



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ . UNIVERSITY



SOSYAL BİLİMLER
ENSTİTÜSÜ
Graduate School of
Social Sciences

İKTİSAT
ANABİLİM DALI
Yüksek Lisans Tezi

Ömer Emin DEDE
20152001001

2019

GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI

ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON SALIMI İLİŞKİSİ
THE RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY CONSUMPTION AND
CARBON EMISSIONS

ÖMER EMİN DEDE
YÜKSEK LİSANS TEZİ



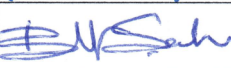
TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. SERVET CEYLAN

GİRESUN, 2019

JÜRİ ÜYELERİ ONAY SAYFASI

Giresun Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nün 11.06.2019 tarihli toplantısında oluşturulan jüri, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans öğrencisi Ömer Emin DEDE'nin "Enerji Tüketimi ve Karbon Salımı İlişkisi" başlıklı tezini incelemiş olup aday 25.06.2019 tarihinde, saat 15:00'da jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Aday çalışma, sınav sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı Soyadı	İmzası
Üye (Başkan)	Prof. Dr. Servet CEYLAN	
Üye	Doç. Dr. Seymur AĞAZADE	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Burcu YILMAZ ŞAHİN	
Üye		
Üye		

ONAY

...../...../2019

Prof. Dr. Güven ÖZDEM
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Enerji Tüketimi ve Karbon Salımı İlişkisi” adlı çalışmamın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.



25/06/2019

Ömer Emin DEDE

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun, özellikle geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısında hızla artmış olması, dünya enerji talebini de benzer şekilde artırmıştır. Günümüzde, dünya enerji ihtiyacının büyük bölümü, fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil yakıtların tüketimi, aralarında karbondioksit (CO₂) gazının da bulunduğu sera gazlarını açığa çıkarmakta ve her geçen gün daha fazla çevresel dışsallığa yol açmaktadır. Birleşmiş Milletler, sera gazlarının iklim değişikliği üzerindeki etkilerinin azaltılması amacıyla, çeşitli protokol ve anlaşmalar yapmaktadır. Dünya'nın esas gündemi, küresel ısınma ve iklim değişikliğidir. Bu çalışmada, Türkiye'de, birim gayri safi yurtiçi hasıla (GDP) bazında enerji tüketimi ile CO₂ salımı arasındaki ilişki, 1985-2015 dönemi için incelenmektedir. Bir başka ifadeyle, belirtilen dönemde, Türkiye'de, 1 birim GDP üretmek için gereken enerji miktarı (enerji yoğunluğu) ile yine 1 birim GDP üretimi sonucunda salınan karbon gazı (karbon yoğunluğu) arasındaki ilişki araştırılmaktadır.

Bu tezin hazırlanmasında, bilgi ve birikimlerini her zaman paylaşan, tavsiyelerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen yüksek lisans hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Servet CEYLAN'a özel teşekkürlerimi sunuyorum ve hayatım boyunca çeşitli yetkinlikler kazanmamada katkısı olan tüm hocalarıma şükranlarımı iletiyorum.

Beni büyüten, hayata hazırlayan, maddi-manevi her türlü imkânı ve desteği sağlayan/sağlamaya devam eden, annem Habibe DEDE, babam Mehmet Zeki DEDE ve kardeşim Hakan Ahmet DEDE'ye çok derin teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak, beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren aileme minnettarım. Sayısız kere kaybettiğim moral ve motivasyonumu, tekrar en üst düzeye çıkaran ve en sıkıntılı zamanlarda yanımda olan değerli eşim Özlem TUNÇ DEDE ve biricik kızım Melis Arya DEDE'ye, verdikleri destek, gösterdikleri sabır ve anlayış için sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunuyorum. Onlar olmadan tezimi tamamlamam imkansızdı.

ÖZET**Ömer Emin DEDE****Enerji Tüketimi ve Karbon Salımı İlişkisi****Yüksek Lisans Tezi, Giresun, 2019**

Bu tez çalışmasında, birim GDP üretmek için tüketilen enerji miktarı (enerji yoğunluğu) ile yine birim GDP üretimi nedeniyle salınan CO₂ miktarı (karbon yoğunluğu) arasındaki uzun dönemli ilişki, Türkiye için 1985-2015 dönemi yıllık veri seti kullanılarak, iki aşamalı Engle-Granger koentegrasyon (eş-bütünleşme) sınaması ve Hata Düzeltme Modeli çerçevesinde araştırılmıştır. Araştırmanın sonucunda Engle-Granger koentegrasyon analizi göstermiştir ki, enerji yoğunluğu ile karbon yoğunluğu değişkenleri arasında uzun dönemli ve pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Hata düzeltme modeli analizi ise, enerji tüketiminden CO₂ salımına doğru, tek yönlü Granger nedensellik bulunduğunu göstermektedir. Sonuçlara göre, enerji yoğunluğu azaldığında, karbon yoğunluğu da azalmaktadır. Birim GDP üretimi, daha az enerji tüketilerek gerçekleştirildiğinde, aynı ekonomik büyüme seviyesinde daha az CO₂ salımı yapılmaktadır. Üretim süreçlerinde daha çevreci teknolojilerin kullanılması veya ekonominin temel üretim faaliyet türünün ağırlıklı olarak imalat sektöründen, hizmetler sektörüne kayması gibi etmenler, üretim için ihtiyaç duyulan enerji miktarını azaltır. Başka bir ifadeyle, ekonomik büyümenin daha az enerji tüketimi ile sağlanması, daha az CO₂ salımı yapılması anlamına gelmektedir.

Anahtar Sözcükler: Türkiye, Enerji yoğunluğu, Karbon yoğunluğu, Ekonomik büyüme, Ekonometrik analiz.

ABSTRACT**Ömer Emin DEDE****The Relationship Between Energy Consumption and Carbon Emissions****Master Thesis, Giresun, 2019**

In this thesis study, the long-term relationship between the amount of energy consumed per unit of GDP (energy intensity) and the amount of CO₂ emission per unit of GDP (carbon intensity) was investigated in the framework of two-step Engle-Granger co-integration test and Error Correction Model by using annual data set of 1985-2015 period for Turkey. The analysis results of Engle-Granger co-integration showed that there is a long-term and positive relationship between energy intensity and carbon intensity variables. Also, unidirectional Granger causality from energy consumption to carbon emission was determined according to the error correction model analysis. Hereunder, while the energy intensity is reduced, the carbon intensity decreases. When per unit of GDP production is carried out with the less energy consumption, the less CO₂ is released at the same economic growth level. Factors such as the use of more environment-friendly technologies in production processes or the shift of the basic production activity mainly from the manufacturing sector to the services sector, reduce the amount of energy needed for production. In other words, economic growth by using less energy consumption means less CO₂ emissions.

Keywords: Turkey, Energy intensity, Carbon intensity, Economic Growth, Econometric analysis.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: ENERJİ TÜKETİMİ	4
1.1. Enerji Kavramı.....	4
1.2. Enerji Kaynakları.....	4
1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları	5
1.2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları (Fosil Yakıtlar).....	5
1.2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	7
1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları.....	9
1.3. Dünya Enerji Tüketimi	10
1.4. Enerji Yoğunluğu.....	13
2. BÖLÜM: KARBON SALIMI	15
2.1. Karbon Salımı ve Sonuçları.....	15
2.2. Dünya Karbon Salımı	17
2.3. Karbon Yoğunluğu	21
3. BÖLÜM: ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON SALIMI İLİŞKİSİ	23
3.1. Teorik Yaklaşımlar	23
3.1.1. Mekanist Görüş	23
3.1.2. Ekolojik Görüş	24
3.1.3. Sürdürülebilir Kalkınma.....	25
3.1.4. Çevresel Kuznets Eğrisi	26
3.2. Literatürde Yer Alan Çalışmalar	29

3.3. Ekonometrik Analiz.....	37
3.3.1. Veri Seti ve Model	37
3.3.2. Yöntem.....	40
3.3.2.1. Birim Kök (Unit Root) Testi	40
3.3.2.2. Engle-Granger Koentegrasyon (Eş-bütünleşim) Yaklaşımı	41
3.3.2.3. Hata Düzeltme Modeli Analizi.....	43
3.4. Bulgular	44
3.4.1. Birim Kök Testi Sonuçları	44
3.4.2. Engle-Granger Koentegrasyon (Eş-bütünleşim) Analizi Sonuçları.....	45
3.4.3. Hata Düzeltme Modeli Sonuçları.....	46
SONUÇ.....	48
KAYNAKÇA	50
EKLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADF	: Genişletilmiş Dickey-Fuller	(Augmented Dickey-Fuller)
AIC	: Akaike Bilgi Kriteri	(Akaike Information Criterion)
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklım Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)
CO ₂	: Karbondioksit	(Carbon-dioxide)
CO _{2e}	: Karbondioksit Eşdeğeri	(Carbon-dioxide Equivalents)
EKC	: Çevresel Kuznets Eğriři	(Environmental Kuznets Curve)
GDP	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	(Gross Domestic Product)
GtCO ₂	: Milyar Ton Karbondioksit	(Gigatonne of Carbon-dioxide)
Gtoe	: Milyar Ton Petrol Eşdeğeri	(Gigatonne of Oil Equivalent)
HDK	: Hata Düzeltme Katsayısı	(Coefficient of Error Correction Term)
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı	(International Energy Agency)
IPCC	: Hükümetlerarası İklım Değişikliği Paneli	(The Intergovernmental Panel on Climate Change)
MtCO ₂	: Milyon Ton Karbondioksit	(Million Tonnes of Carbon-dioxide)
Mtoe	: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri	(Million Tonnes of Oil Equivalent)
OLS	: Sıradan En Küçük Kareler	(Ordinary Least Square)
TFC	: Toplam Nihai Tüketim	(Total Final Consumption)
TPES	: Toplam Birincil Enerji Arzı	(Total Primary Energy Supply)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Dünya TPES içindeki Payları, 2016.....	9
Şekil 2: Küresel Birincil Enerji Tüketimi (1800-2017)	10
Şekil 3: Dünya Toplam Nihai Enerji Tüketimi, 2016	11
Şekil 4: Bazı Ekonomilerin Kişi Başına Enerji Tüketimleri	12
Şekil 5: Bazı Ekonomilerin Enerji Yoğunlukları	13
Şekil 6: Türüne Göre Dünya Sera Gazları Salımı (CO ₂ e).....	15
Şekil 7: Atmosferik CO ₂ Konsantrasyonu	16
Şekil 8: Enerji Kaynağına Göre Dünya CO ₂ Salımları	17
Şekil 9: Dünya TPES ve CO ₂ Salımı, 2016	18
Şekil 10: Bazı Ekonomilerin Yıllık CO ₂ Salımları	19
Şekil 11: Bazı Ekonomilerin Kişi Başına CO ₂ Salımları	20
Şekil 12: Bazı Ekonomilerin CO ₂ Yoğunlukları	22
Şekil 13: Çevresel Kuznets Eğrisi: İngiltere'nin Yolu (1820-2016).....	27
Şekil 14: Türkiye'de Enerji Tüketimi, CO ₂ Salımı ve GDP (1985-2015).....	39
Şekil 15: Türkiye'de Enerji Yoğunluğu ve CO ₂ Yoğunluğu (1985-2015).....	39

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1: Dünya Toplam Kanıtlanmış Fosil Yakıt Rezervleri (2018 Sonu)	6
Tablo 2: Değişkenlere İlişkin Tanımlamalar	38
Tablo 3: Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi Sonuçları	44
Tablo 4: Engle-Granger Koentegrasyon Analizi Sonuçları	45
Tablo 5: Optimum Gecikme Uzunluğunun Tespiti.....	46
Tablo 6: Hata Düzeltme Modeli Sonuçları	47



GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, çevre sorunlarının giderek küreselleşmesi ve doğal kaynakların sınırlı olması hem ekonomik büyümeyi hem de bütün insanlığı tehdit etmektedir. İnsanoğlu, Tarım Devrimi ile yerleşik hayata geçmiş ve Sanayi Devrimi'ne kadar bütün ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynakları kullanıp, evcilleştirdiği hayvanların gücünden yararlanmıştır. Sanayi Devrimi'yle birlikte makineler ve çok sayıda buluş insanlığın hizmetine girmiş ve büyük şehirler kurulmuştur. İnsanlık tarihi için çok kısa sayılabilecek bir zamanda, sosyo-ekonomik devrimsel dönüşümler yaşanmıştır. Bu hızlı ilerlemenin olumsuz sonuçları da olmuş ve küresel ısınma olgusu ortaya çıkmıştır.

Sanayi Devrimi sonrasında (1770-1850), enerji ihtiyacı ve fosil yakıt (kömür, petrol, doğalgaz vs.) talebi hızla artmıştır. Fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan ve küresel ısınmaya neden olan sera gazlarından en yaygın olanı ise karbondioksit (CO₂)'tir. CO₂ salımının kontrolsüz bir şekilde artması, geri döndürülemez düzeye yaklaşan iklim değişimlerine ve daha önce karşılaşılmayan ölümcül hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Köse, 2018, s. 57).

Diğer yandan, her gün artan nüfusu beslemek zorunda olan dünya medeniyetleri, doğal kaynakların sınırlı olduğunu geç fark etmiştir. 1970'li yıllara kadar refah döneminin zirvelerini (Kapitalizmin Altın Çağını) yaşayan gelişmiş ülkelerde, nüfus artışının sakıncaları ve doğal kaynakların sınırlı olması fikri, ciddiye alınmamıştır. Ancak 1972 tarihli Büyümenin Sınırları Raporu¹ ve ardından 1973 tarihli Petrol Şoku nedeniyle, sürekli artan refahın bir sınırının olduğu geniş kitlelerce fark edilmiştir. Çevre kirliliğinin, meydana getirdiği sorunlar nedeniyle, toplumun ve bireyin refahını azalttığı anlaşılmıştır. 1970'li yıllardaki büyümenin sınırları tartışmaları,

¹ Nüfus, sanayileşme, gıda üretimi, çevre kirliliği ve yenilenemez enerji kaynaklarının tüketiminde mevcut akım değişmezse, gelecek yüzyılda dünyadaki büyüme sınırına ulaşılabilecektir. Bu muhtemel sonuç ise dünya sanayileşme kapasitesinde ve nüfusunda, beklenmedik ve kontrol edilemez bir azalışa neden olacaktır (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972).

sürdürülebilir kalkınma anlayışının doğmasına ve ekolojik kalkınma gibi yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına vesile olmuştur (Öztürk, 2007).

Hızlı büyümenin, çevresel ve sosyal bedellerinin olduğunun anlaşılmasıyla, kalkınmanın sürdürülebilir olması gerektiği herkesçe kabul edilmiş, çevresel sorunların çözümünde, uluslararası düzeyde iş birliğine gidilerek, küresel bir mücadele başlatılmıştır. Bu amaçla, Birleşmiş Milletler (BM) önderliğinde uluslararası düzeyde birçok konferans ve anlaşmalar yapılmış, raporlar düzenlenmiştir.²

Dünya sanayisi halen karbon temelli enerji kaynaklarına bağımlıdır. Gelişmiş ülkeler, karbon salımlarını düşürmeyi sanayi üretimlerini olumsuz etkileyeceği bahanesiyle kabul etmeye yanaşmamakta ve bağlayıcı sözleşme veya anlaşmalara imza atmaya çekinmektedirler. Bu nedenle, bugüne kadar bağlayıcı anlaşmalar yapılamamıştır (Köse, 2018, s. 73).

BMİDÇS³ 21. Taraflar Konferansı, 2015 yılında Paris'te düzenlenmiştir. Konferansta, 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin ana hatlarını belirleyen Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Anlaşmanın yürürlüğe girmesi, 4 Kasım 2016 tarihinde, global sera gazı salınımının %55'inden sorumlu en az 55 ülkenin anlaşmayı onaylamasının ardından gerçekleşmiştir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2016).

Paris Anlaşması ile uzun vadede, sanayileşme dönemi öncesine kıyasla, küresel sıcaklık artışının 2°C'nin altında tutulması hedeflenmektedir.⁴ Bu amaç, fosil yakıt kullanımının (kömür, petrol vb.) kademeli olarak düşürülerek, yenilenebilir enerji kullanımının arttırılmasını ve sera gazı salınımının azaltılmasını gerektirir.

² İnsan Çevresi Konferansı (1972), Dünya Koruma Stratejisi (1980), Brundtland Raporu (1987), Ozon Tabaksı ve Montreal Protokolü (1989), Rio Zirvesi ve Günden 21 (1992), Birleşmiş Milletler Yeni Bin Yıl Hedefleri (2000), Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (2002), Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü (2005), Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (2007), Paris İklim Anlaşması (2015), COP24 (2018).

³ Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

⁴ 2018 tarihinde IPCC tarafından yayınlanan "Global Warming of 1.5 °C" adlı özel raporda, hedefin 2 °C değil, 1.5 °C olarak sınırlandırılması gerektiği vurgulanmıştır. (IPCC, 2018)

Bu tezin amacı, küresel iklim değişikliği olgusunun incelenmesine katkı sağlayarak, enerji tüketimi ile karbon salımı arasındaki ilişkiyi Türkiye örneği üzerinden araştırmaktır. 1985-2015 dönemi verileri kullanılarak, Türkiye’de, 1 birim GDP üretmek için gereken enerji miktarı (enerji yoğunluğu) ile yine 1 birim GDP üretimi sonucunda salınan karbon gazı (karbon yoğunluğu) arasındaki ilişki, ekonomik büyüme perspektifinden, ampirik analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Veri setinin 1985 yılından başlatılmasının nedeni; 1973’te dünyada yaşanan Petrol Krizi’nin ve 1980 tarihinde (24 Ocak kararları) Türkiye’de çeşitli yapısal dönüşümler içeren bir ekonomik program uygulamaya konulmasının hem üretim yapısında hem de enerji kaynağı karmasında, kaçınılmaz olarak değişikliğe neden olmasıdır. Bu iki önemli hadisenin, ekonomik göstergelere yansımalarının belli bir süre alacağı açıktır. Bu nedenle, bu tez çalışması 1985’den itibaren günümüze doğru olan verileri kapsamaktadır. Diğer taraftan, araştırma konusu faktörlere ilişkin veriler, oldukça gecikmeli yayınlanmaktadır. En yeni veri, 2015 yılında sonlanmaktadır.

Araştırmada, bilgi toplama aracı olarak, üniversite kütüphaneleri, elektronik veri tabanları ve internet siteleri (bakanlıkların, uluslararası kuruluşların web sayfaları vb.); bilgi işleme aracı olarak, E-Views yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde, yüksek lisans tezinin konusu ve önemi, kullanılan araştırma türü, veri toplama ve işleme araçları ile araştırmanın sunum sırası ifade edilmiştir. Birinci bölümde, enerji kavramı üzerinde durulmuştur. Enerji kaynakları hakkında bilgi verilerek, dünya enerji arzı ve tüketiminin tarihsel değişimi ve mevcut durumu aktarılmış, bölüm sonunda “enerji yoğunluğu” kavramı irdelenmiştir. İkinci bölüm, karbon salımına ayrılmıştır. Konuyla ilgili kavramlar ve emisyon azaltılmasına ilişkin yapılan çalışmalar incelenerek, dünya karbon salımı istatistikleri verilmiş, bölüm sonunda “karbon yoğunluğu” kavramı irdelenmiştir. Üçüncü bölümde, bu tezin konusu olan, enerji tüketimi ve karbon salımı ilişkisi üzerinde durulmuştur. İlk olarak, konuyla ilgili teorik yaklaşımlar ve literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiş, ardından ampirik analiz yöntemi kullanılarak veri seti analiz edilmiş, kullanılan yöntemler açıklanmış ve analizler sonucunda elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Son bölümde, sonuçlar değerlendirilerek, politika önerileri sunulmaya çalışılmıştır.

1. BÖLÜM: ENERJİ TÜKETİMİ

1.1. ENERJİ KAVRAMI

Enerji, basit anlamıyla hareket ettirici güç ya da değişikliklere neden olma yeteneği olarak tanımlanabilir (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 1; Çengel & Boles, 2015, s. 2). Enerji, bir toplumun temel ihtiyaçlarının karşılanmasında ve yaşamın idame ettirilebilmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir (Koçak, 2012, s. 4).

Enerji aynı zamanda bir ülkenin ekonomik gelişiminin en temel girdilerinden biri olup ülkelerin ekonomik gücü ve gelişmişlik seviyelerinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Uysal & Yapraklı, 2016, s. 88; Beşer & Hızarcı Beşer, 2017, s. 254).

Etrafımızda bulunan her maddenin yapısında belirli bir miktar enerji mevcuttur. Bu maddelerden petrol, kömür, güneş, dalga, su, rüzgâr gibi çeşitli kaynaklardan değişik yöntemler ve teknikler kullanılarak ekonomik amaçlarla enerji üretimi mümkündür (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 2).

1.2. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kaynaklarını farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan en yaygın kullanılan sınıflandırma biçimi, enerjinin birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmasıdır. Birincil enerji, enerji kaynağının herhangi bir dönüşüme veya değişime uğramamış halidir. İkincil enerji ise, birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucunda elde edilen enerji olarak adlandırılmaktadır (Koç & Şenel, 2013, s. 33).

1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynakları doğada petrol, kömür, doğal gaz, hidrolik, biyokütle, dalga (gel-git), rüzgâr ve güneş şeklinde bulunabilen kaynaklardır. İhtiyaçlar doğrultusunda, birincil enerji kaynakları kullanılarak elektrik ve buhar gibi ikincil enerji kaynakları elde edilebilir (Beşer & Hızarcı Beşer, 2017, s. 254).

Enerji kaynakları, yenilenebilir kaynaklar ve fosil yakıtlar (yenilenemeyen kaynaklar) olarak iki ana başlıkta değerlendirilir (Çukurçayır & Sağır, 2008, s. 257).

1.2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları (Fosil Yakıtlar)

Fosil yakıtlar, tükenebilir ve binlerce hatta milyonlarca yıl yenilenemeyecek kaynaklardan elde edilir (Beşer & Hızarcı Beşer, 2017, s. 254). Kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji yenilenemez enerji kaynaklarıdır (Koç & Şenel, 2013, s. 33).

Fosil yakıtların yakılması ile karbondioksit (CO₂) gazının da içinde yer aldığı sera gazları atmosfere salınır. Bu durum atmosfer dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yenilenemeyen kaynakların çıkarılması ve işlenmesi hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır (Beşer & Hızarcı Beşer, 2017, s. 254; Uysal & Yapraklı, 2016, s. 88).

Kömür: Yapısında %55-95 arasında karbon içeren, havadaki serbest oksijen ile doğrudan yanabilen, organik kökenli kayalar olarak tanımlanabilir (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 4).

Petrol: En önemli enerji kaynakları arasında olup, ana bileşeni karbon ve hidrojen olan bir maddedir. Petrol sıvı formda olup; petrokimya endüstrisinde işlenerek benzin, gazyağı, motorin, çeşitli motor ve makine yağları, sentetik lifler, jet yakıtı, bütan, metan ve propan gibi birçok ticari ürünün elde edilmesinde kullanılır (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 4).

Doğalgaz: Çoğunlukla gaz formunda olup bir çeşit petrol olarak değerlendirilebilir. Ancak, petrole göre daha hafif ve uçucu (metan ve bütan gibi) maddelerden oluşmaktadır. Doğalgaz gerek tüp gaz olarak mutfaklarda, gerek ısınma amaçlı evlerde ve işyerlerinde, gerekse de sanayinin enerji ihtiyacını karşılamada büyük bir yere sahiptir (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 4).

Nükleer Enerji: Nükleer enerji kaynağı olarak kullanılan uranyum ve toryum radyoaktif maddeleri, inorganik kökenli maddeler olup, atom enerjisi tesislerinde (nükleer reaktörler) işlenerek, nükleer yakıtların hammaddesi olarak kullanılırlar ve elektrik enerjisi üretiminde rol oynarlar (Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 4).

Tablo 1’de, bölgelere göre dünya fosil yakıt rezervleri paylaşılmıştır.

Tablo 1: Dünya Toplam Kanıtlanmış Fosil Yakıt Rezervleri (2018 Sonu)

	Petrol (Milyar varil)	Doğalgaz (Trilyon m ³)	Kömür (Milyar ton)
Kuzey Amerika	236.7	13.9	258
Güney ve Orta Amerika	325.1	8.2	14
Avrupa	14.3	3.9	134.5
CIS (Bağımsız Devletler Topluluğu)	144.7	62.8	188.8
Orta Doğu	836.1	75.5	14.4
Afrika	125.3	14.4	
Asya Pasifik	47.6	18.1	444.8
Toplam Rezerv Miktarı	1729.8	196.8	1054.5
Tahmini Kalan Ömür *	51 Yıl	53 Yıl	114 Yıl

Kaynak: (BP, 2019). * (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017)

Toplam kanıtlanmış rezerv: Genel olarak, bilinen rezervlerden, mevcut iktisadi ve işletme koşullarında jeolojik ve mühendislik bilgileri vasıtasıyla makul bir kesinlikte gelecekte alınabilecek miktarlar olarak kabul edilir.

2018 sonu itibarıyla, kanıtlanmış dünya petrol rezervlerinin yaklaşık 1.7 trilyon varil olduğu ve 51 yıllık bir tüketimi karşılayacak kadar bir ömrü kaldığı tahmin edilmektedir. Doğalgaz rezervinin 196 trilyon m³ olduğu ve küresel tüketimi 53 yıl kadar karşılayabileceği düşünülmektedir. Bütün yakıtlar içinde en yüksek rezerv üretim oranına sahip olan yakıt, 114 yıllık tahmini kalan ömrü ile kömürdür.

Dünya petrol rezervinin yaklaşık olarak yarısı Orta Doğu bölgesinde, %19'u Güney ve Orta Amerika bölgesinde, %18'i Venezuela'da, %17'si ise Suudi Arabistan'da bulunmaktadır. Doğalgaz rezervinin yaklaşık %39'u Orta Doğu bölgesinde bulunmakta ve İran ile Katar bu bölgede önemli rezervlere sahip ülkeler olarak öne çıkmaktadır. CIS ülkeleri doğalgaz rezervleri açısından %32 ile ikinci sırada yer almaktadır. Dünya kömür rezervi 1 trilyon tondan fazladır ve bunun %66'sı ABD, Rusya, Avustralya ve Çin'de bulunmaktadır.

1.2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması ve çevresel tahribatın en aza indirilmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 8).

Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle (ve bundan elde edilen çöp gazı), hidrolik, deniz kaynaklı enerji (gel-git, dalga, akıntı) gibi fosil temelli olmayan enerji çeşitleri, yenilenebilir enerji kaynakları sınıfında yer almaktadır (Resmi Gazete, 2005) (Güllü, 2015, s. 35).

Güneş Enerjisi: Isı ve elektrik elde etmek için kullanılabilen ve yeryüzünde en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Ancak, fosil yakıt tüketimine göre maliyeti yüksek olduğundan, güneş enerjisinin yalnızca %0.04'ü enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 13).

Rüzgâr Enerjisi: Elektrik elde edilmesinde önemli bir yere sahip olup, kapasite açısından en geniş kullanım alanına sahip yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Dünya genelinde rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi oranları artmakta olup, IEA verilerine göre 2050 yılına kadar elektriğin %18'lik kısmının rüzgâr enerjisinden elde edileceği öngörülmektedir (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 15-16).

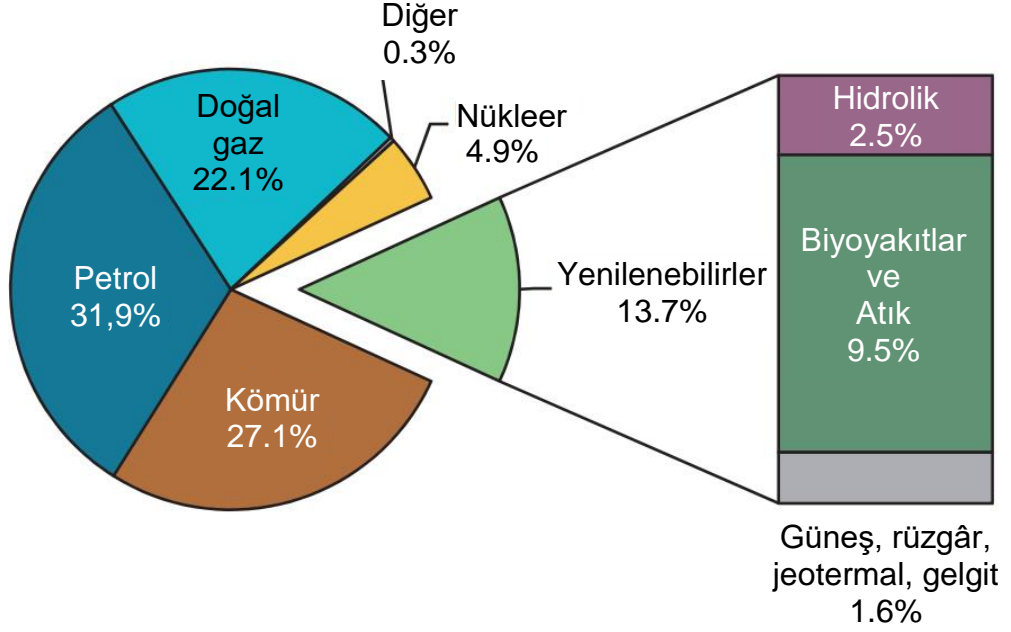
Jeotermal Enerji: Yer kabuğunda bazı bölgelerde meydana gelen sıcak su, buhar ve gazların ısısından yararlanılarak elde edilen bir enerji türüdür. Bu kaynaklardan genellikle buhar türbini vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir. Düşük maliyetli, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen bu enerji kaynağının kullanımı, ülkelerin coğrafi yapılarına göre değişim göstermektedir. Dünya genelinde elektrik üretiminin yaklaşık %0.04'ü jeotermal enerjiden sağlanmaktadır. IEA verilerine göre ise bu oran 2050 yılında yaklaşık %3.5 civarında olacaktır (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 16-17; Doğanay & Çoşkun, 2017, s. 4).

Biyokütle ve Atık Enerjisi: Yakın zamanda biyokütleden elde edilen enerji kullanımını artış göstermiştir. Biyokütle enerjisinden, ulaşım ve ısınma gibi çokça alanda faydalanılabilir. Dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık %14'ünü biyokütle enerjisi oluşturmaktadır. Bu oranın, %4'ünü hidrojen ile işlenmiş bitkisel yağlar, %22'sini biyodizel yakıtlar ve %74'ünü etanol yakıtlar oluşturmaktadır (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 18).

Hidrolik Enerjisi: Suyun akış ve düşüş hızına bağlı olarak oluşan enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan enerji türüdür. Dünya genelinde kullanılan en yaygın yenilenebilir enerji türüdür. Dünya elektrik enerjisi arzının %16'sını hidrolik enerjisi oluşturmaktadır (Karagöl & Kavaz, 2017, s. 13).

Deniz Kaynaklı Enerji (Gel-Git, Dalga, Akıntı): Dalga, akıntı ve gel-git aracılığıyla doğrudan deniz yüzeyinden veya yüzey altına yerleştirilen türbinler kullanılarak elde edilen bir enerji kaynağıdır. Deniz ve okyanusların yüzeyinde dalga oluşumuna etki eden en önemli bileşen ise rüzgardır. Deniz kaynaklı enerjiler, temiz ve sınırsız bir enerji kaynağı olmakla birlikte, yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Dünya genelinde, deniz kaynaklı enerji kullanımını için farklı teknolojiler projelendirilmekte ve araştırma-geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir (Koçak, 2012, s. 23-24).

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Dünya TPES içindeki Payları, 2016



Kaynak: (IEA, 2018a)

Şekil 1’de, 2016 yılında, dünya toplam birincil enerji arzının (TPES), ağırlıklı olarak yenilenemeyen kaynaklardan üretildiği ve yaygın olarak kullanılan kaynakların petrol, kömür ve doğalgaz olduğu görülmektedir. 2016 dünya TPES miktarı 13.761 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) olmuştur ve bunun %13.7’si yenilenebilir kaynaklardan üretilmiştir (IEA, 2018a, s. 3).

1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları

İkincil enerji, son halleriyle doğada bulunmayan ancak birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerjidir. Elektrik, benzin, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), kok kömürü, petrokok ve hava gazı bu tip enerji kaynaklarındandır (Koç & Şenel, 2013, s. 33).

Bu kaynaklar elde edilirken, santraller ve rafineriler gibi tesislerden yararlanılmaktadır. Bu nedenle hem dönüşüm kayıpları oluşmakta hem de üretilmeleri birincil kaynaklara göre daha maliyetli olmaktadır.

1.3. DÜNYA ENERJİ TÜKETİMİ

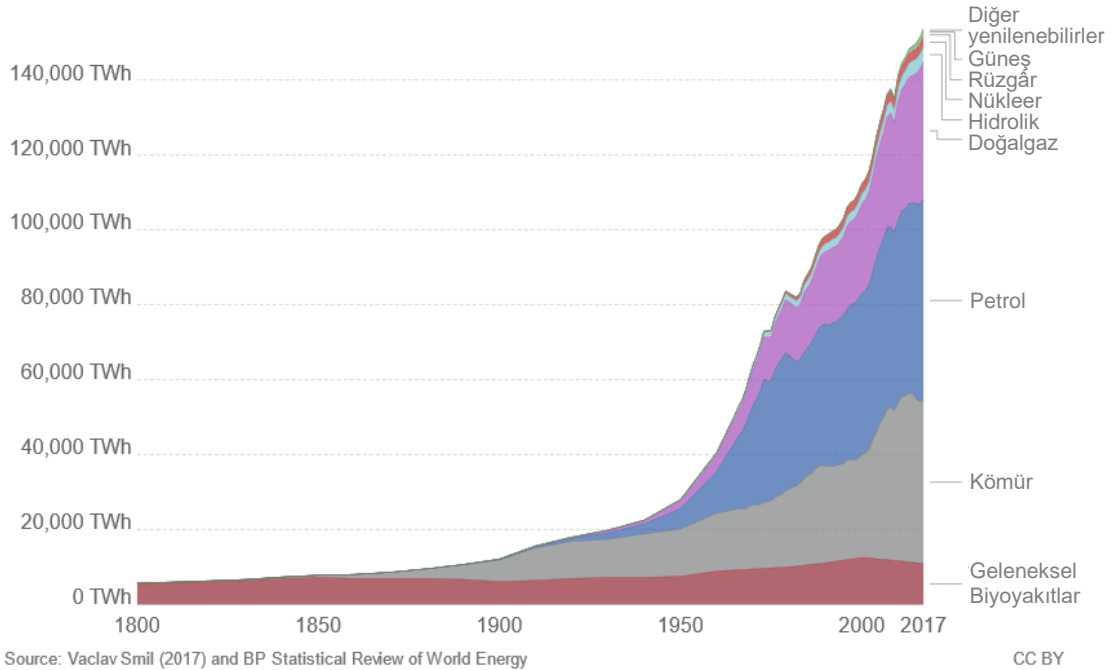
1800'lü yıllara kadar, dünya enerjisinin neredeyse tümü geleneksel biyokütleden (esasen odun ve diğer organik maddelerden) sağlanmıştır. Dünya'da (ağırlıklı olarak İngiltere'de) az miktarda kömür kullanılmış ve petrol tüketimi 1870'e kadar başlamamıştır. 1900'e gelindiğinde, kömür tüketimi önemli ölçüde artarak, küresel enerjinin neredeyse yarısını karşılamaya başlamıştır.

20. yüzyılın ortalarına doğru, kömür ve petrol, geleneksel biyoyakıtların önüne geçmiştir. Nükleer elektrik üretimine 1960'da başlanmış, bugünün yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş ve modern biyoyakıtlar) 1980-90'larda ortaya çıkmıştır. (Ritchie & Roser, Energy Production & Changing Energy Sources, 2017).

Tarihsel olarak dünya enerji kullanımında yaşanan bu dönüşümler, küresel birincil enerji tüketiminin zaman içindeki değişimini gösteren Şekil 2 ile uyuşmaktadır.

Şekil 2: Küresel Birincil Enerji Tüketimi (1800-2017)

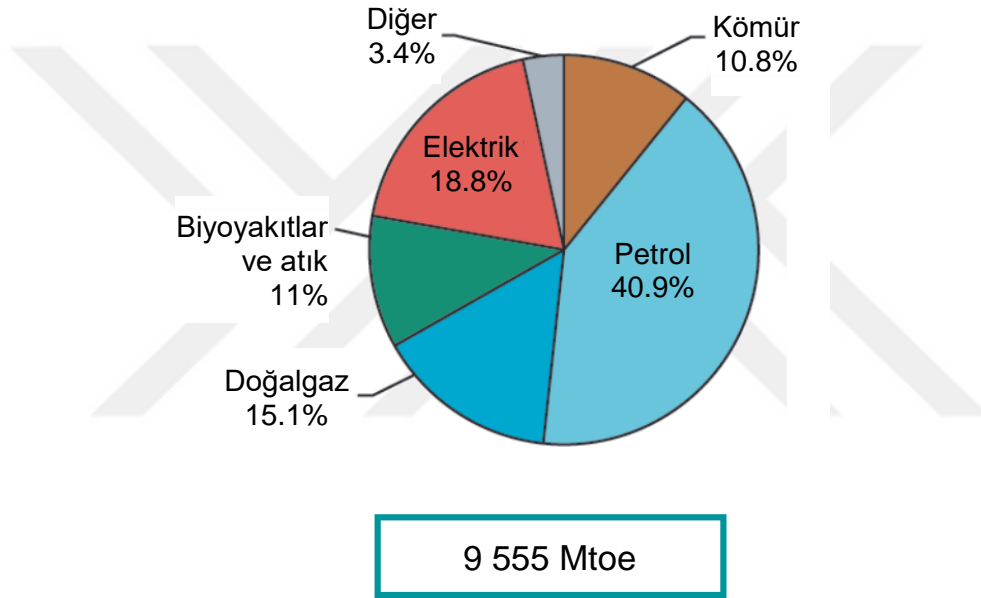
Küresel birincil enerji tüketimi, yıllık terawatt-saat (TWh) olarak.



Kaynak: (Ritchie & Roser, Energy Production & Changing Energy Sources, 2017)

2015 yılında dünya birincil enerji tüketimi 146.000 terawatt-saat (TWh) olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 1800 yılında gerçekleşen tüketimden 25 kat fazladır. Şekil 2’de şaşırtıcı olabilecek bir diğer husus bugünün enerji karışımıdır. Günümüzde muhtemelen bazı insanların sandığının aksine, yenilenebilir enerji ağırlıklı bir küresel enerji tüketimi bulunmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları henüz gereken gücü sağlamaktan oldukça uzaktır. Dünya’da fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz, kömür), enerji tüketiminde hala en önemli paya sahiptir.

Şekil 3: Dünya Toplam Nihai Enerji Tüketimi, 2016



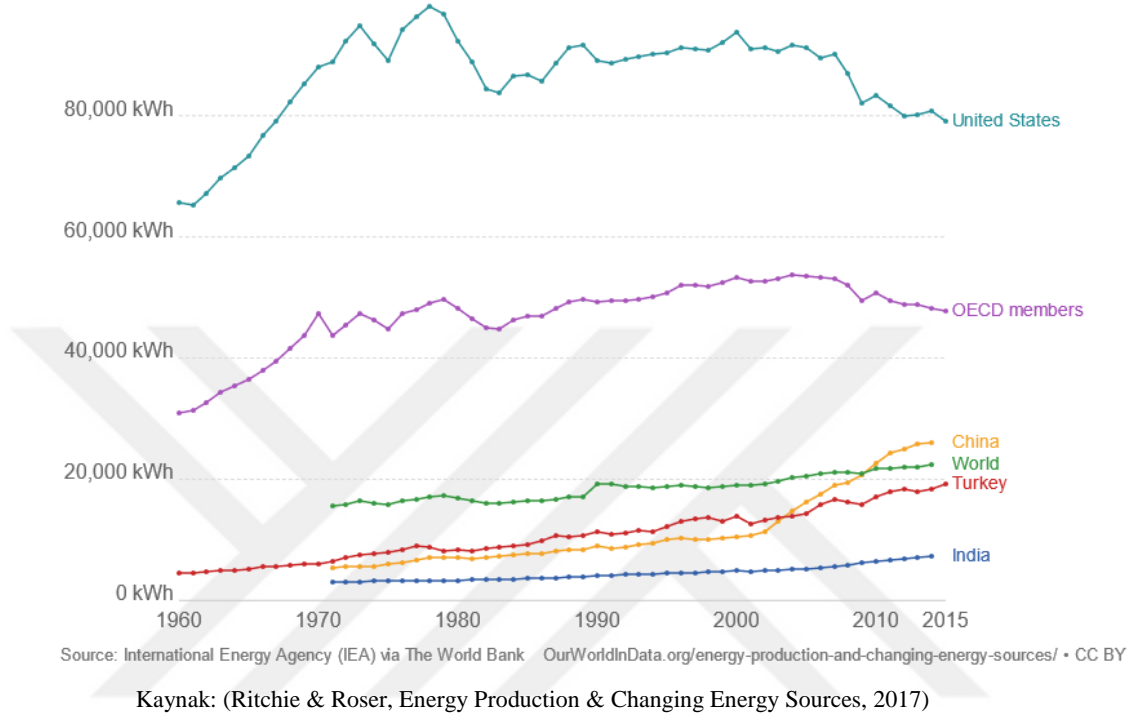
Kaynak: (IEA, 2018b)

2016 yılı için, kaynağına göre dünya toplam nihai tüketimi Şekil 3’te verilmiştir. Buna göre petrol %40.9 ile en büyük paya sahiptir. Ardından elektrik ve doğalgaz enerjisi gelmektedir. 2016 yılında toplam nihai tüketim 9555 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) olarak gerçekleşmiştir.

Enerji sistemlerindeki dönüşümler, özellikle uzun vadeli yapılan altyapı yatırımlarıyla bağlantılıdır ve tarihsel olarak yavaş ilerleyen bir süreç sonunda gerçekleşmiştir. Bu, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişteki yavaş ilerlemeyi açıklamaktadır.

1960-2015 yılları arasında kişi başına düşen enerji kullanımındaki eğilimler Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4: Bazı Ekonomilerin Kişi Başına Enerji Tüketimleri



Buna göre, kişi başına düşen enerji tüketiminin küresel ortalaması, sürekli artmaktadır. Diğer taraftan, ülkeler ve bölgeler arasında önemli ölçüde farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Genel olarak gelişmekte olan ekonomilerde enerji tüketimi artarken, yüksek gelirli ülkelerde dikkate değer bir düşüş eğilimi bulunmaktadır. Çin'in kişi başına enerji kullanımı, 2000'den bu yana yaklaşık yüzde 250 artmıştır. Öte yandan, ABD'de kişi başına düşen enerji tüketiminin 1970'lerde zirveye ulaştığı ve 2000'li yılların başlarına itibaren bir azalma olduğu görülmektedir.

Yüksek gelirli ülkelerde yaşanan bu düşüşe rağmen, kişi başına enerji tüketiminde ülkeler arasında büyük küresel eşitsizlikler bulunmaktadır. Ortalama bir ABD vatandaşı, bir Türk vatandaşından 4-5 kat daha fazla enerji tüketmektedir.

Türkiye'de kişi başına enerji tüketimi, dünya ortalamasının altında seyretmekle birlikte, yıllar içinde kademeli bir artış göstermektedir.

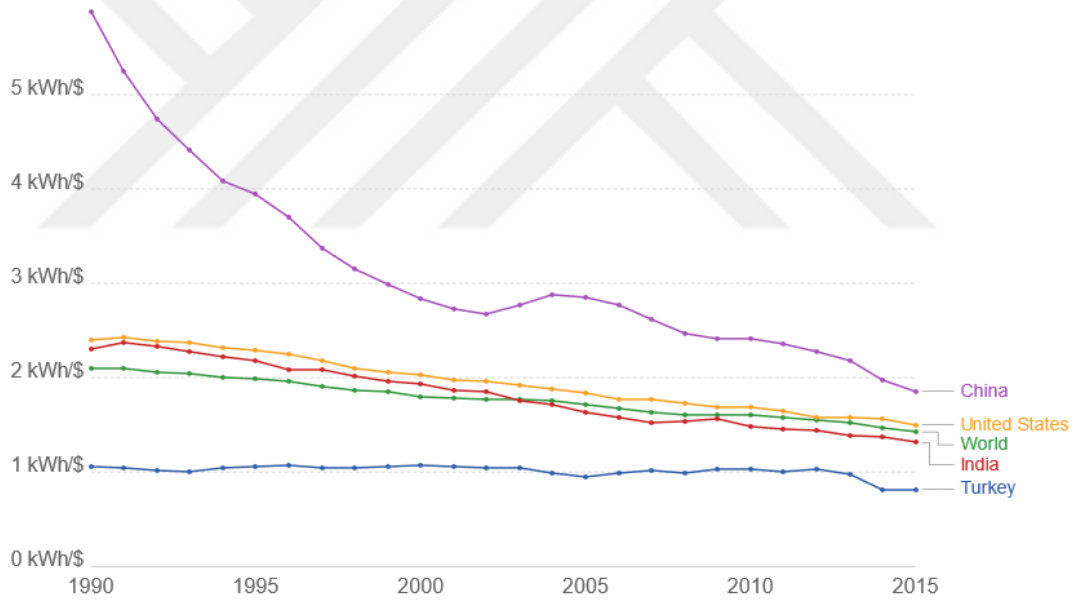
1.4. ENERJİ YOĞUNLUĞU

Enerji yoğunluğu, bir birim ekonomik çıktı üretmek için kullanılan enerji miktarının bir ölçüsüdür. Enerji verimliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Buna göre, enerji yoğunluğu azaldıkça, enerji verimliliği artmaktadır. Bir başka ifadeyle, aynı GDP düzeyininin, daha az enerji kullanılarak elde edilmesidir. Ekonomik büyümenin, daha düşük enerji girdisi ile sağlanması amaçlanmaktadır (IEA, 2017, s. 17).

Şekil 5'te bazı ekonomilerin enerji yoğunluğunun 1990'dan bu yana nasıl değiştiği gösterilmiştir.

Şekil 5: Bazı Ekonomilerin Enerji Yoğunlukları

Enerji yoğunluğu, bir birim ekonomik çıktı üretmek için ne kadar enerji kullanıldığının bir göstergesidir. Düşük oran, bir birim çıktı üretmek için daha az enerji kullanıldığını gösterir. (2011 uluslararası-\$ başına kWh).



Source: World Bank, Sustainable Energy for All (SE4ALL) OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY

Kaynak: (Ritchie & Roser, Energy Production & Changing Energy Sources, 2017)

Buna göre, küresel ekonominin enerji yoğunluğu düşmeye devam etmektedir. 1990 yılında, küresel olarak bir dolarlık ekonomik çıktı üretmek için 2.1 kilowatt saat (kWh) enerji gerekirken, 2014'te bu miktar, %30 azalma göstererek, 1.5 kWh'ye düşmüştür.

Günümüzde, enerji verimliliğın bizatihi kendisi, bir başka enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Enerji yoğunluğu kazançları, dünya çapında enerji kullanımını ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır (IEA, 2017, s. 19).

Verimlilik kazançları genel olarak tüm dünya ülkelerinde görülüyor olsa bile özellikle Çin’de, 1990’dan bu yana gözlemlenen enerji yoğunluğu değişimi oldukça dikkat çekicidir. Birim ekonomik çıktı için gereken enerji miktarı 5.9 kWh/\$’dan, 2015 yılında 1.9 kWh/\$’a düşmüştür. Bu dönemde Çin’de enerji verimliliği oldukça yükselmiştir.

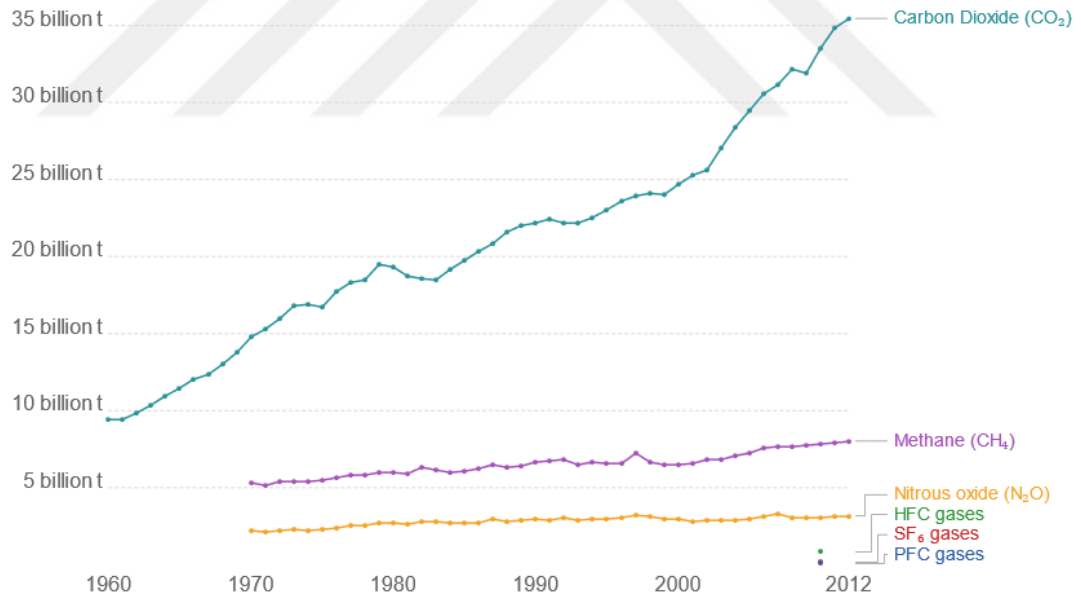
Türkiye’de enerji yoğunluğu, dünya ortalamasının altında ve genel olarak sabit bir seyir izlerken, son yıllarda kademeli bir düşüş göstermiştir. 1990’da bir dolarlık ekonomik çıktı üretmek için gereken enerji miktarı 1.06 kWh iken, 2015 yılına gelindiğinde 0.82 kWh düşmüştür (Şekil 5).

2. BÖLÜM: KARBON SALIMI

2.1. KARBON SALIMI VE SONUÇLARI

Sera gazları olmasaydı gezegenimiz çok soğuk olurdu. Bu gazlar olmadan Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ olacağı tahmin edilmektedir (Qiancheng Ma, 1998). Sera gazları belli bir seviyeye kadar dünya sıcaklığının korunması ve yaşamın devamlılığı için gereklidir. Ancak, tolere edilebilir seviyeyi aştıklarında, atmosferde aşırı ısı tutulmasına ve dolayısıyla küresel ısınmaya neden olarak yaşamı tehdit ederler.

Şekil 6: Türüne Göre Dünya Sera Gazları Salımı (CO₂e)



Source: World Bank - World Development Indicators (WDI) OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

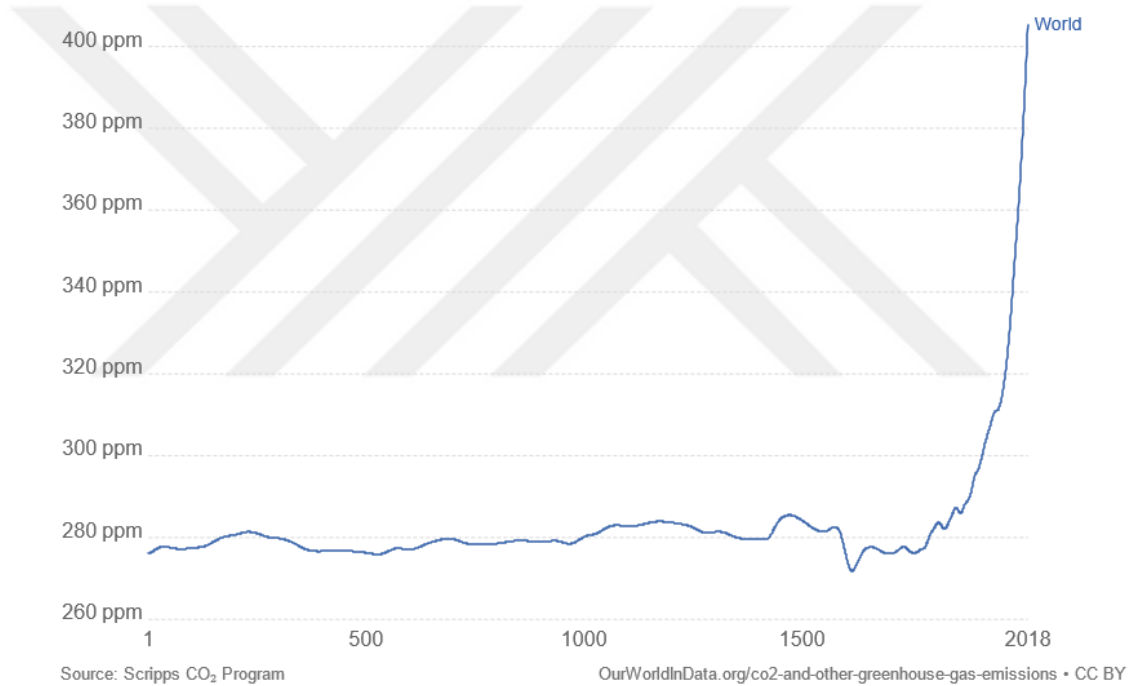
Sera gazı terimi, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), hidroflorokarbon (HFC), kükürthekzaflorid (SF₆), perflorokarbon (PFC), azotoksit (NO_x), karbonmonoksit (CO), uçucu organik bileşikler (VOC) ve kükürtdioksit (SO₂) gibi birçok gazı temsil etmektedir. Sera gazları içinde CO₂ en yaygın olanıdır.

Şekil 6’da Dünya sera gazı salımlarının yıllara göre değişimi verilmiştir. Buna göre, geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren CO₂ salımı diğer sera gazlarına göre çok ciddi artış göstermiştir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından sürecin milat noktası, gömülü karbon kaynakların yakılmasıdır. Sanayi Devrimi ile yeraltı karbon enerji kaynakları kullanıma sokulmuş, CO₂ salımı hızlı bir ivmeyle artmış, global karbon döngüsü bozulmuş ve bu süreç, küresel ısı artışına neden olmuştur (Ritchie & Roser, 2017).

Şekil 7: Atmosferik CO₂ Konsantrasyonu

Küresel ortalama uzun vadeli atmosferik CO₂ konsantrasyonu, milyon başına parça (ppm) cinsinden.



Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

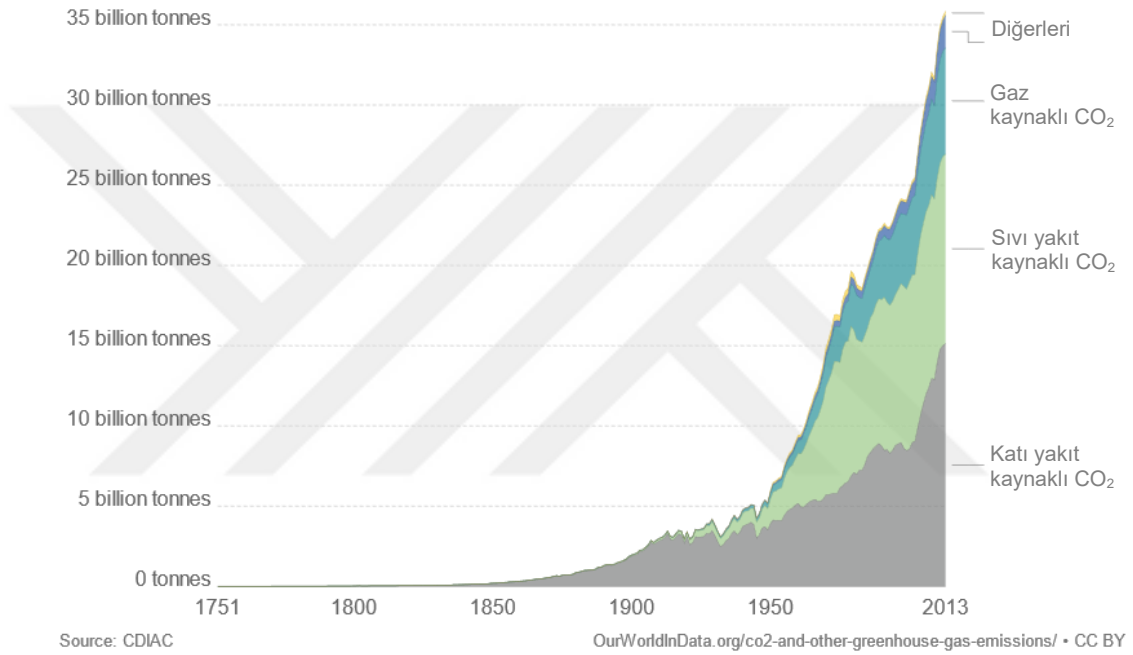
Küresel CO₂ salımındaki artışın, dünya atmosferindeki CO₂ konsantrasyonu üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Son 2000 yıldaki atmosferik konsantrasyon seviyesi, 270-285 ppm civarında istikrarlı iken; 18. yüzyıl Sanayi Devrimi'nden bu yana, küresel CO₂ konsantrasyonu hızla artmıştır. 2013 yılında, son üç milyon yıldaki en yüksek seviye olan 400 ppm eşiği aşılmış (Şekil 7) ve *ortalama küresel sıcaklık, endüstriyel öncesi seviyelere göre 0.85 °C artmıştır*. Bugün CO₂ salmayı bıraksak, insan kaynaklı CO₂ salımının atmosferden uzaklaştırılması birkaç yüzyıl alacaktır.

2.2. DÜNYA KARBON SALIMI

Tarihsel süreçte, katı (kömür ve biyokütle), sıvı (petrol), gaz (doğalgaz), çimento üretimi ve gaz flaring⁵ kaynaklı CO₂ salımında nasıl bir değişim gerçekleştiği Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8: Enerji Kaynağına Göre Dünya CO₂ Salımları

Yıllık CO₂ salımları, katı yakıt (ör: kömür ve biyokütle); sıvı (ör: petrol); gaz (ör: doğalgaz); diğerleri (ör: çimento üretimi, gaz flaring). Ton cinsinden yıllık



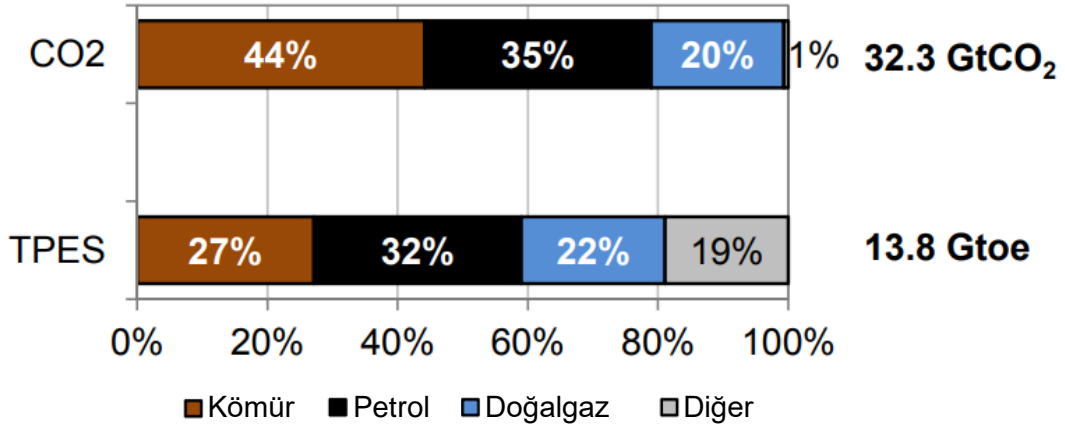
Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

Sanayileşmenin erken döneminde katı yakıt kullanımı egemen olmuştur. Endüstriyel ölçekte kömür temelli üretim, ilk olarak, 1700'lerde ortaya çıkmış, 1800'lerin sonlarına kadar, petrol ve doğalgaz üretiminden kaynaklanan CO₂ salımında bir artış görülmemiştir. Bu durum, geçtiğimiz yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren değişmiş ve özellikle yüzyılın ikinci yarısında dramatik bir dönüşüm yaşanmıştır.

⁵ Gaz flaring, dünyadaki petrol üretim tesislerinde her yıl milyarlarca metreküp boşa yakılan gaz için kullanılan bir terimdir. Ekonomik büyümeyi ve ilerlemeyi desteklemek için kullanılacak değerli bir enerji kaynağı boşa harcanmakta ve ayrıca milyonlarca ton CO₂ atmosfere salınmaktadır.

Günümüzde, küresel CO₂ salımında, katı ve sıvı yakıt hakim olmakla birlikte, doğal gaz kaynaklı emisyon da dikkate değerdir. Fosil yakıtların, küresel karbon salımının esas kaynağı olduğu Şekil 9'de açıkça görülmektedir.

Şekil 9: Dünya TPES ve CO₂ Salımı, 2016



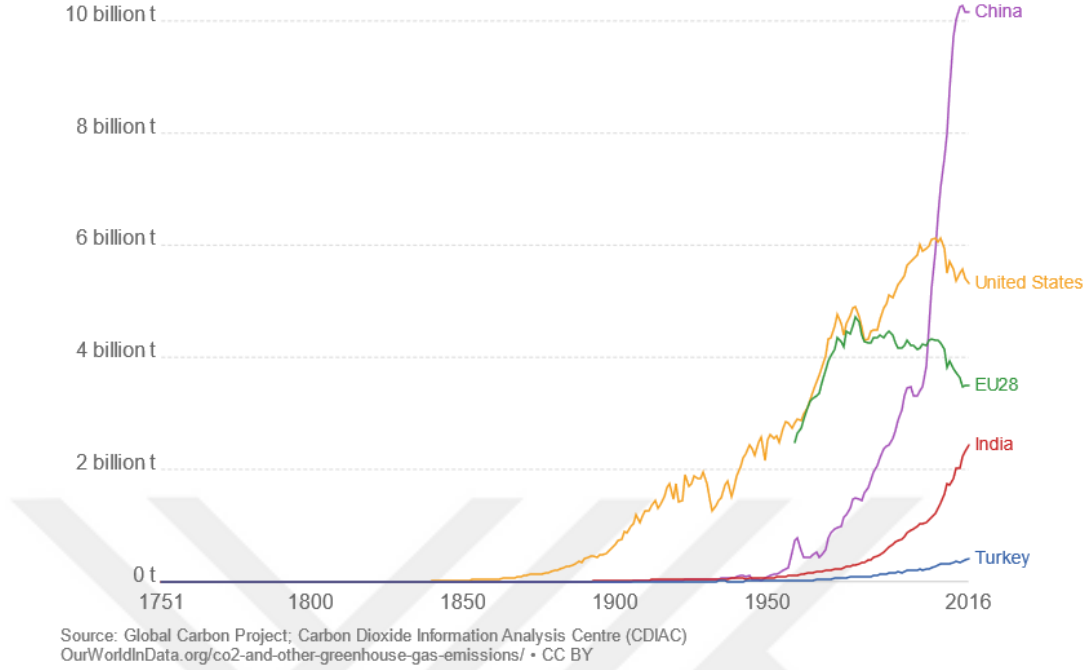
Kaynak: (IEA, 2018d)

2016 yılında, dünya toplam birincil enerji arzının (TPES) %27'sini kömür oluştururken, kömür yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) salımı, yakıt kaynaklı küresel karbon salımının %44'ünü oluşturmaktadır. TPES'de ilk sırada bulunan petrol, CO₂ salımında ikinci sırada yer alırken, doğalgaz onu takip etmektedir. Kömür ve petrol birlikte ele alındığında, küresel TPES miktarının yaklaşık %60'ını oluştururlarken, küresel CO₂ salımının %80'inden sorumludurlar (Şekil 9). Kömür kaynaklı CO₂ salımının büyük çoğunluğu Çin kaynaklıdır (IEA, 2018d, s. 11).

Atmosfere salınan CO₂ gazının %80'i, enerjinin üretim, dağıtım ve tüketim süreçleri sonunda gerçekleşmektedir. CO₂ günümüz dünyasının en büyük atık ürünüdür (Uzunoglu, Yüksel, & Ok, 2001, s. 89).

Tarihsel bir perspektifle bakıldığında, bu tablonun oluşmasında, dünya ülkelerinin eşit derecede sorumlu olmadıkları görülmektedir. Örneğin, 1800'lü yıllarda sanayileşme sürecini başlatan ABD gibi günümüzün gelişmiş ülkeleri ile sanayileşme sürecini 1950'lerden sonra başlatan Türkiye gibi günümüzün gelişmekte olan ülkeleri, küresel CO₂ salımından eşit derecede sorumlu tutulamazlar. Bu durum Şekil 10 ve Şekil 11'de açıkça görülmektedir.

Şekil 10: Bazı Ekonomilerin Yıllık CO₂ Salımları



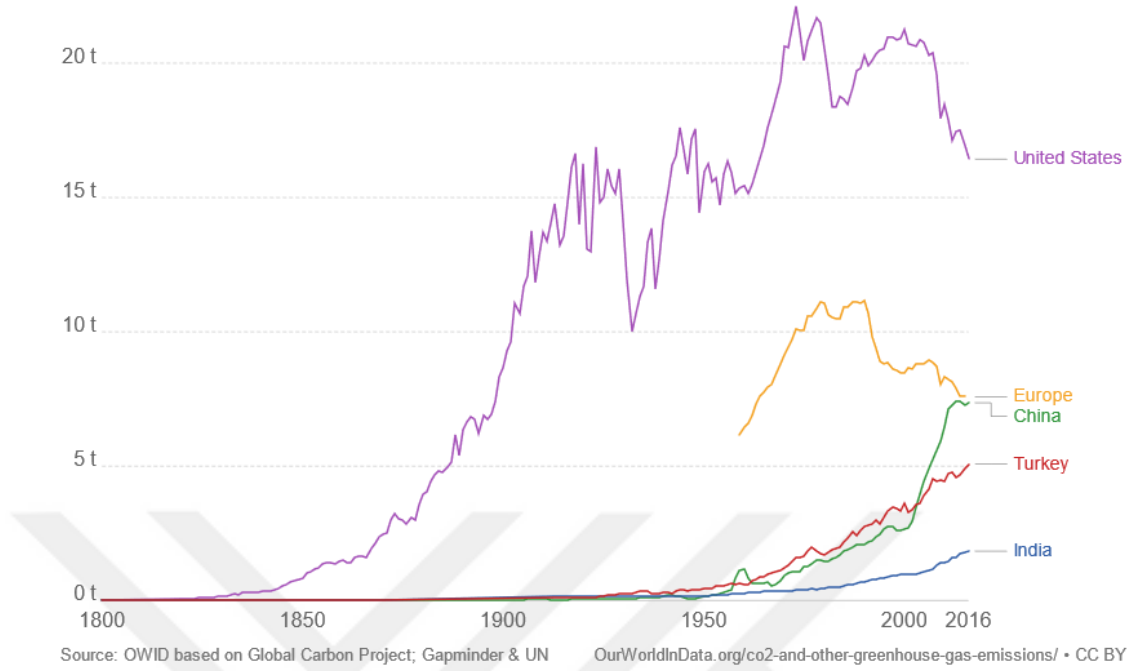
Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

Bazı ülkelerin yıllık toplam CO₂ salımları Şekil 10'da gösterilmiştir.

Buna göre, şu anda dünyada en çok CO₂ salımı yapan ülke Çin'dir. Ardından ABD, EU28 Bölgesi (Avrupa Birliği), Hindistan, Rusya, Endonezya, Brezilya, Japonya, Kanada ve Meksika gelmektedir. Özellikle, son dönemde Çin'in toplam karbon salımındaki yukarı yönlü ivmelenmesi oldukça dikkat çekicidir. Diğer taraftan, ABD ve EU28 bölgesinde 2000'li yıllardan itibaren aşağı yönlü bir değişim olduğu gözlenmektedir.

Türkiye'nin yıllık bazda toplam karbon salımı, yukarıda adı geçen ülkelere nispeten düşük gerçekleşmekte ancak yıllar içinde CO₂ salımının yavaş da olsa arttığı görülmektedir (Şekil 10).

Şekil 11: Bazı Ekonomilerin Kişi Başına CO₂ Salımları



Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

Daha adil bir karşılaştırma yapabilmek için, ülkelerin toplam CO₂ salımından başka, ülkelerin nüfus büyüklüklerini de dikkate alan kişi başına CO₂ salımı grafiği incelendiğinde, önceki tablonun değiştiği görülmektedir (Şekil 11).

Kişi başına CO₂ salımının ülkelere göre dağılımı, öncelikle büyük küresel eşitsizliklerin⁶ bulunduğunu göz önüne sermektedir. Toplam karbon salımında ikinci sırada bulunan ABD, kişi başına CO₂ salımını en çok yapan ülke konumundadır. Onu takip eden Avrupa ve Çin, ABD'nin neredeyse yarısı kadar kişi başına CO₂ salımı yapmaktadır. Diğer yandan, 2000'li yıllardan itibaren ABD'de ve AB'de aşağı yönlü bir değişim gözlenmektedir.

Türkiye'de kişi başına CO₂ salımı giderek artmaktadır. Hindistan'ın neredeyse 2 katı kadar, kişi başına CO₂ salımı yaptığı görülmektedir.

⁶ İklim değişikliğine katkıda bulunan tek sera gazı karbondioksit değildir. Oksit ve metan gibi diğer sera gazlarının etkisi Şekil 11'de yer almamaktadır. Özellikle et ve süt ürünleri gibi yoğun hayvan yetiştiriciliği temelli yiyecek üretimi nedeniyle salınan oksit ve metan gibi gazlar da iklim değişikliğine önemli katkı sağlamaktadır. Onlarında dahil olmasıyla eşitsizliğin daha da artacağı söylenebilir.

2.3. KARBON YOĞUNLUĞU

Karbondioksit salımını etkileyen önemli parametreler, nüfus artışı, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, kişi başına gelir ve ormanlık alanların sayısıdır. Tüm etkenler arasında zincirleme bir ilişki söz konusudur. Nüfus yoğunluğu ekonomik üretimi, üretim enerji tüketimini, enerji tüketimi ise fosil yakıt kaynaklı karbondioksit salımını ve neticesinde toplam CO₂ salımını etkiler (Güllü, 2015, s. 6).

Karbon yoğunluğu, birim GDP başına salınan CO₂ miktarı olarak ölçülür. Karbon yoğunluğunun azalması, aynı GDP düzeyinin, daha az CO₂ salımı ile elde edilmesi anlamına gelir. Bir ekonominin CO₂ yoğunluğunu etkileyebilecek iki temel değişken vardır:

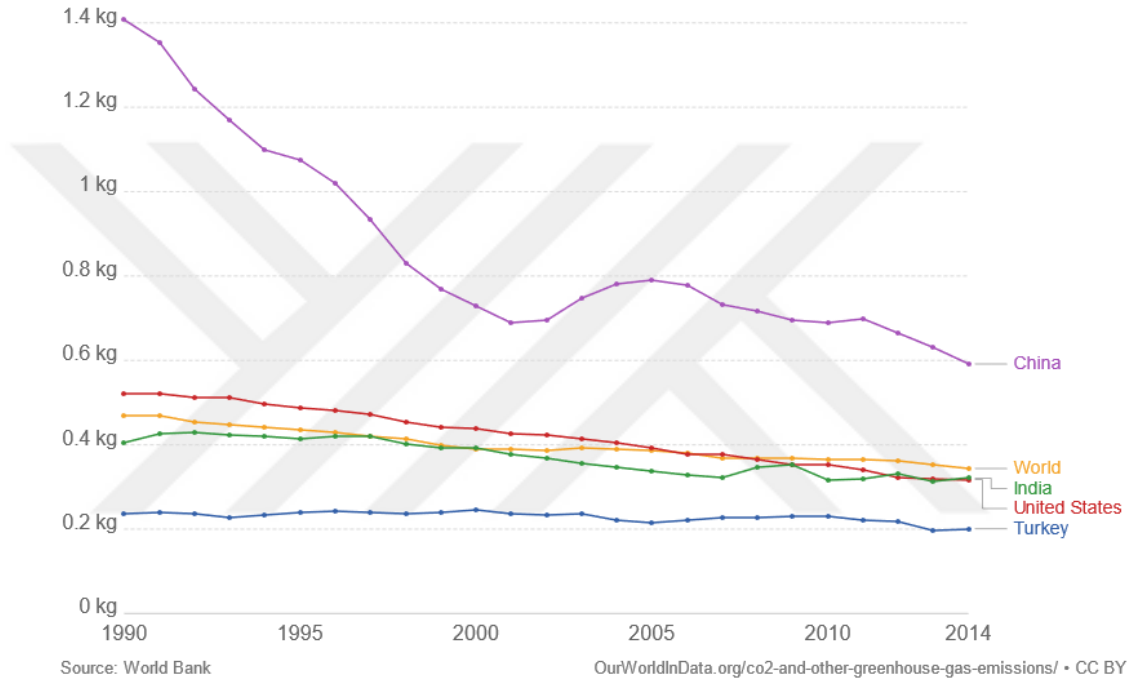
Enerji verimliliği: Bir birim GDP üretmek için ihtiyaç duyulan enerji miktarıdır. Bu genellikle teknoloji verimliliği ile ilgilidir, ancak aynı zamanda üretimin temelini oluşturan ekonomik faaliyet türü ile de ilgili olabilir. Bir ülkenin ekonomisi imalattan hizmet temelli üretime geçtiğinde, üretimde daha az enerji gerekir, dolayısıyla GDP birimi başına daha az enerji kullanılır.

Karbon verimi: Birim enerji başına salınan CO₂ miktarıdır. Büyük ölçüde bir ülkenin enerji karması ile ilgilidir. Kömür enerjisiyle çalışan bir ekonomi, birim enerji başına daha yüksek CO₂ salımı üretir. Bunun yerine yüksek oranda yenilenebilir enerji ile çalışan bir ekonomide, daha az CO₂ salımı üretilecektir. Ekonomiler, yenilenebilir kapasite paylarını arttırdıkça verimlilik artar ve birim enerji başına salınan CO₂ miktarı düşer.

Şekil 12’de, bazı ekonomilerin CO₂ yoğunluğunun yıllara göre değişimi verilmiştir. Şekilden, küresel CO₂ yoğunluğunun 1990’dan bu yana istikrarlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedenleri, enerji ve teknoloji verimliliğinin artarak ekonomik çıktının daha az CO₂ salınan süreçlerle elde edilmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek artan oranda kullanıma sokulmasıdır.

Şekil 12: Bazı Ekonomilerin CO₂ Yoğunlukları

Karbondiyoksit (CO₂) yoğunluğu, birim GDP başına kilogram CO₂ olarak ölçülür (2011 uluslararası- \$).



Kaynak: (Ritchie & Roser, CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, 2017)

Son yıllarda, neredeyse tüm ulusal ekonomilerin karbon yoğunluğu düşmektedir. Yoğunluktaki bu düşüş hem yüksek gelir grubundaki hem de geçiş ekonomilerindeki iyileşmeden kaynaklanmaktadır. Özellikle, Çin’in göstermiş olduğu kayda değer karbon yoğunluğu düşüşünün ardında, üretim teknolojisinin ve sanayi sektörünün hızlı bir şekilde modernize edilmesi bulunmaktadır. Bu, enerji verimliliğini arttırmış ve verimlilik artışı da karbon yoğunluğunda sürekli düşüş yaşanmasına neden olmuştur (Ritchie & Roser, 2017).

Türkiye’de karbon yoğunluğu, dünya ortalamasının altında ve genel olarak sabit iken, son yıllarda kademeli bir düşüş göstermiştir (Şekil 12).

3. BÖLÜM: ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON SALIMI İLİŞKİSİ

3.1. TEORİK YAKLAŞIMLAR

Ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevresel bozulma konularında farklı görüşler bulunmaktadır. Çevre konularında iktisadi düşüncenin gelişimi ve kayda değer tartışmaların başlangıcı 17.yüzyıla kadar uzanmaktadır.

3.1.1. Mekanist Görüş

Ekonomi biliminin başlangıç safhalarında doğanın sınırsız ve bitmek bilmez bir kaynak olduğu görüşü hakimdir. Çevre “serbest” bir mal olarak kabul edilmiştir. Doğa, insanlığın her türlü kullanımına açık, sonsuza kadar var olacak ve kendini sürekli yenileyebilme gücü olan bir varlık olarak görülmüştür. Bu nedenle, doğal kaynakların tükenmesi ve çevre kirlenmesi iktisat teorisi içinde yer almamıştır (Dağdemir, 2015, s. 43).

Klasik iktisatçılar, enerjiyi, üretim faktörlerinden biri olarak görmemelerine rağmen, doğanın, iktisadi büyüme üzerindeki sınırlayıcı etkilerini anlamışlardır. Adam Smith (1723-1790), ekonomik büyümenin sınırını doğal kaynakların sınırına bağlamıştır. Thomas Malthus (1766-1834), ekilebilir arazilerin sınırlı olması nedeniyle gıda üretiminin, sürekli artan nüfusa ayak uyduramayacağına vurgu yapmıştır. David Ricardo (1772-1823) teorisini, verimli toprakların sınırlı olması üzerine kurmuştur. Karl Marx (1818-1883), sonraki kuşaklar için doğanın korunması gerektiğine vurgu yaparak, günümüzün sürdürülebilir kalkınma olgusuna işaret etmiştir. (Dağdemir, 2015, s. 44-47)

Çoğu Neo-klasik iktisatçı, enerji ve enerji kaynaklarının iktisadi büyüme üzerindeki etkisini göz ardı etmiş ve enerjiyi bir üretim faktörü olarak ele almamıştır. (Alam, 2006, s. 4). Fakat, W. Stanley Jevons (1835-1882), ilk defa enerji sorununu,

iktisadi büyümenin kısıtı olarak gündeme getirmiştir. Kömür rezervlerinin bitişiyile, sanayi üretiminin sürdürülmesinin mümkün olmayacağını ifade etmiştir. Leon Walras (1834-1910), çevre ekonomisinin temel araçlarından etkinlik ve optimalite kavramlarını, iktisat teorisine kazandırmıştır. Alfred Marshall (1842-1924), fayda ve zarar analizi yaparak geleceğe yönelik karar verebilen “basiretli iktisadi insan” tanımını yapmıştır. Bu bağlamda, çevreye verilen zararın, insanın uzun dönemli çıkarlarıyla uyuşmayacağı görüşündedir. A.Cecil Pigou (1877-1959), bireylerin rasyonel olmayan tercihleri nedeniyle, bireysel çıkar ile toplumsal çıkarın her daim uyuşmayacağını, çevre problemleri ve dışsallıklar üzerinden ifade etmiştir. Vilfredo Pareto (1843-1923), “yeni refah kuramı”nı geliştirerek, optimal kaynak dağılımını sağlayan genel denge şartlarını araştırmıştır. Doğal kaynakların kullanımı ve çevre sorunlarının oluşturduğu dışsallıklar üzerinden denge koşulunu araştırması, çevre ekonomisine katkı sağlamıştır (Dağdemir, 2015, s. 49-51).

3.1.2. Ekolojik Görüş

1960’larda çevre sorunları yaygınlaşmaya başlamış, iktisadi faaliyetler nedeniyle ortaya çıkan çevre tahribatının önemi fark edilerek, çevre sorunlarının çözümünde farklı görüş ve çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Bunun sonucunda 1970’lere gelindiğinde “ekolojik iktisat” ortaya çıkmıştır.

Ekolojik açıdan, yaşamın kalitesi ve toplumsal refah, çevrenin kalitesiyle doğrudan ilgilidir. Buna göre, uzun vadeli iktisadi büyüme hedefleri ile çevresel hedeflerin uyuşmadığı, üretim, tüketim ve nüfus büyüklüklerinin sürdürülebilir bir seviyeye çekilmediği sürece iktisadi çöküşün kaçınılmaz olduğu ileri sürülmüştür (Dağdemir, 2015, s. 55).

E. F. Schumacher, 1970’li yılların başında yayınladığı “Small is Beautiful” adlı kitabında, mevcut ekonomik faaliyetlerin ve teknolojik uygulamaların, ekolojik sistemin sınırlarını zorladığını ifade etmiştir (Dağdemir, 2015, s. 56).

1972 yılında Roma Kulübü tarafından yayımlanan “Büyümenin Sınırları (The Limits to Growth)” adlı rapor ile nüfus, sanayileşme, gıda üretimi, çevre kirliliği ve yenilenemez enerji kaynaklarının tüketiminde mevcut akım değişmezse, gelecek yüzyılda dünyadaki büyüme sınırına ulaşılacağı ifade edilmiştir. Bunun sonucunda ise dünya sanayileşme kapasitesinde ve nüfusunda, beklenmedik ve kontrol edilemez bir azalış olacağı vurgulanmıştır (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972). Rapor, dünya ekonomilerinin dikkatini büyüme ve çevre arasındaki ilişkiye çekmiştir.

Ekolojik iktisat, çevre problemlerinin çözümü hususunda, hakim görüş olan neo-klasik iktisada eleştiriler getirmiş ve faydacı, bireyci ve soyut piyasa mekanizması yerine, çevreci ve insancıl önerilerde bulunarak, hem çevre hem de sosyal sorunları içeren alternatif bir paradigma haline gelmiştir (Öztürk, 2007, s. 65-66).

3.1.3. Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir bir kalkınma anlayışı, sürdürülebilir bir çevre anlayışı ile birlikte hareket etmek durumundadır. Doğal kaynakların sürdürülebilirliği ancak bu şekilde mümkün olabilir. Sürdürülebilir kalkınma kavramı, doğal kaynakların ve enerjinin etkin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynakların yaygınlaşmasını ve geri kazanım gibi hususları içermektedir (Karabıçak & Özdemir, 2015, s. 47-48).

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez 1987 Brundtland Raporunda kullanılmıştır⁷. Geleneksel kalkınma kavramı, sadece maddi zenginliklerin büyümesine odaklanır ve ekonomik büyümeyi birinci hedef olarak alırken (Albayrak & Gökçe, 2015, s. 282), raporda ifade edilen temel görüş, kısa dönemli ekonomik yararlar yerine çok uzun dönemli ve gelecek kuşakların ekonomik ve toplumsal çıkarlarını da göz önünde tutarak, doğal kaynakları tüketmeden, sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlayan bir kalkınma stratejisi izlenmesi gerektiğidir (Karabıçak & Özdemir, 2015, s. 45). Bu rapora göre öngörülen kalkınma modeli, çevre ve

⁷ Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından, 1987 yılında, dönemin Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland başkanlığında hazırlanan, “Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)” adı altında yayımlanan rapor.

kalkınma arasındaki dengeyi sağlayan, çevre üzerindeki baskıyı artırmayan ve kaynakları tüketmeyen bir ekonomik büyüme modelidir (Aksu, 2011, s. 14).

Brundtland Raporu, sürdürülebilirlik kavramını, “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişim” olarak tanımlamıştır (Adams, 2006, s. 1). Sürdürülebilir kalkınma, çevreye zarar vermeksizin ekonomik büyümenin, refah artışının ve sanayileşmenin başarılması olarak görülmüştür. Ekonomik gelişmenin “sürdürülebilir” olması, insanlığın çıkış yolu olarak kabul edilmiştir.

Rapor, çevre ekonomisi açısından dönüm noktası niteliğindedir. Kıyamet günü senaryolarının aksine, geleceğe ilişkin olumlu bir bakış açısı geliştirerek, sürdürülebilir kalkınmanın mümkün olduğunu ortaya koymuştur (Dağdemir, 2015, s. 59-60).

3.1.4. Çevresel Kuznets Eğrisi

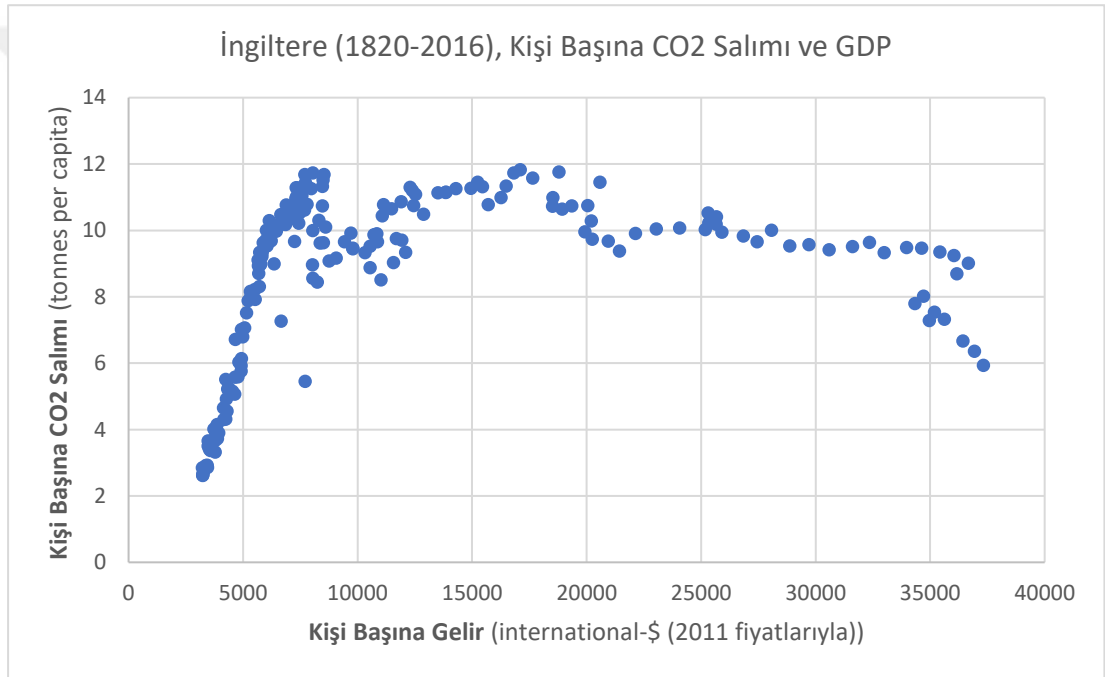
İktisat literatüründeki önemli tartışma konularından biri ekonomik büyüme ile bunun getirdiği çevresel dışsallıkların ilişkisidir. Çevresel kirlilik ile ilgili araştırmalar, Simon Kuznets’in ekonomik büyüme ile gelir dağılımı arasındaki ilişkiyi açıkladığı çalışması çerçevesinde ele alınmaktadır. Kuznets, ülkelerin gelir düzeyi ile gelir dağılımı arasında ters-U biçiminde bir ilişki olduğunu, kalkınmanın ilk safhalarında bozulan gelir dağılımının, kalkınmanın ileri safhalarında düzeleceğini ve eşitsizliğin zamanla ortadan kalkacağını ileri sürmüştür (Kuznets, 1955).

Benzer yaklaşım, ilk defa Grossman ve Krueger (1991) tarafından, kişi başına gelir ile çevre kirliliği arasında kurulmuştur. İktisadi büyümenin ilk yıllarında çevresel bozulmanın (kirliliğin) artacağı fakat büyümenin ilerleyen safhalarında, kirliliğin azalacağı savunulmaktadır. Buna göre, kalkınma sürecinin başlarında olan bir ekonomide, üretim artışıyla birlikte doğal kaynaklar hızla tüketilmekte ve buna bağlı olarak atıklar (çevre kirliliği) yüksek düzeyde olmaktadır. Ancak kalkınma ilerledikçe, çevre dostu teknolojiler gelişir, üretim yapısı ağırlıklı olarak imalat sanayinden

hizmetler sektörüne doğru kayar, insanlar bilinçlenir ve yeşil/temiz bir çevreye olan talep artar. Bu, çevresel koşullarda iyileşmeye neden olur. Başka bir ifadeyle, ekonomik büyüme bir seviyeye kadar beraberinde çevre kirliliğini de getirir, fakat belli bir gelir seviyesinden sonra çevre kirliliği azalacaktır (Grossman & Krueger, 1991).

Literatürde, ekonomik büyüme ile çevresel dışsallık arasındaki ilişkiyi açıklayan bu hipoteze, Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC, Environmental Kuznets Curve) hipotezi ismi verilmektedir (Uysal & Yapraklı, 2016, s. 190).

Şekil 13: Çevresel Kuznets Eğrisi: İngiltere'nin Yolu (1820-2016)



Veri Seti: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Şekil 13, İngiltere'nin 1820-2016 dönemine ait, kişi başına CO₂ salımı ve kişi başına gelir veri serileri kullanılarak çizilmiştir. Buna göre, kişi başına gelir seviyesi ile çevre kirliliği seviyesi belli bir düzeye kadar beraber ilerlemekte, daha sonra kişi başına gelir seviyesi artmaya devam ederken çevre kirliliğindeki artış durmakta ve daha ileri safhalarda azalmaya başlamaktadır. İngiltere'ye ait tarihsel veriler ile çizilen grafik, EKC hipotezinde ifade edilen biçimde bir yol izlemektedir.

CO₂ salımı, EKC modellerinde kirletici veya çevreyi bozucu nitelikteki göstergelerden (değişkenler) biri olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, ekonomik büyümenin göstergelerinden birisi de daha fazla enerji kullanımınıdır. Günümüzde, enerji ihtiyacının büyük bölümünün fosil yakıt kaynaklarından sağlandığı göz önünde bulundurulduğunda, enerji tüketimi ile çevresel bozulmanın ilişkisi, iktisat literatüründeki önemli konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır.



3.2. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Enerji tüketimi ile çevre kirliliği konusunda, dünya genelinde, birçok araştırma, tek tek ülke bazında olduğu kadar, bir bölgenin tamamı için de yapılmaktadır. Araştırmalarda kullanılan değişkenlerin, genellikle, ekonomik büyüme ile enerji tüketimi ve/veya karbon salımı gibi zamansal veriler olduğu görülmektedir.

Zhang ve diğerleri (2019) yaptıkları makalede, 1996-2015 yılları arasında Çin'de tarım sektöründeki ekonomik büyüme, karbon emisyonları ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Araştırmalarında, autoregressive distributed lag (ARDL) modelini, vektör hata düzeltme modeli temelli Granger nedensellik testini, impulse response ve variance decomposition yönetimi kullanmıştır. Sonuçların, Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini desteklediğini ifade ederek, tarımsal karbon emisyonları ile tarımsal ekonomik büyüme arasında hem kısa vadede hem de uzun vadede, çift yönlü bir nedensellik olduğunu tespit etmiştir. Buna ek olarak, tarımsal enerji tüketiminden hem tarımsal karbon salımına hem de tarımsal ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedenselliğin bulunduğunu ortaya koymuştur.

Batmaz, Bayraç ve Güllü (2019), Türkiye için 1985-2014 yıllarını içeren verilerle, yenilenebilir enerji kullanımı ile CO₂ salımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi eş-bütünleşme ve Granger nedensellik testi uygulayarak incelemiştir. Analiz sonucunda, ekonomik büyüme ile CO₂ salımı arasında doğrusal olmayan uzun dönemli pozitif bir ilişki bulunduğu tespit etmiştir.

Gün (2019), Türkiye ve Gürcistan için 1997-2014 dönemi verileri vasıtasıyla, CO₂ salımı, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Analiz için panel veri eş-bütünleşme testleri yapmış ve Gürcistan ile Türkiye için değişkenler arasında önemli bir ilişki bulunduğunu ifade etmiştir. Elde ettiği sonuçlar, ekonomik genişleme arttıkça ülkelerin çok fazla karbondioksit saldıgını göstermektedir. Analiz sonuçları, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin genel varsayımları ile tutarlıdır.

Nathaniel ve Iheonu (2019), Augmented Mean Group (AMG) tahmin tekniğini kullanarak 1990'dan 2014'e Afrika'daki 19 ülke için, CO₂ salımının azaltılmasında yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin önemini araştırmıştır. Bulgular değişkenler arasındaki eş-bütünleşmeyi doğrulamış, yenilenebilir enerjinin Afrika'daki CO₂ emisyonlarını önemsiz şekilde engellemesine karşın, yenilenemeyen enerjinin CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjiden CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik gözlemlenmiştir.

Akbulut Bekar (2018) makalesinde, Türkiye için 1977-2014 dönemi verileriyle, CO₂ emisyonu ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi, Toda-Yamamoto ve Dolado-Lütkepohl VAR nedensellik yöntemlerini kullanarak incelenmiştir. CO₂ emisyonundan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü ve pozitif bir nedensellik tespit etmiştir.

Başar ve Akyol (2018), 81 ülkenin 1992-2013 dönemini panel veri analizi ile araştırmıştır. Edindikleri sonuçlar, araştırma ülkelerinde, enerji tüketiminin iktisadi büyüme üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkisi olduğu yönündedir. CO₂ salımının ise iktisadi büyüme üzerindeki etkisi, anlamlı ve pozitif yönlüdür. Buna göre araştırma ülkelerinde ekonomik kalkınmaya bağlı olarak sanayide birincil enerji kaynaklarının kullanımının artması, CO₂ salımını ve dolayısıyla da iktisadi büyümeyi arttırmıştır.

Dam (2018), AB ülkeleri için 2000-2015 dönemi verileri vasıtasıyla ekonomik büyüme ile enerji tüketiminin, çevre kirliliği üzerindeki etkisini panel veri analiziyle araştırmıştır. Kişi başına GSYİH, kişi başına enerji tüketimi ve kişi başına CO₂ salımının değişken olarak alındığı ve “çift yönlü sabit etkiler modeliyle” tahmin edilen modelden elde ettiği sonuçlar, enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu şeklindedir.

Kara (2018) yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'de, 1960-2014 dönemi için ekonomik büyümenin ve dış ticaret açıklığının, CO₂ salımı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Analiz için standart IPAT modelini baz alarak, yapısal kırılmalı ARDL modelini uygulamıştır. Nedensellik ilişkisini belirlemek için ise Toda Yamamoto

testini kullanmıştır. Testlerin sonucunda, ekonomik büyüme, uluslararası ticaret ve CO₂ salımı arasında uzun vadeli bir ilişki yani eş-bütünleşme olduğunu tespit etmiştir.

Kızılkaya (2018), Türkiye için 1960-2015 dönemi veri setiyle, büyüme ve enerji tüketimi ilişkisini incelemiştir. Değişkenlere, Bayer ve Hanck (2012) tarafından önerilen eş-bütünleşme testini uygulamış ve büyüme ile enerji tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunmadığı sonucuna ulaşmıştır. Nedensellik ilişkisinin tespiti için bootstrap nedensellik testini kullanmış ve büyüme ile enerji tüketimi arasında nedensellik bulunmadığını ifade etmiştir.

Külünk (2018), Türkiye'nin 1960-2013 dönemini kapsayan verilerle, ekonomik büyüme ve karbon salımı ilişkisini Engle-Granger eş-bütünleşme analizi ile araştırmış ve ekonomik büyüme ile CO₂ salımı arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, Granger nedensellik analizi neticesinde, CO₂ salımından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik bulunduğunu saptamıştır.

Sancar Özkök ve Atay Polat (2018), G7 ülkelerinde CO₂ salımı, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmış, veri seti olarak, G7 ülkelerinin 1980-2011 dönemini almış ve panel birim kök, panel eş bütünleşme ve panel nedensellik testlerini uygulamıştır. Birim kök testi sonuçlarına göre, seviyesinde durağan olmayan değişkenlerin uzun dönemde eş-bütünleşik olduğu tespit edilmiş ve panel nedensellik analizi sonuçlarına göre, G7 ülkeleri için CO₂ salımı ile GSYH ve enerji tüketimi ile GSYH arasında çift yönlü nedensellik bulunduğunu ifade etmiştir.

Beşer ve Hızarcı Beşer (2017) makalelerinde, enerji tüketimi ve CO₂ salımı arasındaki ilişkiyi, Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) bağlamında incelemiştir. Türkiye 1960-2015 verilerini kullanarak ARDL-sınır testi aracılığıyla uzun dönemli ilişki araştırılmıştır. Araştırma sonuçları, çıktının, enerji kullanımı ve CO₂ salımı için anlamlı bir belirleyici olduğunu göstermektedir. CO₂ salımı-çıktı ve enerji tüketimi-çıktı arasındaki ters-U şeklindeki ilişki, enerji tüketiminin ve çevresel bozulmanın, çıktı ile birlikte arttıktan sonra azalmaya başladığını göstermektedir. Türkiye için EKC'nin geçerli olduğunu tespit etmiştir.

Çağlar ve Mert (2017), Türkiye’de 1960-2013 dönemi verilerini kullanarak, CO₂ salımı, gayri safi yurtiçi hasıla ve yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik tüketimi arasındaki uzun dönem ilişkisi, tek ve çift yapısal kırılmalı birim kök testleri ve yapısal kırılmaya izin veren koentegrasyon analizleri ile araştırmıştır. Testler neticesinde, yenilenebilir kaynaklı enerji tüketiminin, CO₂ salımını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak, Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Türkiye’de geçerli olduğu belirtilmiştir.

Karaaslan, Abar ve Çamkaya (2017), 34 OECD ülkesi için 1990-2012 dönemi veri setiyle, büyüme, CO₂ salımı, enerji kullanımı, nüfus artışı, kişi başına milli gelir (KBMG) ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkiyi Panel ARDL modeli ile incelemiştir. Uzun dönemde, OECD ülkelerinde, büyüme ile CO₂ salımı arasında aynı yönlü; nüfus artışı ile CO₂ salımı arasında ters yönlü; yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ salımı arasında ters yönlü bir ilişki tespit etmiştir. Kısa dönemde ise, nüfus artışı ile CO₂ salımı ve enerji kullanımı ile CO₂ salımı arasında aynı yönlü bir ilişki olduğunu sonucuna ulaşmıştır. Türkiye’de kısa dönemde; enerji kullanımı ile CO₂ salımı ve KBMG ile CO₂ salımı arasında aynı yönlü; büyüme ile CO₂ salımı ve yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ salımı arasında ters yönlü bir ilişki tespit etmiştir.

Şimşek ve Yiğit (2017) yaptıkları makalede, BRICT ülkelerinde, 1990-2015 dönemine ait verilerle, yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ salımı, petrol fiyatları, kentleşme ve kişi başına reel gayrisafi yurtiçi hasıla arasındaki etkileşimi, Panel VAR analizi yaparak araştırmış ve uygulanan Dumitrescu Hurlin panel nedensellik testi sonucunda, GSYİH’den yenilenebilir enerjiye, CO₂ salımına, petrol fiyatlarına ve kentleşmeye doğru tek yönlü bir nedensellik tespit etmiştir.

Tunçsiper ve Uçar (2017), Türkiye’nin 1980-2011 dönemi yıllık verileri ile Türkiye’de, Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin geçerliliğini araştırmış ve CO₂ salımı ile kişi başına gelir arasındaki nedensellik analizi için Granger nedensellik testini yapmıştır. Analiz neticesinde, değişkenler arasında bir nedensellik tespit edilemediğini ifade ederek, Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin, Türkiye ekonomisi için geçerli olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Yazıcı (2017) yaptığı yüksek lisans tezinde, 2006-2014 dönemi için, az gelişmiş ülke grubunda 32, gelişmekte olan ülke grubunda 24 ve gelişmiş ülke gruplamasında 44 ülkeyi analize tabi tutmuştur. Üç farklı ülke grubu için ayrı ayrı VAR modeli tahmin etmiş ve Granger nedensellik testlerini uygulayarak, elde ettiği sonuçları, Etki-Tepki fonksiyonu ile değerlendirmiştir. Ekonometrik analizde CO₂ salımı, büyüme oranı ve küresel rekabet endeksi verilerini kullanarak, değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve boyutunu ülke gruplarına göre karşılaştırılmalı olarak araştırmıştır. Sonuç olarak, ilişkilerin gelişmişlik düzeyine göre farklılaştığını tespit etmiştir.

Doğan ve Topallı (2016), 1965-2013 dönemi için Türkiye’de, enerji tüketimi, CO₂ salımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi test etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan nedensellik analizi yapmıştır. Doğrusal Granger nedensellik analizi sonucunda, enerji tüketiminden CO₂ salımına ve ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik; ancak enerji tüketimi ve CO₂ salımı arasında herhangi bir nedensellik bulunmadığını tespit etmiştir. Doğrusal olmayan nedensellik testi sonuçları ise enerji tüketimi ve ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve CO₂ salımı arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur.

Uysal ve Yapraklı (2016), Türkiye’de 1968-2011 verilerini kullanarak, kişi başına gelir, CO₂ salımı ve kişi başına enerji tüketimi arasındaki uzun dönemli ilişkiyi analiz etmek için yapısal kırılmaları dikkate alan Hatemi-J (2008) eş-bütünleşme testini uygulamış ve uzun dönemde enerji tüketimindeki artışın, CO₂ salımını yükselttiğini tespit etmiştir. Ayrıca, gelir seviyesindeki artışların, CO₂ salımını azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

Topallı (2016), 1980-2010 dönemi için Çin, Brezilya ve Güney Afrika ülkelerini ele almış, CO₂ salımı ve ekonomik büyüme değişkenleri arasındaki ilişkiyi, panel eş-bütünleşme testi ve panel VECM nedensellik analizi kullanarak araştırmıştır. Çalışma sonucunda, ilgili ülkelerde ekonomik büyümenin yüzde 1 artmasının, CO₂ salımını yaklaşık yüzde 0,55 yükselttiğini tespit etmiştir. Ek olarak, ülkelerin bireysel sonuçları, ekonomi büyüdükçe CO₂ salımında ciddi artışların olduğu göstermiştir. Panel VECM nedensellik testi sonuçları hem kısa dönemde hem de uzun dönemde

ekonomik büyümeden CO₂ salımına doğru tek yönlü nedensellik bulunduğunu göstermektedir.

Büyükyılmaz (2015) yapmış olduğu doktora tezinde, MS-VAR modelleme yaklaşımı kullanarak Avusturya, Kanada, Portekiz, İsveç, Amerika, Finlandiya, Avustralya ve Türkiye'nin de yer aldığı 8 OECD ülkesinin 1961-2011 dönemini kapsayan yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ salımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Elde ettiği bulgular, CO₂ salımı ve ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında rejimlere göre değişen bir nedensellik ilişkisinin olduğu şeklindedir. Türkiye'de ekonomik büyüme ile CO₂ salımının arasında çift yönlü bir Granger nedenselliğin bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir Granger nedenselliğin bulunduğunu ortaya koymuştur.

Çoban (2015) makalesinde, Türkiye için 1990-2012 yılları arasında, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi, enerji sektörü temelli kişi başına CO₂ salımı ve kişi başına GSYİH arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Analiz neticesinde, enerji kaynaklı CO₂ salımı ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında koentegrasyon bulunduğunu ve yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ salımı arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu tespit etmiştir. Ek olarak, yenilenebilir enerji tüketiminin, enerji kaynaklı CO₂ salımını negatif yönde etkilediğini, GSYİH'daki artışların ise CO₂ salımını pozitif yönde etkilediğini tespit etmiştir.

Güllü (2015) yüksek lisans tezinde, MIST ülkeleri için (Meksika, Endonezya, Güney Kore ve Türkiye) 1971-2010 yılları arasında, ekonomik büyüme ile CO₂ salımı ve enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisini, Johansen Eş-bütünleşme testi ve Granger nedensellik testi uygulayarak incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre MIST ülkelerinde, ekonomik büyümeden, enerji tüketimi ve CO₂ salımına doğru tek yönlü nedensellik bulunduğunu tespit etmiştir. Ters yönlü, yani CO₂ salımı ve enerji tüketiminden, ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik eğiliminin bulunmadığını ifade etmiştir. Ekonomik büyüme değişiminin, CO₂ salımı ve enerji tüketimi değişiminden önce geldiğini belirlemiştir.

Saidi ve Hammami (2015), 1990-2012 döneminde, 58 ülke için global bir panel vasıtasıyla, Method of Moments (GMM) ile tahmin edilen dinamik panel veri modelini kullanarak, ekonomik büyümenin ve CO₂ salımının enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hem küresel hem de üç bölge için (“Avrupa ve Kuzey Asya Ülkeleri”, “Latin Amerika ve Karayipler Bölgesi” ve “Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Sahraaltı Bölgeleri”) panel veri modelini tahmin etmiş ve küresel panelde, ekonomik büyümenin enerji kullanımı üzerindeki etkisinin olumlu ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu; tüm panellerde, CO₂ salımının enerji tüketimi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğunu tespit etmiştir.

Külünk (2013) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, Türkiye için 1980-2011 dönemi verileriyle, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi ilişkisini karbon salınımı da ekleyerek incelemiştir. Granger nedensellik analizi uygulayarak, enerji tüketimi ve CO₂ salınımı arasında çift yönlü bir nedensellik bulunduğu sonucuna ulaşmıştır.

El Hedi Arouri ve diğerleri (2012), 12 tane Orta Doğu ve Kuzey Afrika Ülkesi-MENA Ülkeleri için (Cezayir, Mısır, Ürdün, Lübnan, Fas, Tunus, Bahreyn, Kuveyt, Birleşik Arap Emirlikleri, Umman, Katar ve Suudi Arabistan) 1981-2005 dönemi verileriyle, karbondioksit emisyonları, enerji tüketimi ve reel GDP arasındaki ilişkiyi eş-bütünleşme teknikleri uygulayarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar, uzun vadede enerji tüketiminin CO₂ salımı üzerinde pozitif etkisi olduğu yönündedir. Dahası, bölgenin tamamı için Reel GDP'nin, CO₂ salımı ile ikinci dereceden bir ilişki sergilediği tespit edilmiştir.

Gönül (2012) yüksek lisans tezinde, yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ salımı arasındaki uzun dönemli ilişkiyi saptamaya çalışmıştır. Çalışmada Amerika için 1949-2009 yılları arasındaki veri setini ve değişken olarak karbondioksit emisyonu, toplam yenilenebilir enerji kullanım miktarı ve reel gayrisafi yurtiçi hasılayı kullanarak, Gregory-Hansen eş-bütünleşme testi ile Zivot Andrews birim kök testini uygulamıştır. Veri setine göre Amerika'da yapısal kırılma gözlenen tarihleri belirlemiştir. Elde ettiği bulgulara göre, yenilenebilir enerji tüketimi, gelir ve CO₂ salımı arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığı sonucuna varmıştır.

Koçak (2012) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye’de enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve CO₂ salımı arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı çerçevesinde incelemiştir. Buna göre, Çevresel Kuznets Yaklaşımı hipotezini destekler bir sonuca ulaşamamıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelediğinde, kişi başına CO₂ salımı üzerinde, kişi başına GSYİH’nın negatif, kişi başına enerji kullanımının pozitif bir etkisi olduğunu tespit etmiştir.

Arı ve Zeren (2011), Akdeniz ülkelerine ait 2000-2005 verileri vasıtasıyla CO₂ salımı ile kişi başına gelir arasındaki ilişkiyi sorgulamış ve Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini, panel veri yöntemi ile test etmiştir. Bulguları, CO₂ salımı ile kişi başına gelir arasındaki ilişkinin N şeklinde olduğunu ve CO₂ salımının, yüksek ekonomik büyüme düzeylerinde de artabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışmalarında, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin, çevre kirliliği üzerindeki etkisi de incelenmiş, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin, CO₂ salımını pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Doğan (2010) tez çalışmasında, Türkiye için 1980-2008 dönemi verilerini kullanarak, GSMH ile enerji tüketimi arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkileri incelemiştir. Yaptığı koentegrasyon testi, enerji tüketimi ve GSMH arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını; Granger nedensellik testi ise, enerji tüketiminden GSMH değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin bulunduğunu göstermiştir.

Öztürk ve Acaravcı (2010), Türkiye’nin 1968-2005 dönemi için ekonomik büyüme, enerji tüketimi, CO₂ salımı ve istihdam arasındaki uzun dönem ve nedensel ilişki konularını incelemiştir. Araştırmada, ARDL yaklaşımı ile eş-bütünleşme ve hata düzeltme temelli Granger nedensellik testini kullanmıştır. Buna göre kişi başına düşen reel GDP’den, kişi başına karbon emisyonuna doğru Granger nedenselliğe rastlamamış, daha ilginç bir sonuç olarak, ana karbondioksit salım kaynağı enerji olmasına rağmen, CO₂ emisyonları ile enerji tüketimi arasında nedensel bir ilişkinin bulunmadığını ifade etmiştir.

Soytaş ve Sarı (2009), Türkiye için 1960-2000 dönemi verilerini kullanarak ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları arasındaki uzun vadeli Granger nedensellik ilişkisini incelemiştir. Sonuç olarak, CO₂ salımının Granger enerji tüketimine neden olduğunu, bunun tersinin doğru olmadığını tespit etmiştir.

Zhang ve Cheng (2009), Çin'deki ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonu arasındaki Granger nedenselliğinin varlığını ve yönünü araştırmış ve 1960-2007 dönemine ilişkin yaptıkları ampirik analizde, uzun dönemde GDP'den enerji tüketimine doğru tek yönlü bir Granger nedensellik ile enerji tüketiminden CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir Granger nedensellik tespit etmiştir. Ne karbon emisyonlarının ne de enerji tüketiminin ekonomik büyümeye yol açmadığını ifade etmiştir.

3.3. EKONOMETRİK ANALİZ

3.3.1. Veri Seti ve Model

Bu tez çalışmasında, Türkiye için 1985-2015 dönemine ait yıllık, birim GDP başına enerji kullanımı (enerji yoğunluğu) ve birim GDP başına karbon salımı (karbon yoğunluğu) veri seti kullanılmıştır. Dünya Bankası'nın World Development Indicators (WDI)⁸ adlı elektronik veri tabanından elde edilen veri seti, iki adet değişken (x ve y) içeren, denklem (1)'e göre modellenmiştir.

$$y_t = f(x_t) \quad (1)$$

Modelde kullanılan değişkenler şöyle oluşturulmuştur; toplam enerji kullanımı ve toplam karbon salımı değişkenlerinin birimleri “kg petrol eşdeğeri” cinsine dönüştürülerek eşitlenmiştir. Her iki değişken, GDP (sabit 2010 US\$)'ye bölünerek,

⁸ Veri Seti: WDI (<https://databank.worldbank.org/data/source/world-development-indicators>) ve 2015 yılı CO₂ verisi Knoema (<https://knoema.com/atlas/Turkey/topics/Energy/Total-Energy/Carbon-dioxide-emissions>)

enerji yoğunluğu (ENR) ve karbon yoğunluğu (CO₂) verisi elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlamalar Tablo 2’de gösterilmiştir;

Tablo 2: Değişkenlere İlişkin Tanımlamalar

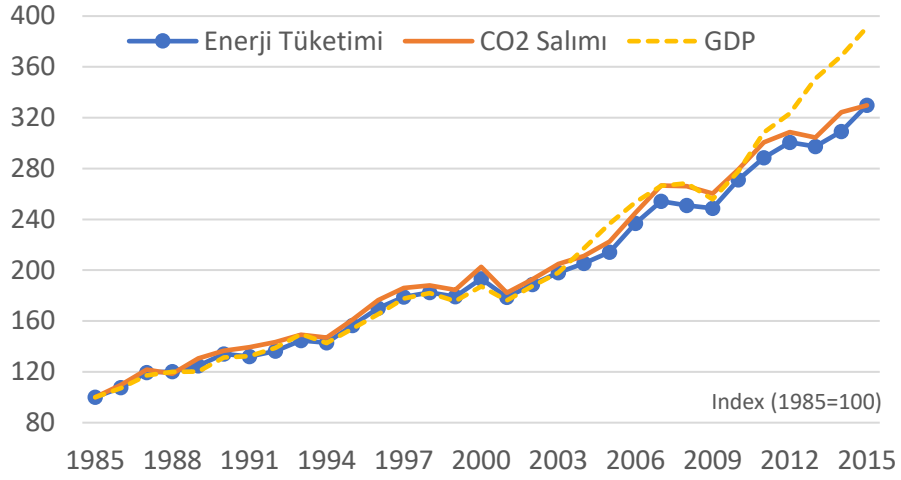
Değişkenler	Tanım	Veriler*
ENR (Enerji Yoğunluğu)	1 birim GDP üretmek için tüketilen enerji miktarı.	$\frac{\text{Toplam Enerji Tüketimi}}{GDP}$
CO₂ (Karbon Yoğunluğu)	1 birim GDP üretimi sonucunda salınan CO ₂ gazı.	$\frac{\text{Toplam Karbon Salımı}}{GDP}$

* Türkiye, 1985-2015 dönemi, yıllık (31 gözlem). US\$ başına, kg petrol eşdeğeri.

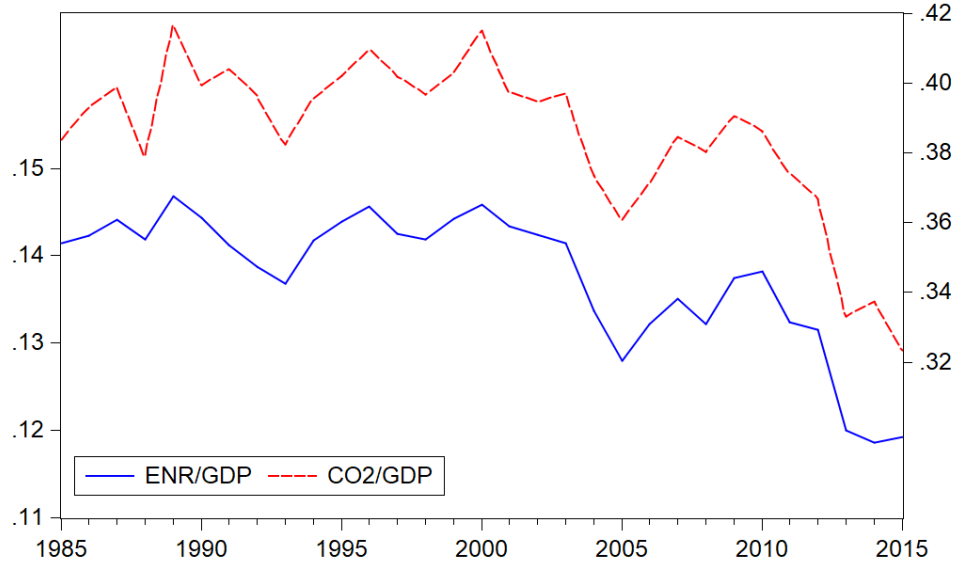
Modelde kullanılan “y” değişkeni karbon yoğunluğunu (CO₂), “x” değişkeni enerji yoğunluğu (ENR) göstermektedir. İlerleyen bölümlerde gösterilen ve değişkenlerin önünde yer alan “Log” ve “Δ” sembolleri, ilgili değişkenin sırasıyla “doğal logaritmasının” ve “birinci farkının” alındığını ifade etmektedir.

Analize başlamadan önce, araştırma konusu değişkenlere ait verilerle çizilen, görsel olarak açıklayıcı grafikler aşağıda verilmiştir.

Şekil 14, Dünya Bankası elektronik veri tabanından derlenen ve Türkiye için 1985-2015 dönemine ait yıllık toplam verilerle, 1985=100 şeklinde endeksenerek hazırlanmıştır. Şekilde toplam enerji tüketimi, CO₂ salımı ve GDP değişkenlerinin genel olarak birbirlerine benzer biçimde hareket ettiği görülmektedir. Ancak 2010 sonrasında, enerji tüketimi ve CO₂ salımı değişkenleri beraber hareket etmeye devam ederken, GDP değişkeninin diğer iki değişkenden ayrıldığı ve farklı bir yol izlemeye başladığı da görülmektedir.

Şekil 14: Türkiye'de Enerji Tüketimi, CO₂ Salımı ve GDP (1985-2015)

Şekil 15'te, çalışmada kullanılan enerji yoğunluğu ile CO₂ yoğunluğu değişkenlerinin zaman içinde birlikte hareket ettikleri daha yakından görülmektedir. İlave olarak, dönemler ilerledikçe iki değişken arasındaki açıklığın kapandığı, giderek birbirlerine yaklaştıkları da görülmektedir.

Şekil 15: Türkiye'de Enerji Yoğunluğu ve CO₂ Yoğunluğu (1985-2015)

3.3.2. Yöntem

Zaman serileri, değişkenlerin değerinin bir dönemden diğerine ardışık olarak gözleendiği sayısal büyüklüklerdir. Zaman serileri modellemesi ve analizi vasıtasıyla, bir serinin özellikleri özetlenir ve serinin göze çarpan yapısı ortaya koyulmaya çalışılır. Temel amaç, gözlenen (gerçekleşen) verilerden hareketle, zamana bağlı yapının sunduğu bilginin anlaşılmasına çalışılması ve geleceğe ilişkin doğru ön raporların üretilmesidir (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 48).

Zaman serileri ile yapılan ampirik çalışmalarda, değişkenlerin “durağan” olduğu yani varyanslarının ve ortalamalarının zaman içinde değişmediği varsayılır. Etkin ve tutarlı tahminler için bu varsayım gereklidir.

Bu çalışmada uygulanan ekonometrik analiz şu sırayla ilerlemektedir. İlk olarak, değişken serilerinin durağanlıkları birim kök testi vasıtasıyla tespit edilmiş, ardından, değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisi araştırılmış ve son olarak nedensellik ilişkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.3.2.1. Birim Kök (Unit Root) Testi

Değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerinin araştırılmasından önce, değişkenlerin birim kök içerip içermediğinin ve hangi mertebede durağanlaştıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, değişkenlerin durağanlık mertebesini tespit etmek amacıyla “Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF)” birim kök testi” uygulanmıştır. Dickey ve Fuller (1979) tarafından ortaya konan sabitli (denklem 2) ve trendli-sabitli (denklem 3) versiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

$$\Delta x_t = \delta_0 + \delta_1 x_{t-1} + \sum_{i=1}^g \beta_i \Delta x_{t-i} + \eta_t \quad (2)$$

$$\Delta x_t = \delta_0 + \delta_1 x_{t-1} + \sum_{i=1}^g \beta_i \Delta x_{t-i} + \eta_t + \delta_2 t \quad (3)$$

Bu regresyon denklemlerinde; x_t ilgilenilen seriyi (ENR ve CO2), Δ fark operatörünü, δ ile β parametreleri, g denkleme ilave edilen bağımlı değişken gecikmelerini, t deterministik trendi ve η_t hata terimini ifade etmektedir. Ele alınan serinin durağanlık durumunu tespit etmek için δ_1 parametresi incelenir. Denklemden $\delta_1 = 0$ biçiminde gösterilen H_0 hipotezinin reddedildiği mertebede (MacKinnon (1996) tek yönlü tablo değerlerine göre) x_t serisinin durağan olduğuna karar verilir (Dickey & Fuller, 1979).

Denklemden yer alan gecikme (g) sayısının ne olacağını belirlemek için sıklıkla Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Schwarz bilgi kriteri (SIC) kullanılır. AIC ve SIC değeri en düşük olan gecikme sayısı, en uygun gecikmedir (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 337).

Birim kök testi uygulanacak modelde, sabit veya trend terimlerinin olup olmaması, test sonuçlarını değiştirebilir. Diğer bir ifadeyle, sabit ve trend terimlerinin bulunması gereken bir modelde, bu terimlerin eklenmemeleri (veya tam tersi), spesifikasyon hatasına yol açarak, testin gücünün düşmesine neden olur (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 357).

Bu nedenle, tez çalışmasında hem sabitli hem de trendli-sabitli ADF versiyonu kullanılarak birim kök testleri yapılmış ve spesifikasyon hatasından kaçınılmaya gayret edilmiştir. Değişkenlerin durağanlaştığı meritebe, çalışmanın bulgular bölümünde sunulmuştur.

3.3.2.2. Engle-Granger Koentegrasyon (Eş-bütünleşim) Yaklaşımı

Koentegrasyon, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin istatistiksel olarak tespit edilmesidir. Eğer değişkenler koentegre ise, “aralarında uzun dönemli birlikte hareket ettikleri bir denge ilişkisi” söz konudur (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 559). Başka bir ifadeyle, uzun dönemde birlikte dengeye geliyorlar demektir.

Çalışmada, değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisini tespit etmek için çift aşamalı “Engle-Granger Koentegrasyon Testi” uygulanmıştır (Engle & Granger, 1987). Engle-Granger koentegrasyon yaklaşımında, modeldeki tüm değişkenlerin, aynı mertebeden durağan olması gerekmektedir. Bu tespit yapıldıktan sonra, tahmin edilen denklem modeline ait hata terimleri oluşturulur ve oluşturulan hata terimlerine birim kök testi uygulanır. Hata terimlerinin, seviyelerinde (sıfırıncı mertebede) durağan olmalarına göre karar verilir.

Testin birinci adımı, regresyon modelinin (denklem 4 ve 5), sıradan en küçük kareler (OLS) yöntemi kullanılarak tahmin edilmesidir. Model tahmininde, değişkenlerin (y ve x) durağanlaştıkları mertebenin⁹ bir alt seviyesi kullanılır ve ardından modele ilişkin hata terimleri oluşturulur.

$$y_t = \lambda_0 + \lambda_1 x_t + \sigma_{1,t} \quad (4)$$

$$x_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_t + \sigma_{2,t} \quad (5)$$

İkinci adım, denklem (4) ve (5)’ten elde edilen ve dengeden sapmayı gösteren hata terimlerinin ($\sigma_{1,t}$) birim kök testinin yapılmasıdır. Bunun için, önceki bölümde açıklanan ADF birim kök testi kullanılmıştır. Ana model sabit terimli ve trendli-sabitli oluşturulduğu için, hata terimlerine uygulanacak model, ADF testinin “sabitsiz ve trendsiz” versiyonu olmalıdır (denklem 6).

$$\Delta\sigma_{i,t} = \varphi\sigma_{i,t-1} + \sum_{i=1}^n \varphi_i \Delta\sigma_{i,t-i} + v_t \quad , (i=1,2) \quad (6)$$

Buna göre, eğer hata terimleri "seviyelerinde" durağanlarsa, "dengeden sapma yoktur". Başka bir deyişle, x ve y değişkenleri koentegredir (eş-tümleşiktir). Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığından söz edilir (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 562-563).

⁹ Değişkenlerin durağanlaştıkları mertebe, “birim kök testi” vasıtasıyla bir önceki aşamada tespit edilir.

3.3.2.3. Hata Düzeltme Modeli Analizi

Koentegrasyon analizinde önemli bir konu “Granger temsil teoremi”dir. Buna göre, iki değişken koentegre ise, bu değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. Fakat, kısa dönemde, değişkenler arasında bir dengesizlik meydana gelecektir. Bu dengesizlik, Hata Düzeltme Modeli ile düzeltilir (Sevüktekin & Çınar, 2014, s. 565).

Aralarında uzun dönemli bir ilişki bulunan iki değişken arasındaki nedensel ilişkileri araştırmak için denklem (7) ve (8)’de gösterilen hata düzeltme modelleri, OLS yöntemi kullanılarak tahmin edilir.

$$\Delta y_t = \alpha + \beta_{11}\sigma_{1,t-1} + \sum_{i=1}^z \lambda_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^w \phi_i \Delta x_{t-i} + \eta_{1,t} \quad (7)$$

$$\Delta x_t = \alpha + \beta_{12}\sigma_{2,t-1} + \sum_{i=1}^m \theta_i \Delta x_{t-i} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta y_{t-i} + \eta_{2,t} \quad (8)$$

Denklem (7) ve (8)’de; x ve y harfleri, aralarında nedensel ilişkilerin araştırıldığı değişkenleri; $\alpha, \beta, \lambda, \phi, \theta, \delta$ sabit ve katsayıları; z,w,m,k harfleri ilgili değişkenin gecikme uzunluklarını; σ ile η hata terimlerini göstermektedir.

Hata düzeltme mekanizmasının çalışması için, hata düzeltme katsayısının $-1 < \beta_{11,12} < 0$ olması gerekir. Hata terimlerinin 1. gecikmesine ait bu katsayı, kısa dönemde bir sapma olursa, uzun dönemde tekrar dengeye dönüş hızını göstermektedir.

Hata düzeltme modelinde, nedensel ilişkiler aşağıdaki şekilde belirlenir:

- Model (7) için; $\sum_{i=1}^w \phi_i = 0$ ve/veya $\beta_{11} = 0$ hipotezlerinin reddedilmesi, x’den y’ye doğru nedensel ilişkinin bulunduğunu gösterirken,
- Model (8) için; $\sum_{i=1}^k \delta_i = 0$ ve/veya $\beta_{12} = 0$ hipotezlerinin reddedilmesi, y’den x’e doğru nedensel ilişkinin bulunduğunu gösterir (Gujarati, 2004).

Çalışmada, en uygun gecikme uzunluğu sayılarının belirlenmesi için yine Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılmıştır. Tüm denemelerden elde edilen AIC değerleri ve en düşük değeri veren gecikme sayısı, bulgular bölümünde verilmiştir.

3.4. BULGULAR

3.4.1. Birim Kök Testi Sonuçları

Tez çalışmasına, değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkilerinin araştırılmasından önce, değişkenlerde birim kökün varlığı ve mertebesinin tespiti ile başlanmıştır. Çalışmada hem sabitli hem de trendli-sabitli ADF birim kök testleri yapılarak, değişkenlerin durağanlık mertebesi araştırılmıştır. Değişkenlere ait ADF birim kök test sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabitli ADF	Trendli-Sabitli ADF
LogENR	-0.217 (-2.619) [0]	-1.830 (-3.215) [0]
Δ LogENR	-5.152 (-2.619) [0]	-5.448 (-3.215) [0]
LogCO2	-0.884 (-2.619) [0]	-2.395 (-3.215) [0]
Δ LogCO2	-6.343 (-2.619) [0]	-7.366 (-3.215) [0]

Not: Tabloda parantez içinde gösterilen değerler, %10 anlamlılık düzeyinde tek yönlü (MacKinnon, 1996) tablo değerleridir. Gecikme uzunluğunun tespitinde Akaike Bilgi Kriteri kullanılmış (en fazla 7 gecikmeli) ve tüm testlerde “sıfır” [0] bulunmuştur. Sonuçlar tabloda köşeli parantez içinde gösterilmektedir.

Durağanlık Şartı: Hesaplanan “Test Değeri”, “MacKinnon Tablo Değeri”nden küçük ise, ilgili değişken durağandır.

Ulaşılan bulgular şöyledir;

- LogENR değişkeninin hem sabitli hem de trendli-sabitli ADF versiyonu, seviyesinde birim kök taşımaktadır.
- LogENR değişkeninin 1.devresel farkını gösteren Δ LogENR değişkeninin, sabitli ve trendli-sabitli ADF versiyonları birim kök taşımamakta, başka bir ifade ile 1.devresel farklarında durağan olmaktadır.
- LogCO2 değişkenin, her iki ADF versiyonu için seviyesinde durağan olmadığı, ancak 1.devresel farkında (Δ LogCO2) durağanlaştığı tespit edilmiştir.

3.4.2. Engle-Granger Koentegrasyon (Eş-bütünleşim) Analizi Sonuçları

Birim kök testi sonucunda, tüm değişkenlerin, değişim oranlarını gösteren 1.devresel farklarında durağan olmaları nedeniyle, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin araştırılabilmesi mümkündür. Bu tez çalışmasında, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi test etmek amacıyla “Engle-Granger Koentegrasyon Analizi” kullanılmıştır.

Bağımlı değişkenin hangi değişken olması gerektiği hususunda, her ne kadar önsel olarak bilgi sahibi olunsa bile, uzun dönem denge denklemini oluştururken, her iki değişkenin de bağımlı değişken olarak yer aldığı iki model oluşturulmuştur. Karbon yoğunluğu ile enerji yoğunluğu arasındaki uzun dönem denklemlerinden elde edilen “hata terimlerine” ilişkin ADF test sonuçları Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4: Engle-Granger Koentegrasyon Analizi Sonuçları

Model	ADF İstatistikleri		Anlamlılığı (Prob.)
	(σ_1)	(σ_2)	
$LogCO2 = \lambda_0 + \lambda_1 LogENR + \sigma_1$	-4.887*	-	0.000
$LogENR = \alpha_0 + \alpha_1 LogCO2 + \sigma_2$	-	-4.620*	0.000
Uzun dönem (koentegre) denklemi: $LogCO2 = 1.01^{**} + 0.99^{**} \cdot LogENR$			

Not: * MacKinnon (1996) tek yönlü tablo değeri, 0.01 anlamlılık seviyesinde -2.644’tür.

** İlgili katsayının 0.01 önem seviyesinde, istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

Karar Şartı: Hesaplanan ADF istatistiği, MacKinnon (1996) tablo değerinden küçük ise, hata terimi durağandır.

Tablodan elde edilen bulgular;

- Karbon yoğunluğu (LogCO2) ile enerji yoğunluğu (LogENR) arasındaki uzun dönem denklemlerinden elde edilen hata terimleri, iki modele göre de birim kök taşımamaktadır. Hata terimlerinin durağan olması, iki değişkenin koentegre (eştümleşik) olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle, bu iki değişken arasında uzun dönemli bir ilişki vardır, uzun dönemde birlikte dengeye gelmektedirler.

- Uzun dönem denklemine göre, enerji yoğunluğu ile karbon yoğunluğu arasında pozitif bir ilişki bulunmakta ve enerji yoğunluğu değişkenindeki %1'lik değişim, karbon yoğunluğu değişkenini aynı yönde %0.99 değiştirmektedir.

3.4.3. Hata Düzeltme Modeli Sonuçları

Koentegre olmaları nedeniyle LogCO₂ ve LogENR değişkenleri arasındaki neden sonuç ilişkisi, “Hata Düzeltme Modeli” vasıtasıyla araştırılmıştır.

Optimum gecikme uzunluğu sayılarının tespitinde Akaike bilgi kriteri (AIC) kullanılmış ve test, her iki model için de tekrarlanmıştır. Aynı değişkene ait denemesi yapılan tüm gecikmelerden elde edilen AIC sonuçları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Optimum Gecikme Uzunluğunun Tespiti

Akaike Bilgi Kriteri (AIC) Sonuçları				
z	$\Delta\text{LogENR} \rightarrow \Delta\text{LogCO}_2$		$\Delta\text{LogCO}_2 \rightarrow \Delta\text{LogENR}$	
5	-3.619	-3.557	-3.984	-4.005
4	-3.612	-3.600	-3.867	-4.024
3	-3.620	-3.655	-3.923	-3.975
2	-3.670	-3.721	-3.975	-4.041
1	-3.733	-3.787	-4.029	-4.096

Notlar: z : Gecikme uzunluğu sayısını göstermektedir. Tabloda, her iki model için, ilk sütunda, bağımsız değişken gecikmelerine ait değerler; ikinci sütunda ise bağımlı değişkenin kendi gecikmelerine ait değerler verilmektedir.

\rightarrow : Nedensel ilişkinin yönünü ifade eder.

Maksimum gecikme uzunluğu 5 (beş) olarak alınmıştır.

Karar Şartı: En düşük AIC değerini veren gecikme sayısı, ilgili değişken için en uygun gecikmedir.

Denemeler sonunda en düşük AIC değerini veren gecikme sayısı, ilgili değişken için en uygun gecikmedir. Tablo 5’te, her iki modelde de tüm değişkenler için en uygun gecikme uzunluğunun 1 (bir) olduğu görülmektedir.

Tespit edilen optimum gecikme uzunlukları kullanılarak, Enerji Yoğunluğu ile Karbon Yoğunluğu arasında yapılan nedensellik analizi Tablo 6’da özetlenmiştir;

Tablo 6: Hata Düzeltme Modeli Sonuçları

BOŞ Hipotezi (H_0)	z	F-testi (Prob.)	HDK (Prob.)	Karar
ΔLogENR , ΔLogCO_2 'nin Granger nedeni değildir	1	0.331 (0.567)	-0.965 (0.042)	H_0 reddedilir.
ΔLogCO_2 , ΔLogENR 'nin Granger nedeni değildir	1	0.004 (0.947)	-0.165 (0.674)	H_0 kabul edilir.

Notlar: z : Bağımsız değişkene ait en uygun gecikme uzunluğunu,
HDK : Hata Düzeltme Katsayısını (σ_1 'in katsayısıdır ve değeri -1 ile 0 arasında olmak zorundadır),
F-test : Açıklayıcı değişken gecikmelerinin bütün olarak sıfıra eşit olduğunu gösteren F istatistiğini,
Parantez içi değerler, ilgili istatistiğin, istatistiksel olarak anlamlılık düzeyini, göstermektedir.
Karar şartı: F-istatistiği "Prob." değeri ve/veya HDK "Prob." değeri 0.05'ten küçük ise, H_0 reddedilir.

Elde edilen bulgular şöyledir;

- Hata düzeltme katsayısının (HDK) istatistiksel olarak anlamlı olması sebebiyle, Enerji Yoğunluğu büyüme oranının (ΔLogENR), Karbon Yoğunluğu büyüme oranına (ΔLogCO_2) neden olmadığını ifade eden H_0 hipotezi reddedilir. Başka bir deyişle, Enerji Yoğunluğu büyüme oranından, Karbon Yoğunluğu büyüme oranına doğru nedensel ilişki tespit edilmiştir.
- Diğer taraftan, Karbon Yoğunluğu büyüme oranının, Enerji Yoğunluğu büyüme oranına neden olmadığını hem hata düzeltme katsayısının hem de F istatistiğinin anlamlı olmamasından anlaşılmaktadır.
- Hata düzeltme terimi katsayısı “-0.965” olarak bulunmuştur. Başka bir ifadeyle, uzun dönem dengesinde, kısa dönemde oluşabilecek bir dengesizliğin %96'sı her dönem (yıl) düzeltilmektedir. Kısa dönemdeki sapmalar, uzun dönemde dengeye gelmektedir.
- Sonuç olarak, zaman içinde meydana gelen iki olaydan hangisinin daha önce gerçekleştiğini ifade eden nedensellik analizi neticesinde, enerji tüketiminde, karbon salımına doğru, tek yönlü neden sonuç ilişkisi tespit edilmiştir.

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, enerji tüketimi ile karbon salımı arasındaki uzun dönemli ilişki, 1985-2015 dönemi yıllık veri seti kullanılarak, Genişletilmiş Dickey-Fuller birim kök testi, iki aşamalı Engle-Granger koentegrasyon (eş-bütünleşme) testi ve Hata Düzeltme Modeli çerçevesinde Türkiye için araştırılmıştır.

Modelde kullanılan veriler, birim GDP başına enerji tüketimi ve karbon salımı miktarlarıdır. Başka bir ifadeyle, bir birim GDP üretmek için tüketilen enerji miktarı (enerji yoğunluğu) ile yine bir birim GDP üretimi nedeniyle salınan CO₂ miktarı (karbon yoğunluğu) arasındaki uzun dönem ilişkisi incelenmiştir.

Analize, değişken serilerine ADF birim kök testi yapılarak başlanmış ve enerji yoğunluğu ile karbon yoğunluğu değişkenlerinin birinci devresel farklarında durağanlaştıkları tespit edilmiştir. Devamında yapılan Engle-Granger koentegrasyon testi sonucu, enerji yoğunluğu ile karbon yoğunluğu arasında uzun dönemli ve aynı yönlü bir ilişki olduğu saptanmıştır. Son olarak, hata düzeltme modeli vasıtasıyla yapılan nedensellik analizinin sonucuna göre, enerji yoğunluğundan, karbon yoğunluğuna doğru tek yönlü nedensellik bulunmuştur.

Ekonomik büyüme süreci, aslında, insan emeğinin verimliliğini ve etkinliğini arttırmak üzere daha fazla enerji kullanma sürecidir. “Kişi başına düşen enerji miktarı refah düzeyinin en iyi göstergelerinden biridir” (Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972). Buradan hareketle, iktisadi olarak ana hedefin, enerji kullanımını düşürmekten ziyade, enerji yoğunluğunu düşürerek, enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamak olduğu söylenebilir.

Hem enerji yoğunluğunu hem de karbon yoğunluğunu düşürmek hedeflenen, istenilen bir durumdur. Enerji yoğunluğunun azalması (enerji etkinliğinin artırılması), sürdürülebilir bir ekonomik büyümeyi, daha az karbon salımı ile sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle, 1 birim GDP üretimi, daha az enerji tüketilerek gerçekleştirildiğinde, aynı

GDP seviyesinde daha az CO₂ salımı yapılmaktadır. Enerji yoğunluğunun azalması için, mevcut GDP seviyesi düşürülmeden, üretim teknolojisinin geliştirilerek daha çevreci teknolojilerin üretim süreçlerine sokulması veya ülkenin üretim yapısının ağırlıklı olarak imalat sektöründen hizmetler sektörüne doğru kaydırılması gibi enerji tüketimini azaltan bir durumun oluşması gerekir. Bu durum, ekonomik kalkınmanın ilerleyen safhalarında oluşur.

Karbon yoğunluğunu düşüren bir diğer etmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının ağırlığının artmasıdır. 1980-90'lı yıllarda ortaya çıkan yenilenebilir enerji kaynakları, 2016 itibarıyla, dünya toplam birincil enerji arzı içinde %13.7'lik bir paya sahiptir. Enerji sistemlerindeki dönüşümlerin tarihsel süreçte yavaş ilerlediği, yeni bir enerji kaynağının ortaya çıkışı ile yaygınlaşması arasında uzun bir zaman bulunduğu görülmektedir. Bu durumun uzun vadeli yapılan altyapı yatırımlarıyla bağlantılı olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişteki yavaş ilerlemeyi açıklamaktadır.

Türkiye'de hem enerji yoğunluğu hem de karbon yoğunluğu, dünya ortalamalarının altında seyretmektedir. Ek olarak, veriler, her iki değişkenin değerinde son yıllarda kademeli bir azalış olduğunu da göstermektedir. Enerji yoğunluğunun azalmasının bir nedeni, yukarıda değinildiği gibi, zaman içinde imalat sanayiindeki üretim teknolojisinin gelişmesi olabileceği gibi, üretim yapısının ağırlıklı olarak imalat sektöründen hizmetler sektörüne doğru kayması da olabilir. Diğer yandan, karbon yoğunluğunun azalmasının bir nedeni de Türkiye'de enerji karmasının, yenilenebilir enerji kaynakları lehinde değişmeye başlaması olabilir.

Araştırma konusu faktörlerin Türkiye'deki durumuna ilişkin tespit edilen bu hususlar, daha sonra yapılacak araştırmalar ile incelenebilir niteliktedir.

KAYNAKÇA

- Adams, W. (2006). *The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century*. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting. The World Conservation Union.
- Akbulut Bekar, S. (2018). The Relationship Between CO2 Emission And Economic Growth In Turkey: 1977-2014. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 193-206.
- Aksu, C. (2011). *Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre*. Denizli: GEKA, Güney Ege Kalkınma Ajansı. Haziran 16, 2019 tarihinde http://geka.gov.tr/Dosyalar/o_19v5e00u1ru61bbncf2qmlcpv8.pdf adresinden alındı
- Alam, M. (2006). *Economic Growth with Energy*. MPRA Paper 1260, University Library of Munich.
- Albayrak, E., & Gökçe, A. (2015). Ekonomik Büyüme ve Çevresel Kirlilik İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi ve Türkiye Örneği. *Social Sciences Research Journal*, 4(2), 279-301.
- Arı, A., & Zeren, F. (2011). CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 37-47.
- Başar, S., & Akyol, H. (2018). Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İle İktisadi Büyüme Arasındaki İlişkinin Tespit Edilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 9(23), 332-347.
- Batmaz, T., Bayraç, H. N., & Güllü, M. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Büyüme ve Karbon Emisyonu İlişkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 645-658.

- Beşer, M. K., & Hızarcı Beşer, B. (2017). The Relationship between Energy Consumption, CO2 Emissions and GDP per Capita: A Revisit of the Evidence from Turkey. *Alphanumeric Journal*, 5(3), 354-367. doi:10.17093/alphanumeric.353957
- BP. (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019, 68th Edition*. UK: BP p.l.c. Haziran 02, 2019 tarihinde <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> adresinden alındı
- Büyükyılmaz, A. (2015). *Markov Rejim Değişimli Vektör Otoregresif Modeller ve Doğrusal Olmayan Nedensellik Analizi: OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi, CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki İçin Bir Uygulama*. Doktora Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi.
- Çağlar, A. E., & Mert, M. (2017). Türkiye'de Çevresel Kuznets Hipotezi ve Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Karbon Salımı Üzerine Etkisi: Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Yaklaşımı. *Journal of Management & Economics*, 24(1), 21-38.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla (7 b.)*. (A. Pınarbaşı, Çev.) Ankara: Palme Yayıncılık.
- Çoban, O. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi Karbon ve Emisyonu İlişkisi: TR Örneği. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(38), 195-208.
- Çukurçayır, M. A., & Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(20), 257-278.
- Dağdemir, Ö. (2015). *Çevre Sorunlarına Ekonomik Yaklaşımlar ve Optimal Politika Arayışları (3.Baskı b.)*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Dam, M. M. (2018). Enerji ve Büyümenin Çevre Kirliliğine Etkisi: AB Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 163-174.

- Dickey, D., & Fuller, W. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(336), 427-431.
- Doğan, B. (2010). *Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (1980 - 2008)*. Yüksek Lians Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi.
- Doğan, İ., & Topallı, N. (2016). Milli Gelir, Karbon Emisyonu ve Enerji Tüketimi: Türkiye İçin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Nedensellik Analizi. *Business & Economics Research Journal*, 7(1), 107-121.
- Doğanay, H., & Çoşkun, O. (2017). *Enerji Kaynakları*. Ankara: Pegem Akademi.
- El Hedi Arouri, M., Youssef, A. B., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO2 emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342-349.
- Engle, R., & Granger, C. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Gönül, B. R. (2012). *Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Karbondioksit Emisyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, 3914.
- Gujarati, D. (2004). *Basic Econometrics, 4th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Güllü, M. (2015). *Karbon Emisyonu ve Enerji Tüketiminin Büyüme Üzerindeki Etkileri: Mist Ülkeleri Karşılaştırması*. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı.
- Gün, M. (2019). Cointegration Between Carbon Emission, Economic Growth, and Energy Consumption In Two Neighbor Countries: A Study On Georgia and Turkey. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*(22), 39-50.

- IEA. (2016). *Energy Policies of IEA Countries: Turkey 2016 Review*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/energy-policies-of-iea-countries-turkey-2016-review> adresinden alındı
- IEA. (2017). *Market Report Series: Energy Efficiency 2017*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2017-pdf> adresinden alındı
- IEA. (2018a). *Renewables Information 2018 Overview*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/renewables-information-2018-overview> adresinden alındı
- IEA. (2018b). *Key World Energy Statistics 2018*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018> adresinden alındı
- IEA. (2018c). *Global Energy and CO2 Status Report 2018*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018> adresinden alındı
- IEA. (2018d). *CO2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights*. International Energy Agency. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018> adresinden alındı
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. Mayıs 25, 2019 tarihinde <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> adresinden alındı
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C*. IPCC. Mayıs 28, 2019 tarihinde <https://www.ipcc.ch/sr15/> adresinden alındı
- Kara, İ. M. (2018). *Türkiye’de Karbondioksit Emisyonları, Ekonomik Büyüme ve Ticaret: ARDL Modeli Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi University.
- Karaaslan, A., Abar, H., & Çamkaya, S. (2017). CO2 Salınımı Üzerinde Etkili Olan Faktörlerin Araştırılması: OECD Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Araştırma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1297-1310.

- Karabıçak, M., & Özdemir, M. (2015). Sürdürülebilir Kalkınmanın Kavramsal Temelleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 6(13), 44-49.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji. *Analiz*(197), 1-30.
- Kızılkaya, O. (2018). Türkiye'de Enerji Tüketimi ve Büyüme İlişkisi: Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 59-72.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 32-44.
- Koçak, E. (2012). *Türkiye'nin Enerji Tüketimi İle Karbondioksit Emisyonu Arasındaki İlişkinin Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı Çerçevesinde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- Köse, İ. (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 55-81.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Association*, 45(1), 1-28.
- Külünk, İ. (2013). *Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Çerçevesinde Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Bolu: Abant İzzet Baysal Üniversitesi.
- Külünk, İ. (2018). Türkiye'de Ekonomik Büyüme ve Karbon Salınımı İlişkisi: Engle-Granger Eşbütünleşme Analizi (1960-2013). *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 193-205.
- MacKinnon, J. (1996). Numerical Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests. *Journal of Applied Econometrics*, 11(6), 601-618.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.

- Nathaniel, S. P., & Iheonu, C. O. (2019). Carbon dioxide abatement in Africa: The role of renewable and non-renewable energy consumption. *Science of the Total Environment*, 679, 337–345.
- Öztürk, I., & Acaravcı, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 3220–3225.
- Öztürk, L. (2007). *Sürdürülebilir Kalkınma*. Ankara: İmaj Yayınevi.
- Qiancheng Ma. (1998, March). *Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide*. NASA Science Briefs. Mayıs 25, 2019 tarihinde NASA GISS: https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/ma_01/ adresinden alındı
- Resmi Gazete. (2005, 05 18). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. Türkiye. Mayıs 20, 2019 tarihinde <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm> adresinden alındı
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017, May). *CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions*. Mayıs 25, 2019 tarihinde Our World in Data: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> adresinden alındı
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017). *Energy Production & Changing Energy Sources*. Mayıs 25, 2019 tarihinde Our World in Data: <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources> adresinden alındı
- Saidi, K., & Hammami, S. (2015). The impact of CO2 emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries. *Energy Reports*, 1, 62–70.
- Sancar Özkök, C., & Atay Polat, M. (2018). CO2 Emisyonu- Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: G7 Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*(21), 33-46.
- Sevüktekin, M., & Çınar, M. (2014). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi, EViews Uygulamalı* (4.Baskı b.). Bursa: Dora.

- Soytaş, U., & Sarı, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68, 1667-1675.
- Şimşek, T., & Yiğit, E. (2017). BRICT Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Petrol Fiyatları, CO2 Emisyonu, Kentleşme ve Ekonomik Büyüme Üzerine Nedensellik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 117-136.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2016). *Paris Anlaşması*. Mayıs 25, 2019 tarihinde T.C. Dışişleri Bakanlığı: <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> adresinden alındı
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*. Sayı 15, Ankara. Haziran 02, 2019 tarihinde https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2fSayi_15.pdf adresinden alındı
- Topallı, N. (2016). CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika için Panel Veri Analizi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 6(1), 427-447.
- Tunçsiper, B., & Uçar, B. (2017). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Türkiye için geçerliliğinin sınanması: Granger Nedensellik Analizi. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 3(2), 657-666.
- Uysal, D., & Yapraklı, H. (2016). Kişi Başına Düşen Gelir, Enerji Tüketimi ve Karbondioksit (CO2) Emisyonu Arasındaki İlişkinin Yapısal Kırılmalar Altında Analizi: Türkiye Örneği. *Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*(31), 186-202.
- Uzunoğlu, M., Yüksel, R., & Ok, M. (2001). Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi* (s. 89-95). Kayseri: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Yapraklı, S., & Yurttañıkırmaz, Z. (2012). Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik: Türkiye Üzerine Ekonometrik Bir Analiz. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 195-215.

Yazıcı, M. (2017). *Çevre, Ekonomi İlişisine Farklı Bir Bakış: Küresel Rekabet Gücü, Ekonomik Büyüme ve Karbondioksit Emisyonu*. Bülent Ecevit Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.

Zhang, L., Pang, J., Chen, X., & Lu, Z. (2019). Carbon emissions, energy consumption and economic growth: Evidence from the agricultural sector of China's main grain-producing areas. *Science of the Total Environment*, 665, 1017-1025.

Zhang, X.-P., & Cheng, X.-M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 68, 2706–2712.



EKLER

ARAŞTIRMADA KULLANILAN VERİLER	Yıl	Enerji Yoğunluğu (ENR/GDP)	CO ₂ Yoğunluğu (CO ₂ /GDP)
	1985	0.141407	0.383780
	1986	0.142340	0.392793
	1987	0.144177	0.398742
	1988	0.141850	0.378907
	1989	0.146872	0.416716
	1990	0.144313	0.399285
	1991	0.141264	0.403935
	1992	0.138764	0.396183
	1993	0.136741	0.382515
	1994	0.141729	0.395477
	1995	0.143902	0.401950
	1996	0.145663	0.409653
	1997	0.142457	0.401698
	1998	0.141894	0.396747
	1999	0.144220	0.402799
	2000	0.145805	0.414920
	2001	0.143376	0.397138
	2002	0.142358	0.394497
	2003	0.141435	0.396862
	2004	0.133711	0.373380
	2005	0.127956	0.360705
	2006	0.132146	0.371127
	2007	0.135066	0.384476
	2008	0.132207	0.380345
	2009	0.137441	0.390499
	2010	0.138176	0.386063
	2011	0.132340	0.374076
	2012	0.131539	0.366680
	2013	0.119925	0.333069
	2014	0.118523	0.337389
2015	0.119205	0.323465	

Türkiye, 1985-2015, yıllık (31 gözlem). Sabit 2010 US\$ başına, kg petrol eşdeğeri.

Veri Seti: WDI (<https://databank.worldbank.org/data/source/world-development-indicators>) ve 2015 yılı CO₂ verisi Knoema (<https://knoema.com/atlas/Turkey/topics/Energy/Total-Energy/Carbon-dioxide-emissions>)

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Tirebolu, Giresun'da doğdu. İlköğretimini Giresun'da, orta öğretimini İstanbul Bakırköy Ticaret Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Ankara Gazi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat bölümünden mezun oldu. Askerlik hizmetinin ardından, Ankara Özel Yüce Bilgi Akademisi'nde çalışmaya başladı ve Bilişim Eğitmenliğinden, Kurum Müdürlüğü'ne kadar çeşitli kademelerde sorumluluklar aldı. 2009 yılında başladığı Ankara Özel Yüce Okulları'nda, Bilgi İşlem Müdürü, Bütçe ve Raporlama Yetkilisi ve İdari İşler Koordinatörü görevlerinde bulundu. 2011 yılında, yabancı dilini geliştirmek ve farklı kültürleri tanımak amacıyla bir yıl süresince ABD'de ikamet etti. Halen veri analizi ve bilgi teknolojileri alanlarında çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır.

Ömer Emin DEDE
+90 (532) 237 80 21
omer@emindede.com