

YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON EMİSYONU İLİŞKİSİ: TR ÖRNEĞİ*

Prof. Dr. Orhan ÇOBAN** Yrd. Doç. Dr. Nazan ŞAHBAZ KILINÇ***

Öz

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji kaynakları bakımından önemli potansiyele sahip bir ülkedir. Fosil yakıtlarla kıyaslandığında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin çevreye yaymış olduğu karbon emisyonu düşük seviyelerdedir. Yenilenebilir enerji tüketimi için 2013 ve 2014 yıllarına ait veriler temin edilemediği için çalışmada 1990-2012 dönemi dikkate alınarak, Türkiye’de kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi, enerji sektörü kaynaklı kişi başına karbon emisyonu ve kişi başına GSYİH arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

Analizler sonucu, enerji kaynaklı kişi başına karbon emisyonu ile kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi arasında eş-bütünleşmenin ve kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ile kişi başına karbon emisyonu arasında tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca regresyon analizi sonucunda kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin enerji kaynaklı kişi başına karbon emisyonunu negatif yönde, buna karşın kişi başına GSYİH’daki artışların kişi başına karbon emisyonunu pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Karbon Emisyonu, Granger Nedensellik Testi

RELATIONSHIP BETWEEN RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSIONS: THE CASE OF TURKEY

Abstract

Turkey is a country with regard to high potential for renewable energy sources. In particular, Turkey has significant potential at hydraulic energy, wind energy, solar energy and geothermal energy resources. Compared with fossil fuels, the energy obtained from renewable energy sources at low levels of carbon emission that extends to the environment. The data of 2013 and 2014 could not be provided for renewable energy. In this study, taking account of period of 1990-2012, the relationship between per capita

* Bu çalışma, 24-26 Mayıs 2012 tarihlerinde EYİ-2012, 13. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Konferansı’nda sunulan sözlü bildirinin güncellenmiş halidir.

** Prof. Dr. Selçuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ocoban@selcuk.edu.tr

*** Yrd. Doç. Dr. Kırıkkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, nazan_sahbaz@hotmail.com

consumption of renewable energy in Turkey, per capita carbon emissions from energy sector and per capita GDP were analyzed.

As a result of the analysis, the co-integration between per capita carbon emissions from energy sector and per capita consumption renewable energy and per capita consumption renewable energy between per capita carbon emissions with one-way causal relationship was found. In addition, regression analysis revealed that per capita consumption of renewable energy negatively affect per capita carbon emissions whereas the increase in per capita GDP positively affects per capita carbon emissions.

Key Words: Renewable Energy, Carbon Emissions and Granger Causality Test

1. Giriş

Günümüzde karbon emisyonunun çevreye verdiği zararlar önemli boyutlara ulaşmıştır. Çevreye verilen zararı azaltma hedefine yoğunlaşan Ar-Ge faaliyetleri (karbon tutma ve depolama ve temiz kömür teknolojileri), gaz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olmaktadır. Karbon emisyonlarının büyük bir bölümü enerji sektöründe fosil kaynakların kullanımından kaynaklanmaktadır ve enerji tüketimi arttıkça karbon emisyonu da giderek artmaktadır. Enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar yakılma olayından sonra bir miktar katı ve gaz şeklinde artıklar bırakılmaktadırlar. Bu artıklar herhangi bir şekilde değerlendirilemediği gibi çevre kirliliğine de neden olmaktadır.¹

Enerji sağlamada fosil yakıtlar ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere başlıca iki kaynak vardır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer sanayileşmiş ülkelerde enerjinin neredeyse tamamı kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Kullanımı esnasında ise, enerjinin nasıl üretildiği ya da çevreye vereceği zarar pek fazla göz önünde bulundurulmamaktadır.² Geniş anlamda yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli olarak kendini yenileyen ve daha az kirlüten bir enerji sistemidir. Bu kaynaklar fosil kaynaklar gibi CO₂ içermezler. Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal ve hidro enerjileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının temel çeşitleridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temel avantajı, coğrafi ve jeopolitik durumlarına bağlı olarak dünyanın her tarafında bulunabilmesidir. Diğer bir deyişle, bunlar doğal enerji kaynaklarıdır. Ülkeler bunları ithal etmeye ihtiyaç duymazlar, bu kaynaklar enerjide bağımlılık sorununu hafifletmektedir.³

Atmosferik karbondioksit seviyesi sanayi devriminin başlangıcından bu yana sürekli artmaktadır ve küresel ekonomi büyüdükçe bu düzeyin daha da hızlı artacağı tahmin edilmektedir. Önemli iklim değişiklikleri belli gazların özellikle de karbon gazının atmosferik yoğunluğunun artmasıyla önemli ölçüde ilişkilidir. Yenilenebilir enerji teknolojileri fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında çok düşük ya da sıfıra yakın sera gazı emisyonu üretmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojileri hidro, rüzgar, güneş, jeotermal,

¹ DEKTMK (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi), *Enerji Raporu*, 2010, ss. 150-152.

² H. Geller, *Energy Revolution Policies for a Sustainable Future*, Island Press, Washington DC, 2002, s. 1.

³ E. Kepenek, E. "The idea of Renewable Energy: Policy Lessons for Developing Countries-EuropeanUnionand, 2011, s. 324.

atık enerji ve biokütle enerjisini içermektedir. Ulular arası Enerji Ajansı 2050 yılına kadar petrol talebinde %70 ve karbon emisyonunda %130 artış beklemektedir.⁴

Sera etkisine yol açan karbondioksit emisyonunun büyük bir kısmı enerji üretimi ve tüketiminde fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle fosil yakıt kullanımını azaltmayı ve fosil kaynaklar yerine çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edecek bir vergi politikası çevresel dışsallıkların azaltılmasına katkı sağlayacaktır.⁵

2. Literatür

Gelişmekte olan ve aynı zamanda enerjide mutlak anlamda dışa bağımlı bir konumda olan Türkiye ekonomisinde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Son zamanlarda enerji kaynaklı karbon emisyonlarının olumsuz etkilerini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Sato vd.,⁶ çalışmada karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli, enerjinin önemi ve Japonya'nın gelecekteki enerji sistemlerinin teknoloji seçenekleri analiz edilmiştir. 1990-2050 dönemini analiz etmek için enerji piyasasındaki optimal tahsis modeli olan MARKAL kullanılmıştır. Analiz sonuçları şu şekilde özetlenmektedir: a) nükleer enerjiden faydalanmadan karbon emisyonlarını 1990'daki düzeyinden daha aşağı seviyeye düşürmek oldukça zor olabilir. b) Nükleer enerji harcamaları arttırılarak karbon emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir. c) Nükleer enerji, karbon emisyonlarının kontrol altına alınmasına büyük katkı sağlayabilir.

Liaskas vd.,⁷ çalışmada endüstriyel karbon emisyonlarının düzeyinde değişmeye neden olan faktörlerin belirlenmesini amaçlanmıştır. Araştırmada, cebirsel ayrıştırma yöntemi kullanılarak, çıktı düzeyi, enerji yoğunluğu, yakıt karışımı ve yapısal değişme faktörlerindeki değişimler gözlemlenerek analiz edilmiştir. Çalışmada ekonomik büyümeyi olumsuz etkilemeden karbon emisyonlarını azaltmanın mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Say ve Yücel,⁸ 1970-2002 dönemi için Türkiye enerji sektörünü genel olarak incelemişlerdir. Çalışmada toplam enerji tüketimi ve toplam karbon emisyonları arasındaki

⁴ ASME, (American Society of Mechanical Engineers), Asme General Position Statement On Technology and Policy Recommendations and Goals for Reducing Carbon Dioxide Emissions, 2009, pp. 6-7.

⁵ B. P. Herber and Jose T. Raga "An International Carbon Tax to Combat Global Warming: An Economic and Political Analysis of the European Union Proposal", American Journal of Economics and Sociology, 1995, Vol. 54, No. 3, p. 258.

⁶ O. Sato,, K. Tatematsu and T. Hasegawa, "Reducing Future CO₂ Emissions-The Role of Nuclear Energy", *Progress in Nuclear Energy*, 1998, Vol. 32, No. 314, pp. 323-324.

⁷ K., Liaskas, G. Mavrotas, M. Mandaraka and D. Diakoulaki, "Decomposition of Industrial CO₂ Emissions: The case of European Union", *Energy Economics*, 2000,22, pp. 383.

⁸ N. Say ve M. Yücel, "Energy Consumption and CO₂ Emissions in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on an Economic Growth", 2006, *Energy Policy*, 34, p. 3870.

ilişki analiz edilmiştir. Regresyon analizi sonucunda bu iki değişken arasında güçlü bir ilişki tespit edilmiştir.

Halıcioğlu,⁹ 1960-2005 dönemi için zaman serisi verilerini kullanarak karbon emisyonu, enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret arasındaki nedensellik ilişkisini test etmişlerdir. Ampirik sonuçlara göre, Türkiye’de karbon emisyonunun en önemli açıklayıcıları sırasıyla enerji tüketimi ve dış ticarettir.

Zhang and Cheng,¹⁰ 1960-2007 dönemi için Çin’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasındaki nedenselliğin varlığını ispatlamak için zaman serilerini kullanmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, Gayrisafi yurt içi hasıla ve ekonomik büyüme ile enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasında tek yönlü Granger nedensellik tespit etmişlerdir.

Apergis vd.,¹¹ gelişmiş ve gelişmekte olan 19 ülkede 1984-2007 dönemi için panel hata düzeltme modelini kullanarak karbon emisyonları, nükleer enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini test etmişlerdir. Uzun dönem tahminlerine göre, nükleer enerji tüketimi ve emisyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif bir ilişki söz konusu iken, yenilenebilir enerji tüketimi ve emisyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif bir ilişki söz konusudur. Kısa dönemde nükleer enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığı buna karşın yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azaltmada katkısı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürk ve Acaravcı,¹² otoregresif dağıtılmış gecikme (ARDL) yaklaşımı kullanılarak Türkiye’de 1968-2005 dönemi için ekonomik büyüme, karbon emisyonları, enerji tüketimi ve istihdam oranları arasındaki uzun dönem nedensellik ilişkisini araştırmışlardır. Granger nedensellik testi sonuçlarına göre, kişi başına karbon emisyonu ve kişi başına enerji tüketimi kişi başına reel GSMH’nın nedeni değildir, ancak istihdam oranları kısa dönemde kişi başına reel GSMH’nın nedenidir. Sonuçlara göre, Türkiye’de enerji tüketiminin sınırlandırılması ve karbon emisyonunun kontrolü gibi enerjinin çevreye zarar vermesini engelleme politikaları reel büyüme üzerinde zıt yönlü bir etkiye sahip değildir.

Menyah and Wolde-Rufael,¹³ Güney Afrika’da 1965-2006 dönemi için ekonomik büyüme, kirletici salınım ve enerji tüketimi arasındaki uzun dönem ilişkiyi emek ve

⁹ F. Halıcioğlu, “An Econometric Study of CO₂ Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey”, *Energy Policy*, 2009, 37, p. 1156.

¹⁰ X.P. Zhang and X.M. Cheng, “Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China”, *Ecological Economics*, 2009, 68, p. 2706.

¹¹ N. Apergis, J. Payne, K. Menyah and Y. Rufael, “On the Causal Dynamics Between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth”, *Ecological Economics*, 2010, 69, pp. 2255-2258.

¹² İ. Öztürk ve A. Acaravcı, “CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14, pp. 3220-3222.

¹³ K. Menyah and W.Y. Rufael, “Energy Consumption, Pollutant Emissions and Economic Growth in South Africa”, *Energy Economics*, 2010, p. 1374-1375.

sermaye gibi ek değişkenler kullanarak araştırmışlardır. Eş-bütünleşme için sınır testi yaklaşımını kullanarak değişkenler arasında hem kısa hem de uzun dönem pozitif ilişki ve kirlenici emisyonlar ile ekonomik büyüme arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Pao and Tsai,¹⁴ Brezilya'da 1980-2007 dönemi için kirlenici emisyonlar, enerji tüketimi ve çıktı arasındaki dinamik ilişkiyi test etmişlerdir. Nedensellik sonuçlarına göre, gelir, enerji tüketimi ve emisyonlar arasında çift yönlü güçlü bir nedensellik ilişkisi vardır. Çalışmada Brezilya'nın, emisyonları azaltmak ve ekonomik büyüme üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için enerji altyapı yatırımlarını arttırması ve enerji israfını azaltmak, enerji verimliliğini arttırmak için enerji tasarrufu politikalarını hızlandırması şeklinde ikili bir strateji benimsenmesi önerilmiştir.

Hossain,¹⁵ yeni endüstrilemiş ülkelerde 1971-2007 dönemi için zaman serisi verileri kullanılarak karbon emisyonu, enerji tüketimi, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve kentleşme arasındaki dinamik nedensellik ilişkisi test edilmiştir. Granger nedensellik testi sonuçlarına göre değişkenler arasında uzun dönem nedensellik ilişkisi yoktur, ancak ekonomik büyümeden ticari açıklığa ve karbon salınımlarına, ekonomik büyümeden enerji tüketimine, ticari açıklıktan ekonomik büyümeye, kentleşmeden ekonomik büyümeye, ticari açıklıktan kentleşmeye doğru kısa dönem tek yönlü nedensellik ilişkisi söz konusudur.

Haggan,¹⁶ Kanada sanayi sektöründe uzun dönemde sera gazı emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini 1990-2007 dönemi için araştırmıştır. Ampirik bulgulara göre, uzun dönemde enerji tüketiminin sera gazı emisyonları üzerinde pozitif etkisi söz konusu iken, sera gazı emisyonları ile ekonomik büyüme üzerinde doğrusal olmayan bir ilişki söz konusudur.

3. Enerji Sektörü ve Karbon Emisyonu

1980'lerde küresel iklim değişikliğinin hissedilir boyutlara ulaşmasıyla birlikte, enerji-ekonomi-çevre birlikte değerlendirilmeye başlanmıştır. 1980'lerden sonra, 3E (Energy, Economy, Environment) yaklaşımı olarak da ifade edilen bu yaklaşım, artık zorunluluk gibi algılanmaya başlanmıştır. İklim değişikliklerinin bazı sınırlamaları ve düzenlemeleri gerekli kılmasıyla birlikte, enerji-ekonomi-çevre dünya genelinde ele alınarak çeşitli modeller, yaklaşımlar ve zorunluluklar ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, Rio de Jenario ve Kyoto'da düzenlenen toplantılarla, atmosfere verilen emisyon ve çevre kirliliğine ilişkin bazı düzenlemeler ve zorunluluklar getirilmiştir.

¹⁴ H.T. Pao and C. M. Tsai, "Modeling and Forecasting the CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil", *Energy*, 2011, 36, p. 2450.

¹⁵ M. S. Hossain, "Panel Estimation for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and Urbanization of Newly Industrialized Countries", *Energy Policy*, 2011, 39, p. 6991.

¹⁶ M.H. Haggan, "Greenhouse Gas Emissions, Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis from Canadian Industrial Sector Perspective", *Energy Economics*, 2012, 34, pp. 358-360.

Ekonomik gelişmenin bir sonucu olarak, enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonu giderek artmaktadır. Türkiye’de 1990 yılında 127,2 milyon ton olan CO₂ emisyonu, 2003 yılında 213 milyon tona ulaşmıştır.¹⁷

1990-2013 dönemi için Dünya çapında yenilenebilir enerji tüketim değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketimi (MTEP)*

Enerji Kaynakları	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013
Güneş Enerjisi	0,1	0,1	0,2	0,8	6,9	21,3	28,2
Rüzgâr Enerjisi	0,8	1,9	6,7	23,6	77,7	118,1	142,2
Jeo, Biyokütle ve Diğer	27,7	35,4	44,9	60,7	83,5	101,4	108,9
Toplam Yenilenebilir Enerji Tüketimi	28,6	37,4	51,5	85,1	168,1	240,8	279,3
Toplam Enerji Tüketimi	8.796	9.225	10.066	11.520	12.891	13.330	13.583

Kaynak: Bp Statistical, 2014, Enerdata: 2014.

*MTEP: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri

Tablo 1’de görüldüğü üzere dünya yenilenebilir enerji tüketimi 1990 yılında 28.6 MTEP iken yıllar itibariyle önemli ölçüde artarak 2013 yılında 279.3 MTEP düzeyine yükselmiştir. 1990 yılında 0.1 MTEP olan güneş enerjisi tüketiminin 2005’e kadar önemli bir artış göstermediği, 2010 yılından itibaren kayda değer artışların gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Rüzgar enerjisinin tüketimi 1990 yılında 0.8 MTEP iken 2013 yılında yaklaşık 180 kat artarak 2013 yılında 142.2 MTEP seviyesine ulaşmıştır.

Tablo 2’de Global yenilenebilir enerji senaryosuna ait değerler yer almaktadır.

Tablo 2. Global Yenilenebilir Enerji Senaryosu (2040) (MTEP)*

	2001	2010	2020	2030	2040
Biyokütle	1080	1313	1791	2483	3271
Hidro	32.2	285	358	447	547
Jeotermal	43.2	86	186	333	493
Rüzgâr	4.7	44	266	542	688
Güneş	4.2	15.4	69	260	548

¹⁷ ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), *Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu*, 2005, Ankara.

Fotovoltaik	0.1	2	24	221	784
Gel-git/Dalga Enerjisi	0.05	0.1	0.4	3	20
Toplam yenilenebilir enerji	1.365	1.745	2.964	4.289	6.351
Yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı %	13.6	16.6	23.6	34.7	47.7

Kaynak: Kralova ve Sjöblom, 2010.

*MTEP: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri

Tablo 2’de görüldüğü üzere, toplam yenilenebilir enerji tüketimi 2001 yılında 1.365 MTEP iken 2040 yılında bu miktarın 6.351 MTEP’e ulaşması öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji kaynaklarına olan katkısı 2001 yılında %13.6 iken bu oran 2010 yılında %16.6’ya yükselmiştir ve bu oranın 2040 yılında %47.7’ye yükselmesi beklenmektedir. Enerji sektöründen kaynaklanan karbon emisyonuna ait değerler Tablo 3’te sergilenmektedir.

Tablo 3. Enerji Sektöründen Kaynaklanan Karbon Emisyonu (Milyon Ton)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Orta Doğu	550	763	900	1.166	1.522	1.579	1.647
Çin	2.278	3.058	3.350	5.444	7.295	8.000	8.251
Asya	1.278	1.708	2.140	2.639	3.412	3.502	3.699
Türkiye	127	153	201	216	266	286	302
OECD	11.140	11.665	12.615	13.005	12.491	12.326	12.146
Dünya	20.973	21.841	23.756	27.494	30.482	31.345	31.735

Kaynak: IEA, 2014.

Tablo 3’e göre, 1990 yılında Türkiye’de enerji sektöründen kaynaklanan karbon emisyonu 127 Milyon Ton iken yıllar itibariyle sürekli artarak 2012 yılında 302 Milyon Ton seviyesine yükselmiştir. OECD ülkelerinin karbon emisyonu 1990 yılında 11.140 Milyon Ton iken yaklaşık olarak % 9 artarak 2012 yılında 12.146 Milyon Ton’a çıkmıştır. 1990 yılında 20.973 Milyon Ton olan Dünya karbon emisyonu yaklaşık %51 artarak 2012 yılında 31.735 Milyon Ton’a ulaşmıştır.

Tablo 4’de 2012 yılına ait enerji kaynaklı CO₂ emisyonları, Dünya ve Türkiye’ye ait değerler gösterilmektedir.

Tablo 4. 2012 Yılı Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonları, Dünya ve Türkiye

	CO ₂ (Milyon ton)	CO ₂ /Nüfus (Milyon Ton/Kişi)	Enerji Sektörü Karbon Yoğunluğu İndeksi-CO ₂ /Toplam Birincil Enerji Arzı (Milyon Ton/TEP)*
Orta Doğu	1.647	7.72	92.76
Çin	8.251	5,14	109.50
Asya	3.699	1.59	124.61
Türkiye	302	4.04	107.45
OECD	12.146	9.68	93.92
Dünya	31.735	4.51	99.36

Kaynak: IEA, 2014.

* TEP: Ton Petrol Eşdeğeri

Tablo 4'te Türkiye'nin enerji kaynaklı CO₂ ile ilgili bazı verileri dünya verileri ile karşılaştırılmaktadır. 2012 yılında Türkiye'nin enerji kaynaklı CO₂ emisyonları 302 Milyon Ton ile dünya CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 1,05'ini, OECD ülkelerinin CO₂ emisyonlarının ise yaklaşık % 4'ünü oluşturmaktadır. Kişi başına düşen CO₂ emisyonları karşılaştırıldığında ise Türkiye değerinin Dünya ve OECD değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Ancak, Toplam Birincil Enerji Arzı dikkate alınarak, üretilen birim enerji başına düşen enerji kaynaklı CO₂ miktarı Dünya ve OECD değerlerinin üstünde gerçekleşmiştir. Bu gösterge ile birincil enerji arzında yüksek karbon emisyonuna sahip olan fosil kaynakların payının önemli rol oynadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

4. Metodoloji

Bu çalışmada 1990-2012 dönemi dikkate alınarak, Türkiye'de kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi, enerji sektörü kaynaklı kişi başına karbon emisyonu ve kişi başına gelir arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan veriler TÜİK, DPT ve Uluslararası Enerji Ajansı veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmada 1990-2012 dönemi dikkate alınarak zaman serileri kullanılmıştır. Analizde yenilenebilir enerji tüketimi milyon petrol eş değeri, enerji kaynaklı karbon emisyonuna ait yıllık veriler milyon ton ve kişi başına milli gelire ilişkin veriler milyon dolar olarak ifade edilmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin temsilen (KYENTUK), kişi başına enerji kaynaklı karbon emisyonunu temsilen (KCRSAL) ve kişi başına GSYİH'i temsilen (KGSYİH) sembolleri kullanılmıştır. Serilerin durağanlığını test etmek için ADF (Augmented Dickey-Fuller) birim kök testinden yararlanılmıştır. Serilerin uzun dönemde birlikte hareket edip etmediklerini tespit etmek amacıyla Johansen tarafından geliştirilen Ko-entegrasyon (Eş-Bütünleşme) testine başvurulmuştur. Ayrıca değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemede Granger tarafından literatüre katılan nedensellik testi kullanılmıştır.

$$y_t = a + \beta x_t + \varepsilon_t$$

Granger¹⁸ yukarıdaki denklemde açıklayıcı ve açıklanan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki kurulabilmesi için eşitliğin iki tarafının tutarlı olması gerektiğini savunmaktadır. Örneğin, y_t mevsimsel bir değişkense x_t 'te mevsimsel bir değişken olmalıdır ve böyle bir durumda ε_t beyaz gürültü durumundadır.

Granger bir değişkenin bütünleşme derecesi kavramını geliştirmiştir. Bir ζ_t değişkeni d zamanında farkının alınması halinde durağan hale geliyorsa, bu değişken d zamanında bütünleşik şeklinde adlandırılmakta veya $I(d)$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemler aşağıda verilmiştir.¹⁹

$$X_t = \sum_{j=1}^p Y_{1j} X_{e-j} + \sum_{j=1}^p \delta_{1j} y_{e-j} + \varepsilon_{1e}$$
$$y_t = \sum_{j=1}^p Y_{2j} X_{e-j} + \sum_{j=1}^p \delta_{2j} y_{e-j} + \varepsilon_{2e}$$

Yukarıdaki denklemlerde X_t ve Y_t $I(1)$ düzeyinde eş-bütünleşiktirler ve ε_{1t} ve ε_{2t} beyaz gürültü (normal dağılıma sahip bozucu terim) şeklinde ifade edilmektedir. Bu durumda denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\Delta X_t = \alpha_1(y_{t-1} - \beta X_{t-1}) + \sum_{j=1}^{p-1} Y_{1j} \Delta X_{t-j} + \sum_{j=1}^{p-1} \delta_{1j} y_{t-j} + \varepsilon_{1t}$$
$$\Delta y_t = \alpha_2(y_{t-1} - \beta X_{t-1}) + \sum_{j=1}^{p-1} Y_{2j} \Delta X_{t-j} + \sum_{j=1}^{p-1} \delta_{2j} y_{t-j} + \varepsilon_{2t}$$

Burada $y_t \beta X_t$ eşitliğinin iki ekonomik değişken olan x ve y arasındaki dinamik bir denge ilişkisini tanımladığı varsayılmış ve $y_t \beta X_t$ dengesizliğin derecesini gösteren bir gösterge olduğu ortaya konmuştur. Granger anlamında nedenselliğin tespitinde ise z veri iken sıfır hipotezi ($H_0 = \alpha_1 1 = 0$) " x , y 'nin Granger nedeni değildir" şeklinde kurulmaktadır. Nedensellik testinde sıfır hipotezi F testi kullanılarak test edilmekte ve ifade edilen iki etkiden birisinin veya her ikisinin birden y 'yi etkilemesi durumunda hipotez reddedilmektedir.²⁰

¹⁸ C. W. J. Granger, "Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification, *Journal of Econometrics*, 1981, 16, pp.121-130.

¹⁹ V. Kungu , "Time-Series Econometrics: Cointegration Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 2003, pp. 1-31.

²⁰ O. Çoban , "Türk ve Alman Ekonomilerinde Para Arzı, Enflasyon ve Faiz Oranı Arasındaki İlişkilerin Ekonometrik Analizi", *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2002, Cilt.16 (5-6), s.38.

5. Analiz Sonuçları

Enerji kaynaklı kişi başına karbon emisyonu (KCRSAL), kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi (KYENTUK) ve kişi başına GSYİH (KGSYH) değişkenleri arasında Granger anlamında bir nedensellik ilişkisinin açıklanması için öncelikli olarak değişkenlerin durağan olup olmadığının, durağan olmamaları halinde kaçınıcı dereceden durağan hale geldiklerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Analizlerimiz çerçevesinde serilerin durağanlığını tespit etmek amacıyla yapılan ADF birim kök testi sonuçları Tablo 5 yardımıyla düzenlenmiştir.

Tablo 5. ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabit Terimli		Sabit Terimli ve Trendli	
	T İstatistiği	Prob.Değeri	T-İstatistiği	Prob.Değeri
KCRSAL	-0.471185	0.8794	-2.958614	0.1650
KYENTUK	0.221363	0.9676	-2.713924	0.2408
KGSYH	0.033685	0.9522	-2.299587	0.4169
KCRSAL*	-5.124335	0.0005	-4.983155	0.0035
KYENTUK*	-5.346158	0.0003	-5.319384	0.0018
2 DKGSYH**	-4.542920	0.0019	-4.482948	0.0097

*işaretli değişkenler, serilerin birinci farklarını göstermektedir.

** işaretli değişken serinin ikinci farkını göstermektedir.

Tablo 5'te yer alan ADF test istatistiği sonuçları incelendiğinde KCRSAL ve KYENTUK değişkenlerinin I(1) düzeyinde ve KGSYH değişkeninin I (2) düzeyinde durağan hale geldikleri görülmektedir.

Kişi başına karbon emisyonu üzerinde kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin ve kişi başına GSYH'nin etkisini belirlemek amacıyla regresyon analizine başvurulmuş ve analiz sonuçları Tablo 6 yardımıyla özetlenmiştir.

Tablo 6. Regresyon Analizi Sonuçları

Değişken	Katsayı	Standart Hata	T İstatistiği	Probabilitiy
C	0.001571	0.000903	1.739765	0.0973
KYENTUK	-5.762207	3.915852	-1.471508	0.1567
KGSYH	0.001735	0.000405	4.285711	0.0004
R²	0.953404	F İstatistiği	204.6124	0.0000
Düzeltilmiş R²	0.948745			

Tablo 6’da yer alan parametrelere göre, kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin kişi başına karbon emisyonunu negatif yönde, buna karşın kişi başına GSYH’deki artışların ise pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ele alınan dönemde kişi başına karbon salınım miktarında meydana gelen değişimlerin yaklaşık olarak %95’i kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ve kişi başına GSYH’de meydana gelen değişimler tarafından açıklanmaktadır. F istatistiği genel olarak anlamlı olduğuna işaret etmektedir.

Aynı düzeyde durağan hale gelen değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını tespit etmek amacıyla Johansen Eş-Bütünleşme testinden yararlanılmış ve analiz sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Johansen Eş-Bütünleşme Testi Sonuçları

	Karakteristik Kökler (Eigenvalue)	Test İstatistiği (Trace Statistic)	Kritik Değer (%5)
KCRSAL	0.305101	7.942079	15.49471
KYENTUK	0.014104	0.298301	3.841466

Tablo 7’de düzenlenen test istatistiği değerleri “Eş-Bütünleşme Olabilirlik Oranı” parametreleridir. Bu sonuçlara göre karbon emisyonu ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında eş-bütünleşme tespit edilmiştir.

Eş-bütünleşmenin söz konusu olduğu kişi başına karbon emisyonu ile kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi arasında eş-bütünleşmenin tespit edilmesinden dolayı bu iki değişken arasındaki nedensellik ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için Granger nedensellik testinden yararlanılmıştır.

Granger nedensellik testi yapılırken optimal gecikme uzunluğu ADF testi için Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kriterine göre belirlenmiştir. AIC’yi minimize eden gecikme sayısı, durağanlığı araştırılan serilerin en uygun gecikme sayısı olarak kabul edilmektedir. Yapılan analizler sonucu gecikme sayısı 1 olarak belirlenmiştir.

Granger nedensellik testi analiz sonuçları Tablo 8’de düzenlenmiştir.

Tablo 8. Granger Nedensellik Testi Sonuçları

Sfır Hipotezi	Gözlem	F-İst	Anlamlılık Düzeyi (%5)
YENTUK KCRSAL’ın Granger nedeni değildir.	22	0.39277	0.5383
KCRSAL KYENTUK’ün Granger nedeni değildir.		6.71231	0.0179

Tablo 8 incelendiğinde, “KCRSAL KYENTUK’ün Granger nedeni değildir” sfır hipotezi %5 anlamlılık düzeyinde reddedilir. Kişi başına karbon emisyonu ile kişi başına

yenilenebilir enerji tüketimi arasında %5 anlamlılık düzeyinde Granger anlamında tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğu belirlenmiştir.

6. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Türkiye'deki yenilenebilir enerji tüketiminin karbon salınım miktarları üzerindeki etkisi 1990-2012 dönemi için analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kişi başına karbon emisyonu ile kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi arasında Granger anlamında tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğu belirlenmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin kişi başına karbon emisyonunu negatif yönde, buna karşın kişi başına GSYİH'daki artışların kişi başına karbon emisyonunu pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ampirik uygulamadan elde edilen temel sonuca göre, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ile kişi başına karbon emisyonu arasında negatif yönlü ilişki söz konusudur. Ancak gelirden meydana gelen bir artışın karbon salınımlarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Apergis vd., (2010), nükleer enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azaltmada önemli rol oynadığını aksine yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azaltmada katkısının olmadığına Pao ve Tsai (2011) ise gelir, enerji tüketimi ve emisyonlar arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğuna dikkatleri çekmişlerdir.

Zhang and Cheng (2009), enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasında tek yönlü Granger nedensellik tespit etmişlerdir. Menyah and Rufael (2010), kirletici emisyonlar ile ekonomik büyüme arasında anlamlı ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Özellikle hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji alanlarında önemli ölçüde potansiyele sahiptir. Enerji kullanımının çevreye verdiği zararların azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Dünya çapında çeşitli kuruluşlar iklim değişimlerine dikkat çekmek için çeşitli faaliyetlerde bulunarak havadaki sera gazı ve karbon miktarının azaltılması gerektiğini belirtmektedirler. Fosil yakıtlarla kıyaslandığında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin çevreye yaymış olduğu karbon emisyonu düşük seviyelerdedir. Özellikle jeotermal enerjinin karbon emisyonu sifıra yakın düzeydedir. Dolayısıyla Türkiye'nin yenilenebilir enerji teknolojilerine daha fazla yatırım yapması ve yenilenebilir enerji teknolojilerin geliştirilmesine yönelik programlar yetkili kuruluşlar tarafından desteklenmelidir.

Türkiye'de enerji piyasası ile ilgili olan kuruluşlar yenilenebilir enerji politikalarının oluşturulması için bazı çalışmalar yürütmektedir. Bu bağlamda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2010-2014 Stratejik Planında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli stratejiler belirlenmiştir. Bu stratejilerin bazıları şu şekildedir:

- Elektrik iletim sisteminin daha fazla rüzgar enerji santrali bağlanmasına imkan verecek şekilde güçlendirilmesi için gerekli çalışmaların hızlandırılması
- Jeotermal kaynakların kullanımındaki koruma ilkelerine uygun olarak rejenerasyonları yapılması
- Elektrik enerjisi üretimine uygun jeotermal alanların özel sektöre açılması konusundaki çalışmalara ağırlık verilmesi

-Yenilenebilir enerji kaynakları alanında teknoloji geliştirme çalışmalarına önem verilmesidir.

KAYNAKÇA

- Apergis, N., Payne, J., Menyah K. and Rufael, Y., “On the Causal Dynamics Between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth”, *Ecological Economics* 2010, 69, pp. 2255-2260, www.elsevier.com/locate/ecocon, (10.12.2011).
- ASME, (American Society of Mechanical Engineers), “Asme General Position Statement On Technology and Policy Recommendations and Goals for Reducing Carbon DioxideEmissions”, <http://files.asme.org/asmeorg/NewsPublicPolicy/GovRelations/PositionStatements/17971.pdf>, (15.12.2011).
- BP(BritishPetrol)(2014).http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGI/NG/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf, (15.12.2014).
- Çoban, O., “Türk ve Alman Ekonomilerinde Para Arzı, Enflasyon ve Faiz Oranı Arasındaki İlişkilerin Ekonometrik Analizi”, *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2002, Cilt.16 (5-6), ss. 32-41.
- DEKTMK (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi), http://www.dektmk.org.tr/upresimler/Enerji_Raporu_20106.pdf, (15.01.2012).
- Enerdata (2014), Global Energy Intelligence, <http://www.enerdata.net/>, (08.12.2014).
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), “Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu”, Ankara 2005, www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Enerji_Grubu_Raporu.pdf, (22.01.2012).
- Haggar, M.H., “Greenhouse Gas Emissions, Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis from Canadian Industrial Sector Perspective”, *Energy Economics*, 2012, 34, pp. 358-364, www.elsevier.com/locate/ecocon, (10.12.2011).
- Geller, H. “Energy Revolution : Policies for a Sustainable Future”, Island Press, Washington DC2002.
- Granger, C. W. J., “Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification, *Journal of Econometrics*, 1981, 16, pp. 121-130.
- Halıcıoğlu, F., “An Econometric Study of CO₂ Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey”, *Energy Policy*, 2009, 37, pp. 1156-1164.
- Herber, B. P. and Jose T. Raga, “An International Carbon Tax to Combat Global Warming: An Economic and Political Analysis of the European Union Proposal”,

- American Journal of Economics and Sociology*, 1995, Vol. 54, No. 3, pp. 257-267.
- Hossain, M. S., “Panel Estimation for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and Urbanization of Newly Industrialized Countries”, *Energy Policy*, 2011, 39, 6991-6999, www.elsevier.com/locate/enpol, (25.12.2011).
- IEA (International Energy Agency) (2014). Data Services, <http://wds.iea.org/WDS/TableView/tableView.aspx> (08.12.2014).
- Kepek, E. “The idea of Renewable Energy: Policy Lessons for Developing Countries-European Union and Turkey”, 321-336, <http://www.stps.metu.edu.tr/stpswp/series06/0611.pdf> (Erişim Tarihi: 18.10.2011).
- Kralova, I. and Sjöblom J., “Biofuels-renewable Energy Sources: A Review”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2010, 31(3), pp. 409–425.
- Kungu V., “Time-Series Econometrics: Cointegration Autoregressive Conditional Heteroskedasticity”, *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 2003, pp. 1-31.
- Liaskas, K., Mavrotas, G., Mandaraka, M. and Diakoulaki, D., “Decomposition of Industrial CO₂ Emissions: The case of European Union”, *Energy Economics*, 2000, 22, pp. 383-394, www.elsevier.com/locate/eneco, (25.12.2011).
- Menyah, K. and Rufael, W.Y., “Energy Consumption, Pollutant Emissions and Economic Growth in South Africa”, *Energy Economics*, 2010, pp. 1374-1382, www.elsevier.com/locate/ecocon, (18.12.2011).
- Öztürk, İ. ve Acaravcı, A., “CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14, pp. 3220-3225.
- Pao, H.T and Tsai, C. M., “Modeling and Forecasting the CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil”, *Energy*, 2011, 36, pp. 2450-2458, www.elsevier.com/locate/energy, (18.12.2011).
- Sato, O., Tatematsu, K. and Hasegawa, T., “Reducing Future CO₂ Emissions-The Role of Nuclear Energy”, *Progress in Nuclear Energy*, 1998 Vol. 32, No. 314, pp. 323-330, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197097000929> , (19.12.2011).
- Say, N. ve Yücel, M., “Energy Consumption and CO₂ Emissions in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on an Economic Growth”, *Energy Policy*, 2006, 34, pp. 3870-3876, www.elsevier.com/locate/enpol, (25.12.2011).
- Zhang, X.P. and Cheng, X.M., “Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China”, *Ecological Economics*, 2009, 68, pp. 2706–2712.