
(3,1,2)	-263.019	19.28706	19.62011	19.38888
(2,1,3)	-263.028	19.28774	19.62079	19.38956
(0,1,1)	-267.057	19.28979	19.43252	19.33342
(2,1,0)	-266.099	19.29282	19.48313	19.351
(0,1,0)	-268.502	19.32156	19.41672	19.35065
(0,1,2)	-266.731	19.33793	19.52824	19.39611
(2,1,4)	-262.778	19.34126	19.72189	19.45762
(1,1,0)	-267.838	19.34555	19.48828	19.38918
(4,1,2)	-262.896	19.34972	19.73035	19.46608
(1,1,1)	-266.931	19.35218	19.54249	19.41036
(3,1,3)	-263.019	19.35852	19.73915	19.47488
(3,1,0)	-266.039	19.35994	19.59783	19.43267
(2,1,1)	-266.071	19.36225	19.60014	19.43497
(0,1,3)	-266.316	19.37974	19.61764	19.45247
(4,1,0)	-265.467	19.39053	19.676	19.4778
(1,1,2)	-266.598	19.39985	19.63774	19.47258
(3,1,1)	-265.608	19.4006	19.68607	19.48787
(4,1,3)	-262.809	19.41492	19.84313	19.54583
(4,1,1)	-265.201	19.44296	19.77601	19.54478
(0,1,4)	-266.255	19.44679	19.73226	19.53406
(1,1,3)	-266.306	19.4504	19.73588	19.53768
(4,1,4)	-262.699	19.47851	19.9543	19.62396
(1,1,4)	-265.98	19.49854	19.83159	19.60036
(3,1,4)	-268.504	19.82171	20.24992	19.95262

Box-Jenkins yaklaşımına göre fark durağan olan EURT zaman serisi için potansiyel ARIMA modelleri için bilgi kriterleri tablo-3’teki gibidir. Tablo-3’teki sonuçlara göre EURT serisi için ARIMA (2,1,2) modeli seçilmiştir.

**Tablo 4: ARIMA (2,1,2) Modeli Tahmin Sonuçları**

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-İstatistiği	Olasılık D.
C	7574,004	1229.868	6.158390	0,000
AR(1)	-0.247808	0.270882	-0.914817	0.3707
AR(2)	-0.842007	0.235083	-3.581738	0.0018
MA(1)	0.704217	595.6910	0.001182	0.999
MA(2)	0.999979	1691.204	0.000591	0.999
R-squared	0.437		F-istatistiği (Olasılık D.)	3.264547 (0,024)
Adjusted R-squared	0.303		DW	2.021291

EURT değişkeni için ARIMA (2,1,2) model tahmin sonuçları Tablo-4’te verilmiştir. Alternatif modellere göre bilgi kriteri değeri en uygun model olan ARIMA (2,1,2) modelidir. Alternatif modeller arasından seçilen ARIMA (2,1,2) modeli ile EURT değişkeni için 2014-2023 dönemi elektrik üretimi tahminleri Tablo-5’teki gibidir. Tablo-5’te sunulan tahmin bulgularına göre; Türkiye’de elektrik üretimi 2014-2023 döneminde yıllık ortalama %2,9 düzeyinde artış gösterecektir.

**Tablo 5: ARIMA (2,1,2) Modeli Elektrik Üretim Tahmini 2014-2023**

Yıllar	Elektrik Üretimi (GWh)	Bir Önceki Yıla Göre % Değişme
2014	248158.4	3.333046
2015	260603.1	5.014801
2016	266607.7	2.304112
2017	270469.5	1.448495
2018	280284.9	3.629014
2019	290429.1	3.619274
2020	295479	1.738744
2021	301514.3	2.042557
2022	311595	3.343351
2023	319843.4	2.647157

### 3.3. CO<sub>2</sub> Emisyonu ile Elektrik Üretiminde Kullanılan Yakıt İlişkisi ve Senaryo Analizi

Elektrik üretiminde kullanılan yöntem ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Türkiye’de enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi ve payları Tablo-6’da verilmiştir. Tablo-6’daki verilere göre; Türkiye’de elektrik üretiminde (kömür ve doğalgaz) fosil yakıtlar önemli paya sahiptir. Enerji üretiminde fosil yakıtların kullanılması önemli ölçüde CO<sub>2</sub> emisyonu artışı anlamına gelmektedir.

**Tablo 6: Elektrik Üretiminde Alternatif Kaynakların Payları**

Yıllar	Kömür	Sıvı Yakıt	Doğal Gaz	Hidrolik	Yenilenebilir
1986	49.0	17.6	3.4	29.9	0.1
1987	39.8	12.4	5.7	42.0	0.1
1988	26.0	6.9	6.7	60.3	0.1
1989	38.9	8.2	18.3	34.5	0.1
1990	35.1	6.8	17.7	40.2	0.2
1991	35.8	5.6	20.8	37.6	0.2
1992	36.5	7.8	16.0	39.5	0.2
1993	32.1	7.0	14.6	46.1	0.2
1994	36.0	7.1	17.6	39.1	0.2
1995	32.5	6.7	19.2	41.2	0.4
1996	32.0	6.9	18.1	42.7	0.3
1997	32.8	6.9	21.4	38.5	0.4
1998	32.2	7.2	22.4	38.0	0.3
1999	31.8	6.9	31.2	29.8	0.3
2000	30.6	7.5	37.0	24.7	0.3
2001	31.3	8.4	40.4	19.6	0.3
2002	24.8	8.3	40.6	26.0	0.3
2003	22.9	6.6	45.2	25.1	0.2
2004	22.8	5.0	41.3	30.6	0.3
2005	26.6	3.4	45.3	24.4	0.3
2006	26.4	2.4	45.8	25.1	0.3
2007	27.9	3.4	49.6	18.7	0.4
2008	29.1	3.8	49.7	16.8	0.6
2009	28.6	2.5	49.3	18.5	1.2
2010	26.1	1.0	46.5	24.5	1.9
2011	28.8	0.4	45.4	22.8	2.6
2012	28.4	0.7	43.6	24.2	3.1
2013	26.6	0.7	43.8	24.7	4.2

Kaynak: TÜİK

Çalışmanın bu bölümünde CO<sub>2</sub> emisyonu ile üretimde fosil yakıt kullanımı arasında ilişki olup olmadığı Peseran vd. (2001) çalışmasında geliştirilen eşbütünleşme yaklaşımıyla araştırılmıştır. Karbondioksit emisyonu ile EURT ve SDG değişkenleri arasında eşbütünleşme ilişkisi olup olmadığı Denklem-1’de yer alan kısıtlanmamış hata düzeltme modeli tahmin edilmiştir. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığına ( $H_0 : \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$ ) hipotezi test edilerek karar verilmiştir. Burada  $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$  için hesaplanan F istatistiği Peseran, Shin ve Smith (2001) tablo alt ve üst kritik değerleri ile karşılaştırıldığında hesaplanan F istatistiği Peseran, Shin ve Smith (2001) tablo alt ve üst kritik değerleri ile karşılaştırıldığında hesaplanan F istatistiği alt sınırdan küçükse seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığı, üst sınırdan büyükse eşbütünleşme ilişkisi olduğu, alt sınır ile üst sınır arasındaysa eşbütünleşme olup olmadığına karar verilemediği durumu ifade etmektedir.. Alt sınır değerleri tüm değişkenlerin I(0), üst sınır değerleri ise tüm değişkenlerin I(1) olduğu varsayımına dayalıdır.

$$\Delta CO2_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} \Delta CO2_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{2i} \Delta KOMUR_{t-i} + \sum_{i=0}^k \alpha_{3i} \Delta SDG_{t-i} + \alpha_4 CO2_{t-1} + \alpha_5 KOMUR_{t-1} + \alpha_6 SDG_{t-1} + u_t \quad (1)$$

**Tablo 7: Sınır Testi Sonuçları**

k	F-İstatistiği	Kritik Değerler (%5)	
		Alt Sınır	Üst Sınır
		3,1	3,87
2	7,45	Kritik Değerler (%1)	
		Alt Sınır	Üst Sınır
		4,13	5

Tablo-7’deki sınır testi sonuçlarına göre; değişkenler arasında eşbütünlüşme ilişkisi olduğuna karar verilmiş ve değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki 2’olu denklemdeki biçimde ifade edilerek tahmin edilmiştir.

$$CO2_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} CO2_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{2i} KOMUR_{t-i} + \sum_{i=0}^k \alpha_{3i} SDG_{t-i} + u_t \quad (2)$$

Denklem (2)’de yer alan gecikme sayılarının belirlenmesinde Schwarz bilgi kriteri kullanılmış ve maksimum gecikme uzunluğu 4 olarak alınmıştır. Buna göre CO<sub>2</sub> değişkeninin 1, KOMUR değişkeninin (0) gecikmesiz değerleri ve SDG değişkeninin 3 gecikmesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Tahmin edilen ARDL modeli (1,0,3) modelidir ve model sonuçları Tablo-8’de yer almaktadır.

**Tablo 8: Uzun Dönem Tahmin Sonuçları (ARDL 1,0,3)**

Değişkenler	Katsayı	t istatistiği	
Sabit	108305.602	16.807	
KOMUR	1.672	4.276	
SDG	1.095	5.259	
R <sup>2</sup>	0.987	Adj R <sup>2</sup>	0.983
F-ist	242.48(0.000)	DW	2.38
$\chi^2_{NOP}$	0.18(0.91)	$\chi^2_{SEP}$	0.54(0.59)
$\chi^2_{HET}$	0.92(0.50)		

CO<sub>2</sub> emisyonları ile elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtlar arasındaki kısa dönemli ilişki ise ARDL (1,0,3) modeline dayalı hata düzeltme modeli ile denklem (3)’teki biçimde ifade edilmiştir.

$$\Delta CO_2 = \alpha_1 + \alpha_2 ECT_{t-1} + \sum_{i=1}^k \alpha_{3i} \Delta CO_{2,t-i} + \sum_{i=0}^l \alpha_{4i} \Delta KOMUR_{t-i} + \sum_{i=1}^m \alpha_{5i} \Delta SDG_{t-i} + \mu_t \quad (3)$$

Burada  $ECT_{t-1}$  Tablo-8’de verilen uzun dönem ilişkiden elde edilen hata terimleri serisinin bir dönem gecikmeli değeridir. Bu değişken hata düzeltme terimidir ve katsayısı kısa dönemdeki dengesizliğin ne kadarının uzun dönemde düzeltileceğini göstermektedir. Hata düzeltme teriminin katsayısının işaretinin negatif ve istatistikî olarak anlamlı olması beklenmektedir. Tablo-9’da ARDL (1,0,3) modeline dayalı hata düzeltme modeli sonuçları verilmiştir.



**Tablo 9: ARDL (1,0,3) Modeline Dayalı Hata Düzeltme Modeli Sonuçları**

Değişkenler	Katsayı	t-istatistiği
Sabit	-358.38	-0,090 (0,92)
ECT (-1)	-0.644	-3.68 (0,001)
DCO <sub>2</sub> (-1)	0.068	0.32 (0,74)
DKOMUR	0.405	0.69 (0,49)
DSDG	0.955	2.55 (0,01)
DSDG (-1)	-0.737	-1.86 (0,07)
DSDG (-2)	-1.294	-3.65 (0,001)
ECT = CO <sub>2</sub> - (1.6725*KOMUR + 1.0951*SDG +108305.6023 )		
<b>R<sup>2</sup>=0,64</b>	<b>AdjR<sup>2</sup>=0,53</b>	<b>DW:2,18</b>
		<b>F-ist=5,55(0,002)</b>

Hata düzeltme modeli sonuçlarına göre hata düzeltme teriminin katsayısı istatistiksel olarak anlamlı ve negatiftir. Bu aynı zamanda değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin daha güçlü ve sağlam bir kanıtını temsil ettiği gibi aynı zamanda daha önce tahmin edilen koentejasyon test sonuçlarını da doğrulamaktadır.

CO<sub>2</sub> emisyonları ile elektrik üretiminde fosil yakıtların kullanımı arasındaki uzun dönemli ilişkiden yola çıkılarak farklı senaryolara göre CO<sub>2</sub> emisyonlarında nasıl bir değişiklik olacağı üç alternatif senaryoya göre araştırılmıştır. Buna göre Tablo-8'deki uzun dönem ilişkiden yola çıkılarak; Senaryo-1 Türkiye'de elektrik üretiminde mevcut durumun devam edeceği, Senaryo-2 fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişin gerçekleşeceği, Senaryo-3 kömürden doğalgaza geçişin gerçekleşeceği şeklinde belirlenmiştir. Alternatif üretim senaryoları altında gelecek on yılda emisyonlarda meydana gelecek olan değişimler ARDL (1,0,3) modeli için elde edilen ve değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisiyi gösteren Denklem-4 ve ARIMA (2,1,2) modeli ile tahmin edilen elektrik üretim değerleri için 2014-2023 dönemi için hesaplanmıştır.

$$CO_{2,t} = 108305,6 + 1,672KOMUR_t + 1,095SDG_t + u_t \quad (4)$$

### Senaryo-1

Bu senaryoda elektrik üretiminde kömür, sıvı yakıt ve doğalgaz, hidroelektrik ve yenilenebilir enerjinin paylarının TEİAŞ tarafından hazırlanan 2011-2020 üretim kapasite projeksiyonunda yer alan toplam güvenilir üretim kapasitesinin enerji kaynağı türlerine göre dağılımı dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre Senaryo-1'de elektrik üretiminde alternatif kaynakların payı ve elektrik üretimi miktarları ile Denklem-4'te yer alan uzun dönem denklemi kullanılarak hesaplanan karbondioksit emisyonu tahminleri Tablo-10'daki gibidir.

**Tablo 10: Senaryo-1 için 2014-2023 Dönemi Elektrik Üretimi ve CO<sub>2</sub> Emisyonu**

	SENARYO 1 ÜRETİM PAYLARI				ÜRETİM GWh			
	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir
<b>2014</b>	27.4	52.2	16	4.4	67995.41	129538.71	39705.35	10918.97
<b>2015</b>	28.6	50.7	16.3	4.4	74532.48	132125.77	42478.30	11466.54
<b>2016</b>	28.8	50.6	16.4	4.2	76783.01	134903.49	43723.66	11197.52
<b>2017</b>	28.7	50.6	16.4	4.3	77624.74	136857.56	44356.99	11630.19
<b>2018</b>	28.7	50.6	16.4	4.3	80441.75	141824.14	45966.72	12052.25
<b>2019</b>	28.9	50.5	16.4	4.2	83934.02	146666.71	47630.38	12198.02
<b>2020</b>	28.9	50.5	16.4	4.2	85393.42	149216.87	48458.55	12410.12
<b>2021</b>	28.9	50.5	16.4	4.2	87137.63	152264.71	49448.34	12663.60
<b>2022</b>	28.9	50.5	16.4	4.2	90050.94	157355.45	51101.57	13086.99
<b>2023</b>	28.9	50.5	16.4	4.2	92434.73	161520.90	52454.31	13433.42
<b>SENARYO 1 KARBONDİOKSİT EMİSYONU TAHMİNİ 2014-2023 (kt)</b>								

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
363838.8	377601.6	384406.1	387953.2	398101.6	409243.3	414475.9	420729.6	431175	439721.9

Türkiye’de 2014-2023 döneminde elektrik üretiminde mevcut yapının değişmediği varsayımına dayanan Senaryo-1 kabul edildiğinde 2014 yılına kıyasla 2023 yılında CO<sub>2</sub> emisyonları %20,85 (75883,04 kt) artış gösterecektir.

### Senaryo-2

Senaryo-2 fosil yakıtlar arasında tercihe dayalı bir senaryo olup elektrik üretiminde 2014-2023 döneminde kömürden elektrik üretiminde güvenilir üretim kapasitesini kömürün payını azaltarak doğalgazdan elektrik üretiminin artırılması varsayımına dayalı bir üretim kompozisyonuna dayanmaktadır. Bu senaryoda elektrik üretiminde kömürün payı azaltılıp doğalgazın payı artırılırsa üretim kompozisyonundaki bu değişikliğe bağlı olarak karbondioksit emisyonlarının nasıl değişeceği Tablo-11’de gösterilmiştir.

**Tablo 11: Senaryo-2 için 2014-2023 Dönemi Elektrik Üretimi ve CO<sub>2</sub> Emisyonu**

	SENARYO 2 ÜRETİM PAYLARI				ÜRETİM GWh				
	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir	
2014	27.4	52.2	16	4.4	67995.41	129538.71	39705.35	10918.97	
2015	26.4	52.9	16.3	4.4	68799.22	137859.04	42478.30	11466.54	
2016	25.4	54	16.4	4.2	67718.35	143968.15	43723.66	11197.52	
2017	24.4	54.9	16.4	4.3	65994.55	148487.74	44356.99	11630.19	
2018	23.4	55.9	16.4	4.3	65586.66	156679.23	45966.72	12052.25	
2019	22.4	57	16.4	4.2	65056.13	165544.61	47630.38	12198.02	
2020	21.4	58	16.4	4.2	63232.50	171377.79	48458.55	12410.12	
2021	20.4	59	16.4	4.2	61508.91	177893.43	49448.34	12663.60	
2022	19.4	60	16.4	4.2	60449.42	186956.98	51101.57	13086.99	
2023	18.4	61	16.4	4.2	58851.18	195104.45	52454.31	13433.42	
SENARYO 2 KARBONDİOKSİT EMİSYONU TAHMİNİ 2014-2023 (kt)									
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
363838.8	374293.5	379175.8	381242.6	389530.3	398350.8	401689	405941.8	414094.9	420344.2

Her yıl kömürden elektrik üretiminin 1 puan azaltarak doğalgazdan elektrik üretiminin payının artırıldığı Senaryo-2’ye ilişkin bulgular incelendiğinde 2014 yılına kıyasla 2023 yılında elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıttan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları %15,53 (56505,33 kt) artış gösterecektir.

### Senaryo-3

Senaryo-3 elektrik üretiminde 2014 yılından başlanarak kömürün payını her yıl için 1 puan azaltırken yenilenebilir enerjinin payının artırıldığı varsayımıyla oluşturulmuştur.

**Tablo 12: Senaryo-3 için 2014-2023 Dönemi Elektrik Üretimi ve CO<sub>2</sub> Emisyonu**

	SENARYO 3 ÜRETİM PAYLARI				ÜRETİM GWh			
	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir	Kömür	Sıvı+Doğalgaz	Hidro	Yenilenebilir
2014	27.4	52.2	16	4.4	67995.41	129538.71	39705.35	10918.97
2015	26.4	50.7	16.3	6.6	68799.22	132125.77	42478.30	17199.80
2016	25.4	50.6	16.4	7.6	67718.35	134903.49	43723.66	20262.18
2017	24.4	50.6	16.4	8.6	65994.55	136857.56	44356.99	23260.38
2018	23.4	50.6	16.4	9.6	65586.66	141824.14	45966.72	26907.35
2019	22.4	50.5	16.4	10.7	65056.13	146666.71	47630.38	31075.92
2020	21.4	50.5	16.4	11.7	63232.50	149216.87	48458.55	34571.04

<b>2021</b>	20.4	50.5	16.4	12.7	61508.91	152264.71	49448.34	38292.31	
<b>2022</b>	19.4	50.5	16.4	13.7	60449.42	157355.45	51101.57	42688.51	
<b>2023</b>	18.4	50.5	16.4	14.7	58851.18	161520.90	52454.31	47016.97	
<b>SENARYO 3 KARBONDİOKSİT EMİSYONU TAHMİNİ 2014-2023 (kt)</b>									
<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
363838.8	368015.6	369250	368507.5	373263.9	377679.5	377422.8	377878.4	381681.3	383570.2

Senaryo-3'e göre Türkiye'de 2014-2023 döneminde kömürün payı her yıl azaltılıp yenilenebilir enerjinin payı arttırılırsa üretim kompozisyonundaki bu değişikliğe bağlı olarak karbondioksit emisyonlarının nasıl değişeceği Tablo-12'de gösterilmiştir. Bu senaryoya göre, 2014 yılına kıyasla 2023 yılında CO2 emisyonları %5,42 (19731,34 kt) artış gösterecektir.

#### 4. Sonuç

Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların üretim sürecindeki kompozisyonlarında yapılan değişikliklere dayalı farklı üç üretim senaryosunun 10 yıllık bir dönem için CO2 emisyonlarında ciddi değişimler yarattığı elde edilen sonuçlara yansımaktadır. Ekonomik gelişmeyle birlikte elektrik enerjisine duyulan gereksinim artmaktadır. Buna bağlı olarak artan enerji talebini karşılamaya yönelik üretim genişlemesi üretimde kullanılan kaynak kompozisyonuna bağlı olarak CO2 salınımlarını arttırmaktadır. CO2 salınımlarındaki önemli artışlar ise çevreye ciddi zararlar vermekte ve yaşamı olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda elektrik enerjisi üretiminde alternatif kaynaklar arasında yapılacak düzenlemeler ile elektrik enerjisi üretiminde daha az salınım neden olacak kaynaklara geçiş ya da yenilenebilir enerji kaynakları yönünde bir değişikliğin CO2 salınımlarını önemli ölçüde azaltacağı düşünülmektedir. CO2 salınımlarının azaltılmasında enerji tüketiminin kontrol edilmesi ve üretim sürecinde daha az salınım neden olacak yöntemlerin kullanılması etkili olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular da zaman içinde kademeli olarak fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiminden vazgeçilmesinin CO2 emisyonlarında önemli ölçüde tasarruf sağladığı görülmüştür. CO2 salınımlarının artmasında yalnızca elektrik üretiminde değil diğer alanlarda da emisyon tasarruf edecek üretim yöntemleri kullanılarak ekolojik dengeye olumsuz etkileri düşük seviyelere çekmenin mümkün olacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKÇA

- Köne, A. Ç. and Büke, T. (2010). Forecasting of CO2 Emissions from Fuel Combustion Using Trend Analysis. *Renewable and Sustainable Energy* 14, 2906-2915. [doi:10.1016/j.rser.2010.06.006](https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.006)
- Lin, C.S., Liou, F.M. and Huang, C. P. (2011). Grey Forecasting Model for CO2 Emissions: A Taiwan Study. *Applied Energy* 88, 3816-3820. [doi:10.1016/j.apenergy.2011.05.013](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.013)
- Martos, C.G., Rodriguez, J. and Sanchez, M. J. (2013). Modeling and Forecasting Fossil Fuels, CO2 and Electricity Prices and Their Volatilities. *Applied Energy* 101, 363-375. [doi:10.1016/j.apenergy.2012.03.046](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.046)
- Özcan, M. (2016). Estimation of Turkey's GHG Emissions from Electricity Generation by Fuel Types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53,832-840. [doi:10.1016/j.rser.2015.09.018](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.018)
- Özer, B., Görgün, E. and İncecik, S. (2013). The Scenario Analysis on CO2 Emission Mitigation Potential in the Turkish Electricity Sector: 2006-2030. *Energy* 49, 395-403. [doi:10.1016/j.energy.2012.10.059](https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.059)
- Pao, H. T., Fu, H.C. and Tseng, L.C. (2012). Forecasting of CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in China Using Improved Grey Model. *Energy* 40, 400-409. [doi:10.1016/j.energy.2012.01.037](https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.037)
- Pao, H.T. and Tsai, C.M. (2011). Modeling and Forecasting the CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Brazil. *Energy* 36, 2450-2458. [doi:10.1016/j.energy.2011.01.032](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032)

Pesaran, M. Shin, H.Y. ve Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches To The Analysis Of Level Relationship. *Journal Of Applied Econometrics* 16(3), 289-326. [doi:10.1002/jae.616](https://doi.org/10.1002/jae.616)

Say, N. P. and Yücel, M. (2006). Energy Consumption and CO2 Emissions in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection based on an Economic Growth. *Energy Policy* 34, 3870-3876. [doi:10.1016/j.enpol.2005.08.024](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.08.024)

Sevüktekin M. ve Çınar M. (2014). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*, Dora Yayınevi, Bursa.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) (2011). *Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Kapasite Projeksiyonu (2011-2020)*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2016). [<http://www.tuik.gov.tr/> Online Erişim Tarihi: 20.11.2016]

Wang D., Nie, R. and Shi, H.Y. (2011). Scenario Analysis of China’s Primary Energy Demand and CO2 Emissions based on IPAT Model. *Energy Procedia* 5, 365-369. [doi:10.1016/j.egypro.2011.03.062](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.062)

World Bank (2016). [<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?locations=TR>. Online Erişim Tarihi: 20.11.2016]