

Elektrik Üretimi - Ekonomik Büyüme - Çevre Kirliliği: Türkiye İçin VECM Analizi

Ahmet Emrah TAYYAR (https://orcid.org/0000-0003-2823-1700), Independent Researcher, Turkey; e-mail: ahemtay@gmail.com

Electricity Generation - Economic Growth - Environmental Pollution: VECM Analysis for Turkey

Abstract

The aim of the article is to examine the relations of fossil and renewable electricity generation in Turkey with economic growth and environmental pollution in the period 1990-2017. Johansen-Juselius (1990) cointegration test and VECM causality analysis were followed to determine the relationships between variables. The results indicate that (i) there is a cointegration relationship between the variables, (ii) the conservation hypothesis seems valid in terms of fossil and renewable electricity generation in the long term, (iii) rise in carbon dioxide emissions increases renewable electricity generation more than fossil-derived electricity generation, (iv) according to the substitutive relationship of resources used in electricity generation, rise in fossil-based electricity generation reduces renewable electricity generation much more. As a result, it is seen that economic growth, environmental responses and the degree of substitution of resources are effective on electricity generation. In terms of ensuring environmental quality, it is necessary to pay attention to the interaction of factors with each other.

Keywords : Economic Growth, Renewable Electricity Generation, Fossil-derived Electricity Generation, Environmental Pollution, Johansen-Juselius Cointegration Test, VECM Causality Analysis, Turkey.

JEL Classification Codes : O13, P18, Q43, Q56.

Öz

Türkiye’de 1990-2017 yılları arasında fosil ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretiminin, ekonomik büyüme ve çevresel kirlilikle olan ilişkilerinin incelenmesi makalenin amacını oluşturmaktadır. Değişkenler arası ilişkilerin tespiti için Johansen-Juselius (1990) eşbütünlüşme testi ile VECM nedensellik analizinin aşamaları takip edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; i) Değişkenler arasında eşbütünlüşme ilişkisi bulunmaktadır. ii) Uzun dönemde fosil ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimleri açısından koruma hipotezinin geçerli olduğu görülmektedir. iii) Karbondioksit salınımındaki artışlar yenilenebilir elektrik üretimini fosil kaynaklı elektrik üretiminden daha fazla arttırmaktadır. iv) Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların ikame ilişkisine göre fosil kaynaklı elektrik üretimindeki artışlar yenilenebilir elektrik üretimini daha fazla azaltmaktadır. Sonuç olarak kaynağına göre elektrik üretimi üzerinde ekonomik büyümenin, çevresel tepkilerin ve kaynakların ikame derecesinin etkili olduğu görülmektedir. Çevre kalitesinin sağlanması açısından etkenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerine dikkat etmek gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler : Ekonomik Büyüme, Yenilenebilir Elektrik Üretimi, Fosil Kaynaklı Elektrik Üretimi, Çevre Kirliliği, Johansen-Juselius Eşbütünlüşme Testi, VECM Nedensellik Analizi, Türkiye.

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma, gelecek neslin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan toplumun sosyoekonomik gereksinimlerinin karşılanması olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla tanıma göre sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, toplumsal ve çevresel olmak üzere üç odak noktası vardır. Bir enerji türü olarak elektrik üretimi sözü edilen üç odak noktanın tam merkezinde bulunmaktadır. İlk olarak toplumun ekonomik yönden büyüebilmesi için enerjiye ihtiyacı vardır. Başta sanayi, ticari, mesken ve aydınlatma alanlarında olmak üzere elektrik enerjisi kullanımı oldukça geniş bir alana hitap etmektedir. Dolayısıyla ekonomik olarak büyüebilmek için elektrik kullanımına, elektrik kullanımını sağlayabilmek için elektrik üretimine gereksinim duyulur. Türkiye için yapılan ekonometrik çalışmaların büyük bir kısmı elektrik tüketiminin ekonomik büyümeye neden olduğunu savunmaktadır (Murray & Nan, 1996; Altınay & Karagöl, 2005; Ertuğrul, 2011; Altıntaş & Koçbulut, 2014; Eren vd., 2016). Elektrik tüketimi ekonomik büyüme için önemli olduğundan tüketimi karşılayacak elektrik üretimi kaynaklarının araştırılması gerekmektedir. Türkiye elektrik ihtiyacını fosil, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen elektrik üretimi ve ithal elektrik yardımıyla karşılamaktadır. Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan fosil enerji kaynakları olarak kömür, sıvı yakıt ve doğalgaz enerji kaynakları sayılabilir. Türkiye’de 2018 yılı itibarıyla elektrik üretiminde fosil enerji kaynakları açısından en çok pay %37,16 oranla kömür grubuna ait olduğu görülmekte olup bu oranın %20,67’lik kısmını ithal kömür oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2018). Elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın oranı %30,34 ve sıvı yakıtın oranı %0,11 olarak hesaplanmıştır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretimi 2018 yılı itibarıyla yaklaşık %30 civarında olup bu alan hidrolik, jeotermal, rüzgâr, güneş, katı biyokütle, biyogaz ve yenilenebilir atık enerji kaynaklarını kapsamaktadır (TEİAŞ, 2018). Bu oranın yaklaşık %20’sini hidrolik kaynaklar oluşturmaktadır.

Elektrik üretiminin ekonomik yönü dışında sürdürülebilir kalkınma açısından çevresel ve toplumsal önemi bulunmaktadır. Bu paralelde elektrik enerjisi toplumun bir ihtiyacı olup dijitalleşen dünyada daha çok elektrik enerjisiyle kullanılan araçların sayısının artması bu durumun bir göstergesidir. Dolayısıyla toplumun ihtiyacına göre daha fazla elektrik üretimine gereksinim duyulacağı sonucuna ulaşılabilir. Ancak elektrik üretiminde kullanılan kaynakların daha fazla fosil kaynaklı olması sera gazlarının salınımını (*başta karbondioksit olmak üzere*) arttırarak çevresel sorunlara yol açmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre elektrik üretiminin neden olduğu sera gazı salınımlarının tüm enerji sektörü içerisindeki payı yaklaşık %30 civarındadır (Özcan & Öztürk, 2015: 2). Bu açıdan elektrik üretimi kaynaklı sera gazlarının çevreye salınması iklim değişikliklerine, yenilenebilir kaynakların kirliliğine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır. Türkiye özelinde elektrik üretiminde yerli kaynakların payı yaklaşık %50 civarında olup yüksek oranda ithal kömürün kullanıldığı görülmektedir (TEİAŞ, 2018). Bu durum ithal kaynaklı çevre kirliliğine yol açarken aynı zamanda makroekonomik göstergelerin (*cari açık, döviz kuru, uluslararası rezervler gibi*) olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla elektrik üretimi açısından sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmek için antroposentrik (*insan odaklı*) yaklaşımdan uzaklaşarak çevre kirliliğinin azaltılmasına ve doğal kaynakların devamlılığına odaklanmak gerekmektedir (Acaravcı & Erdoğan, 2018: 54). Çevreye zarar vermeden sürdürülebilir elektrik üretimini sağlamak için yenilenebilir

kaynakların önemi bulunmaktadır. Türkiye'nin hidrolik, jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olduğu bilinmektedir (Yılmaz, 2012: 52). Sonuç olarak bu alanlara yapılan yatırımlar sonucunda çevre kirliliğine neden olmadan ekonomik büyüme arttırılabilir. Ayrıca yenilenebilir elektrik üretimi artışıyla birlikte ithal enerji kaynaklarına olan bağımlılık azaltılarak enerji arz güvenliği sağlanmış olacaktır. Türkiye'de 2011-2017 yılları arasında toplam elektrik üretimi, kaynaklarına göre elektrik üretimi çeşitlerinin toplam üretime oranı ve karbondioksit emisyonunun sera gazı emisyonuna oranı aşağıda yer alan Tablo 1 yardımıyla incelenebilir.

Tablo: 1
Türkiye'de Yıllara Göre Elektrik Üretimi Çeşitleri ile Karbondioksit Emisyonu İstatistikleri

Yıllar	Toplam Elektrik Üretimi (GWh)	Fosil Elektrik Üretimi (%)	Yenilenebilir Elektrik Üretimi (%)	Karbondioksit Emisyonunun Sera Gazı Emisyonuna Oranı (%)
2011	229,395	74,6	2,6	79,39
2012	239,497	72,7	3,1	79,13
2013	240,154	71,1	4,2	78,64
2014	251,963	79	4,9	78,97
2015	261,783	67,9	6,5	80,75
2016	274,408	66,9	8,6	80,49
2017	297,278	70,4	10	80,82

Kaynak: TEİAŞ, 2018(Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri) ve TÜİK, 2018 (Sera Gazı Emisyon İstatistikleri)

Not: Fosil elektrik üretimi kömür, sıvı yakıt ve doğalgaz enerji kaynakları aracılığıyla elde edilen elektrik üretiminin yüzdesel toplamından oluşmaktadır. Yenilenebilir elektrik üretimi jeotermal, rüzgâr, katı biokütle, güneş, biyogaz ve atık enerji kaynaklarını içermektedir. Yenilenebilir ve fosil elektrik üretimi dışında kalan kısım hidrolik elektrik üretiminden oluşmaktadır.

Tablo 1'e göre Türkiye'de 2011-2017 yılları arasında toplam elektrik üretiminin arttığı, fosil kaynaklı elektrik üretiminin oransal olarak yaklaşık %70 ile %80 arasında değiştiği görülmektedir. Yine tabloya göre yenilenebilir elektrik üretiminin kesintisiz bir şekilde sürekli arttığı dikkati çekmektedir. Dolayısıyla son yıllarda yapılan yatırımların etkisiyle hem toplam elektrik üretimi hem de yenilenebilir elektrik oranının yükselmesi kuvvetli bir şekilde yenilenebilir kaynaklı elektrik üretiminin arttığı anlamına gelmektedir. Öte yandan Türkiye'de toplam sera gazı emisyonları içerisinde karbondioksit emisyonunun payı yaklaşık %80 oranında değiştiği görülmektedir.

Bu makalenin temel amacı Türkiye'de 1990-2017 dönemine ilişkin fosil ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimlerinin ekonomik büyüme ve karbondioksit salınımlarıyla olan ilişkilerini incelemektir. Konuya yönelik olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde daha çok elektrik üretimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin analiz edildiği görülmektedir (Özkan, Özkan & Kuyuk, 2012; Uzun et al., 2013; Altıntaş & Kum, 2013; Erdoğan et al., 2018). Ancak elektrik üretiminde kullanılan kaynakların çevresel kirlilik seviyesiyle doğrudan ilişkisi olduğundan çalışmalarda çevresel kirlilik bağlantılarına yer verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kaynağına göre elektrik üretimi çeşitleri ile ekonomik büyüme ilişkisinin çevresel kirlilik açısından yeniden incelenmesi makalenin en büyük katkılarından birini oluşturmaktadır. Çalışma elektrik üretiminin sürdürülebilirliğine odaklanarak literatürde bulunan diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Bu paralelde yapılan ulusal

çalışmaya rastlanılmamış olup makalenin ilgili literatüre faydalı olacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla çalışmada 1990-2017 dönemine ait yıllık seriler olan reel gayrisafı milli hasıla, fosil kaynaklı elektrik üretimi, yenilenebilir elektrik üretimi ve karbondioksit emisyonu kullanılacaktır. Değişkenler arası ilişkilerin incelenmesinde ekonometrik yöntem olarak Johansen ve Juselius (1990) eşbütünlük testi ile kısa ve uzun dönem nedenselliğin tespiti için VECM (*Vektör Hata Düzeltme Modeli*) dayalı Granger testi kullanılacaktır. Makale beş bölümden oluşmaktadır. Makalenin ikinci bölümünde konuya yönelik teorik çerçeve ile ulusal-uluslararası ekonometrik çalışmalar özetlenecektir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılacak veri seri ve ekonometrik yöntem incelenerek dördüncü bölümde ilgili serilere Johansen-Juselius (1990) eşbütünlük testi ile VECM nedensellik analizinin aşamaları uygulanacaktır. Beşinci bölümde sonuç ve öneri kısmına yer verilecektir.

2. Teorik Çerçeve ve Ampirik Literatür

Elektrik üretimi ile ekonomik büyüme arasındaki hipotez ilişkileri dört başlık altında incelenebilir. Sözü edilen hipotezler büyüme hipotezi, koruma hipotezi, geri besleme (*feedback*) hipotezi ve yansızlık (*nötralite*) hipotezi olarak sayılabilir. İlk olarak elektrik üretiminden ekonomik büyüme doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi varsa büyüme hipotezinin geçerli olduğu ifade edilmektedir (Nnaji, Chukwu & Moses, 2013: 263). Dolayısıyla bu hipoteze göre elektrik üretimini kısıtlayan etmenlerin ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyeceği söylenebilir. Elektrik üretirken fosil enerji kaynaklarına daha fazla başvurulması sonucunda büyüme hipotezi *kirleterek büyüme hipotezi* haline dönüştürülebilir. Diğer bir hipotez olan koruma hipotezi, ekonomik büyümenin elektrik üretimine yol açacağını vurgulamaktadır (Ghosh, 2002: 127). Eğer bir ülkede koruma hipotezi geçerliyse elektrik arzına yönelik tasarruf politikalarının ekonomik büyüme üzerinde olumsuz bir etkisi olmayacağı söylenebilir. Yine ülkelerde fosil kaynaklara dayalı olarak elektrik üretimi gerçekleştiriliyorsa ve koruma hipotezi geçerliyse *büyüyerek kirlenme hipotezinin* geçerli olduğu vurgulanabilir. Ekonomik büyüme ile elektrik üretimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi mevcutsa geri besleme (*feedback*) hipotezi geçerli olmaktadır. Bu durum elektrik üretiminin ekonomik büyümeye neden olmasının yanı sıra ekonomik büyümenin de elektrik üretimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Yoo, 2005: 1631). Söz konusu hipotez çevresel bağlantılarla zenginleştirilirse *hem büyüyerek kirlenme hem de kirleterek büyüme hipotezinin* geçerli olacağı savunulabilir. Dolayısıyla geri besleme hipotezinin geçerliliği altında elektrik enerjisinde dışa bağımlılığın yenilenebilir elektrik üretimine yapılan yatırımlarla azaltılması gerekmektedir. Bu yolla çevre kirliliği azaltılarak ekonomik büyümede artış sağlanabilir. Son olarak elektrik üretimi ile ekonomik büyüme arasında tek veya çift yönlü olarak bir nedensellik ilişkisi bulunmuyorsa yansızlık (*nötralite*) hipotezinin geçerli olduğundan söz edilebilir. Bu açıdan iki etmen arasında bir ilişki olmadığı için elektrik üretiminden kaynaklı çevresel kirliliklerin ekonomik büyümeye dayandırılması mümkün olmayacaktır.

Elektrik enerjisi ve ekonomik büyüme arasında yapılan çalışmaların büyük bir kısmı elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki karşılıklı etkilere odaklanmaktadır (Adjei, 2016: 644). Elektrik üretimi ile ekonomik büyüme arası ekonometrik çalışmaların ise son

10 yılda arttığı görülmektedir. Aşağıda yer alan Tablo 2 yardımıyla konuya ilişkin olarak ulusal ve uluslararası alanda yapılan ekonometrik çalışmaların özeti incelenebilir.

Tablo: 2
Ülkelerde Konuya İlişkin Olarak Yapılan Ampirik Çalışmaların Özeti

Çalışma ve Yılı	Dönem	Ülke	Metodoloji	Sonuç
Yoo & Kim (2006)	1971-2002	Endonezya	Hsiao Granger Nedensellik Testi	EBÜY→EÜR
Ghosh (2009)	1970-2016	Hindistan	ARDL Sınır Testi	EBÜY→EÜR
Sarker & Alam (2010)	1973-2006	Bangladeş	ECM Dayalı Granger Testi	EÜR→EBÜY
Bayraktutan, Yılıgör & Uçak (2011)	1980-2007	OECD Ülkeleri	Panel Eşbütünleşme Testi Holtz-Eaken Nedensellik Testi	YEÜR←→EBÜY
Özkan, Özkan & Kuyuk (2012)	1975-2007	Türkiye	Engle-Granger Eşbütünleşme Testi, ECM ve Granger Nedensellik Testi	EÜR→EBÜY
Uzun vd. (2013)	1980-2010	Türkiye	VECM Nedensellik Testi	EBÜY→EÜR
Altıntaş & Kum (2013)	1970-2010	Türkiye	ARDL Sınır Testi Çok Değişkenli Granger Testi	EBÜY←→EÜR
Nnaji, Chukwu & Moses (2013)	1971-2009	Nijerya	ARDL Sınır Testi VECM Nedensellik Testi	EÜR≠EBÜY
Marques, Fuinhas & Menegaki (2014)	2004-2013	Yunanistan	VECM Nedensellik Testi	FEÜR→EBÜY EBÜY→YEÜR
Adjei (2016)	1971-2013	Gana	VECM Nedensellik Testi	EBÜY→EÜR
Erdoğan vd. (2018)	1998-2015	Türkiye	VECM Nedensellik Testi	EBÜY→YEÜR
Yu vd. (2019)	2000-2018	BRICS	VAR Analizi	EÜR→EBÜY
Rehman vd. (2020)	1981-2014	Pakistan	ARDL Sınır Testi	EÜR→EBÜY

Kaynak: Tablo çalışmanın yazarı tarafından oluşturulmuştur. EÜR, EBÜY, YEÜR, FEÜR kısaltmaları sırasıyla elektrik üretimini, ekonomik büyümeyi, yenilenebilir elektrik üretimini ve fosil kaynaklı elektrik üretimini ifade etmektedir. Değişkenler arasında bulunan → işareti tek yönlü nedenselliği, ↔ işareti çift yönlü nedenselliği ve ≠ işareti nedenselliğin olmadığını göstermektedir.

Yapılan ekonometrik çalışmalar incelendiğinde genel olarak ekonomik büyümenin elektrik üretimine yol açtığı görülmektedir. Bu durumdan ötürü elektrik üretimi açısından koruma hipotezinin geçerli olduğu savunulabilir. Ayrıca elektrik üretiminin çevresel bağlantıları düşünüldüğünde *büyüyerek kirlenme hipotezinin* var olduğu sonucuna ulaşılabilir. Türkiye özelinde yapılan dört çalışmanın ikisinde ekonometrik yöntem olarak VECM dayalı Granger nedensellik testleri kullanılmış olup sonuç olarak koruma ve büyüyen kirlenme hipotezlerinin geçerli olduğu görülmektedir. Türkiye açısından yapılan çalışmalarda tam bir uzlaşımın olmamasının bir nedeni olarak çalışmalarda kullanılan veri seti, dönem ve ekonometrik yöntem farklılıkları sayılabilir.

Öte yandan yapılan çalışmalarda yoğun olarak ekonomik büyüme ile kaynağına göre elektrik üretimi arasındaki ilişkiler sorgulandığı görülsede çevresel kalite açısından yapılan çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı fosil kaynakların kullanımına göre daha çevreci olduğu bilinmektedir. Ekonomik büyümenin elektrik üretimi üzerinde etkili olması çevre kalitesi bağlamında kullanılacak kaynağına göre değişim gösterebilir (Hdom, 2019). Özellikle ekonomik büyümede yaşanacak artışların daha çok yenilenebilir enerji yatırımları üzerinde etkili olması çevre kirliliğinin azalmasına yardımcı olacaktır. Ekonomik büyümenin etkisi dışında elektrik üretimini sağlamak için ilgili enerji kaynağına ulaşımın kolay olup olmaması da oldukça önemlidir. Fosil kaynakları elektrik enerjisine dönüştürmek için şirketlerin başlangıç maliyetleri yenilenebilir kaynaklara nazaran daha düşüktür (Balsalobre-Lorente vd., 2018). Buna ilave olarak yenilenebilir kaynaklardan yararlanmak fosil kaynaklara göre çok daha ucuzdur. Ancak yenilenebilir kaynakların heterojen yapıda olması her bir kaynaktan yararlanmak için ileri teknolojiye ihtiyacı zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla uzman işgücü eksikliği, AR-GE

harcamalarına ayrılan payın düşük ve devlet teşviklerinin az olması yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi dönüşümündeki engelleri ifade etmektedir. Bu açıdan elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklar yerine fosil kaynakların kullanılması çevre kirliliğini arttıran bir etmen olarak sayılabilir. Tüm bunların dışında çevresel tepkilerin giderek artması elektrik üretiminde kullanılan kaynağın değişimine neden olabilir (Özcan, 2019). Bu açıdan karbondioksit salımındaki yükselişler çevre kalitesinin sağlanması açısından yapılan çabaların artmasını sağlayabilir. Böylelikle karbondioksit salımının artması elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil kaynaklara göre daha fazla kullanılmasını destekleyebilir.

3. Veri Seti ve Metodoloji

Konuya ilişkin ampirik literatür çerçevesinde bu makalede Türkiye için 1990-2017 yılları arasında fosil ve yenilenebilir elektrik üretimlerinin ekonomik büyüme ve çevresel kirlenmeyle olan ilişkileri analiz edilmektedir. İlişkilerin incelenmesinde 1990-2017 dönemine ilişkin yıllık karbondioksit (CO₂) emisyonu, fosil elektrik üretimi, yenilenebilir elektrik üretimi ve reel gayrisafı milli hasıla değişkenleri kullanılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 3 yardımıyla kullanılan değişkenlerin açıklamaları, birimleri, elde edilen kaynaklar ve dönüşümleri incelenebilir.

Tablo: 3
Çalışmada Kullanılan Değişkenler

Değişkenler	Açıklamaları	Kaynak	Birimi	Dönüşümü
LCO2	Karbondioksit Salınımı	TÜİK	Milyon Ton	Logaritmik
LFOSİL	Kömür, sıvı yakıt ve doğalgaz kullanılarak elde edilen fosil kaynaklı elektrik üretimi	TEİAŞ	GWh	Logaritmik
LYEN	Jeotermal, rüzgâr, katı biyokütle, güneş, biyogaz ve atık kullanılarak elde edilen yenilenebilir elektrik üretimi	TEİAŞ	GWh	Logaritmik
LRGDP	Sabit Fiyatlarla Gayrisafı Yurt İçi Hâsıla	FRED	2011 yılı Milyon ABD Doları	Logaritmik

Not: Elektrik ölçü birimlerinden biri olan (GWh) kısaltmasının açılımı gigawatt saat olarak ifade edilebilir.

Çalışmada fosil ve yenilenebilir elektrik üretiminin ekonomik büyümeyle olan ilişkileri büyüme, koruma, geri besleme (feedback) ve yansızlık (nötralite) hipotezlerinin geçerlilikleri sorgulanarak incelenmektedir. Fosil ve yenilenebilir elektrik üretimi ve ekonomik büyümenin çevresel kirlenme olan ilişkileri ise büyüyerek kirlenme, kirlenerek büyüme, hem büyüyerek hem de kirlenerek büyüme ve ilişkisizlik hipotezleri çerçevesinde analiz edilmektedir. Hipotezlerin test edilmesinde Johansen - Juselius (1990) eş bütünleşme testleri ile kısa ve uzun vadeli nedensellik ilişkilerinin tespiti için VECM dayalı Granger nedensellik analizleri kullanılmıştır. Kullanılan ekonometrik yöntemlere ilişkin adımlar aşağıdaki gibi sıralandırılabilir.

Adım 1: Durağanlık Testleri

Çalışmada ilgili değişkenlere Johansen-Juselius (1990) eşbütünleşme testinin uygulanabilmesi için serilerin birinci derecede durağan olması gerekmektedir (Sevüktekin & Çınar, 2014). Eğer seriler farklı bütünleşme derecelerine sahipse Johansen eşbütünleşme testi yerine ARDL yöntemi kullanılabilir. Dolayısıyla serilerin durağanlık dereceleri birim kök testleri yardımıyla incelenmesi şarttır. Bu kapsamda ilgili serilere literatürde yaygın

olarak kullanılan ADF (*Arttırılmış Dickey-Fuller*) testi, PP (*Phillips-Perron*) testi ve KPSS (*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*) testi uygulanacaktır. ADF testi standart DF (*Dickey-Fuller*) testinin geliştirilmiş hali olup ADF testinde AR(p) sürecinden faydalanılmaktadır. Bu yolla denklem sistemlerine p gecikmeli fark etmenleri eklenerek serilerde yüksek dereceden korelasyon ilişkisi incelenmektedir. Uygun gecikme sayılarının tespiti için AIC (*Akaike Bilgi Kriteri*) ve SIC (*Schwarz Bilgi Kriteri*) kriterleri kullanılmaktadır (Bozkurt, 2013: 41). ADF testinde H_0 hipotezi ilgili seride birim kökün var olduğunu gösterirken, H_1 hipotezi serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla hesaplanan test istatistiği kritik değerden büyük olduğu durumda H_0 hipotezi reddedilerek serinin durağan olduğu anlaşılır. Diğer birim kök testi olan PP testi seride yapısal kırılmaları dikkate alarak ve ADF testinde olmayan MA (*hareketli ortalama*) sürecini analize katarak ortaya çıkmıştır. ARMA (p,q) sürecini içeren PP testi ardışık bağımlılık problemini ortadan kaldırabilmek için Newey-West ve Andrews hata düzeltme yöntemlerini kullanmaktadır (Mert & Çağlar, 2019: 101). PP testinin hipotez kurgusu ve kritik değerleri ADF testiyle paralellik göstermektedir. Bu açıdan hesaplanan test istatistiği kritik değerden büyük olursa H_0 hipotezi reddedilerek serinin birim kök taşımadığı anlaşılır. Son olarak KPSS testi, ilgili seride deterministik trend problemini ortadan kaldırabilmek için LM (*Lagrange Çarpımı*) istatistiğini kullanmaktadır (Kwiatkowski vd., 1992: 162). KPSS testinin hipotez kurgusu ADF ve PP testi hipotezlerinin tam tersidir. Bu noktada KPSS testinde H_0 hipotezi ilgili serinin durağan olduğunu ve H_1 hipotezi serinin durağan olmadığını ifade etmektedir. Eğer seriye ilişkin olarak hesaplanan LM istatistiği kritik değerden küçük olursa H_0 hipotezi kabul edilerek serinin durağan olduğu anlaşılmaktadır.

Adım 2: Johansen Eşbütünleşme Testi

Her bir serinin birinci fark durağan olduğu durumda Johansen-Juselius (1990) eşbütünleşme testi uygulanabilir. Johansen eşbütünleşme testi yardımıyla birden fazla serinin oluşturduğu denklem sistemleri açısından eşbütünleşme ilişkisi uzun vadeli ve vektörel şekilde analiz edilmektedir. Eğer seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi varsa serilerin uzun dönemli ilişkilerinin bulunduğu anlaşılır. Johansen eşbütünleşme testi vektörel olduğu için VAR (*vektör otoregresif*) modeline dayanmakta olup eşbütünleşme vektörlerinin anlamlılığı İz (*Trace*) testi ile Maksimum özdeğer (*Maximum Eigenvalue*) testi ile sınanmaktadır. Bu testler aşağıda yer alan (1) ve (2) numaralı denklemler yardımıyla ifade edilebilir (Johansen & Juselius, 1990: 179);

$$\text{İz İstatistiği} = -T \sum_{i=r+1}^p \ln (1 - \mu_{r+1}) \quad (1)$$

$$\text{Maksimum Özdeğer İstatistiği} = -T \ln (1 - \mu_{r+1}) \quad (2)$$

İz istatistiği açısından H_0 hipotezi $r=0$ yani eş bütünleşmenin olmadığı şekilde kurgulanmaktadır. H_1 hipotezi ise $r \leq 1$ (en az 1 tane) eş bütünleşme ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Eğer hesaplanan iz istatistiği kritik değerden büyükse H_0 hipotezi reddedilerek en az 1 tane eş bütünleşme ilişkisinin olduğu anlaşılır. Maksimum özdeğer testine göre H_0 hipotezi $r=0$ eş bütünleşme ilişkisinin olmadığını gösterirken, H_1 hipotezi $r=1$ bir tane eş bütünleşme ilişkisinin varlığını ifade etmektedir. Hesaplanan maksimum

özdeğer istatistiği kritik değerden büyük olursa H_0 hipotezi reddedilerek 1 tane eşbütünlüme ilişkisinin olduğu anlaşılır.

Adım 3: VECM ve VECM Dayalı Granger Kısa-Uzun Dönem Nedensellik Testleri

Değişkenler arasında eşbütünlüme ilişkisi varsa VECM açısından kısa ve uzun dönem nedensellik ilişkileri incelenebilir. Bu model kapsamında seriler durağan olmasa bile fark almadan değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi sorgulandığı için serilerle ilgili bilgi kayıpları önlenmektedir. X ve Y değişkenlerinden oluşan serilerin sırasıyla bağımlı değişken varsayılması durumunda VECM modelleri aşağıda yer alan (3) ve (4) numaralı denklemler yardımıyla ifade edilebilir (Turan, 2018: 205).

$$\Delta \ln Y_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} \Delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^k \theta_{1i} \Delta Y_{t-1} + \mu VECT_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (3)$$

$$\Delta \ln X_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^k \beta_{2i} \Delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^k \theta_{2i} \Delta Y_{t-1} + \mu VECT_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (4)$$

(3) ve (4) numaralı denklemlerde yer alan k en uygun gecikme uzunluğunu, VECT ise hata düzeltme terimini göstermektedir. VECT terimi önünde yer alan μ katsayısı vektör hata düzeltme katsayısını göstermekte olup şok sonrası oluşan dengesizliklerin zaman içerisinde denge seviyesine uyum hızını ifade etmektedir. VECT katsayısının negatif, 0 ile 1 arasında olup istatistiksel olarak anlamlılığı mevcutsa kurulan VECM modelinin doğru olduğu ve değişkenler arası uzun dönemli nedensellik ilişkisinin geçerliliği anlaşılacaktır.

Kurulan VECM modelinin sağlam olup olmadığının belirlenimi için birkaç teste dayanan tanı (*diagnostic*) analizinin yapılması gerekmektedir. Sözü edilen tanı testleri otokorelasyon, değişen varyans ve normallik testi olarak sayılabilir. Belli bir gecikme uzunluğuna kadar kurulan modelin kalıntıları arasında serisel olarak korelasyonun varlığı otokorelasyon testiyle incelenmektedir. Otokorelasyon testi LM test istatistiğini temel almaktadır. Eğer gecikme değerlerinin tümü açısından olasılık değeri %5 değerinden büyükse otokorelasyonun olmadığı sonucuna ulaşılabilir. Bu durum modelin iyi bir model olduğunu göstermektedir. Modelin sağlamlığını ölçmede kullanılan diğer yöntem değişen varyans testidir. Değişen varyans testi Ki-Kare test istatistiğine dayanmaktadır. Model için hesaplanan Ki-kare test istatistiğinin olasılığı %1 düzeyinden büyükse değişen varyans sorununun olmadığı anlaşılır. Son olarak kurulan VECM modelinin kalıntılarının çok değişkenli normal dağılıma uygun olması gerekmektedir (Mert & Çağlar, 2019: 273). Normallik testi Jarque-Bera test istatistiğine dayanmaktadır. Eğer Jarque-Bera test istatistiğinin olasılığı %1 düzeyinden büyükse modelin normallik şartını sağladığı anlaşılır. Sonuç olarak iyi kurulan VECM modelinde VECT katsayısının negatif, 0 ile 1 arasında, istatistiksel olarak anlamlı olması, modelin kalıntıları açısından otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olmaması ve modelin kalıntılarının normal dağılıma uygun olması gerekmektedir.

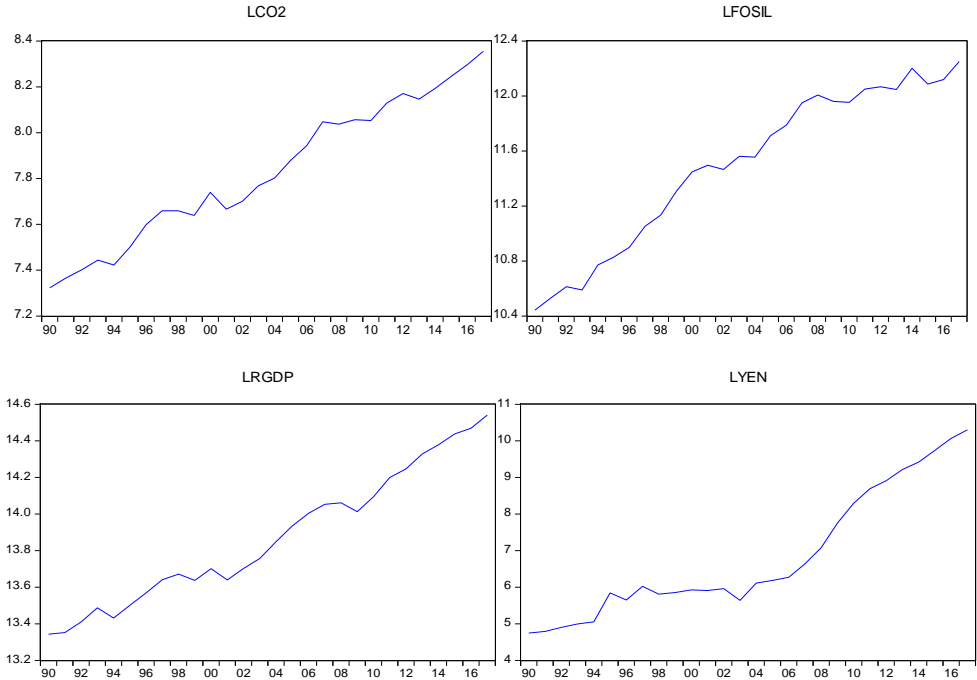
Eşbütünlüme ilişkisi değişkenler arasında uzun vadeli ilişkileri gösterse de kullanılan değişkenlerin içsel veya dışsal olma durumlarını belirtmemektedir. VECM modelinin kurulumu açısından değişkenlerin içsel veya dışsal olma durumları oldukça

önemlidir (Sağlam & Yıldırım, 2014: 203). Bu nedenle her bir seriyeye zayıf dışsallık testinin uygulanmasıyla kurulan modelin denklem doğruluğu tespit edilebilir. Zayıf dışsallık testi Ki-kare test istatistiğine dayanmaktadır. İlgili değişkene kısıt verilerle eşbütünleşme ilişkisinde diğer serilerle bağlantısı ortadan kaldırılır. Değişkenin Ki-kare olasılık değeri %1 veya %5 değerinden küçükse ilgili değişkenin içsel değişken olduğu anlaşılmaktadır.

4. Ekonometrik Çalışma

Türkiye’de 1990-2017 döneminde LCO2, LFOSIL, LYEN ve LRGDP değişkenleri arasındaki kısa ve uzun vadeli nedensellik ilişkilerinin incelenmesi makalede yer alan ekonometrik çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Değişkenler arası ilişkilerin analizi için Johansen-Juselius (1990) eş bütünlüşme testi ve VECM analizinin aşamaları uygulanmıştır. Johansen-Juselius (1990) eşbütünlüşme testinin uygulanabilmesi için değişkenlerin birinci dereceden durağan olması gerekmektedir. Bu nedenle değişkenlerin logaritmik düzey değer görüntülerinin zamana göre seyri incelenerek her bir değişkene sırasıyla ADF, PP ve KPSS birim kök testi uygulanmıştır. Aşağıda yer alan Grafik 1 yardımıyla çalışmada kullanılan değişkenlerin zamana göre değişimi incelenebilir.

Grafik: 1
Değişkenlerin Düzey Değer Görüntüleri



Grafik 1’de yer alan grafikler incelendiğinde tüm serilerde sol aşağıdan sağ yukarıya doğru pozitif trendin varlığı dikkati çekmektedir. Dolayısıyla serilerin her birinde bu

durumun varlığı serilerin durağan olmadığını bir işareti olabilir. İlgili serilerde tam anlamıyla birim kökün var olup olmadığını tespit etmek için değişkenlerin düzey ve birinci farklarına ADF, PP ve KPSS testleri uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4 yardımıyla incelenebilir.

Tablo: 4
Değişkenlere Uygulanan Durağanlık Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabit ve Trendli Düzey Değer Test Sonuçları			Sabit ve Trendli 1.Fark Test Sonuçları		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
LCO2	-3.09(0) (0,128)	-3.09(0) (0,128)	0,08(0)	-5,73(0) (0,000)	-5,90(3) (0,000)	0,07(5)
LYEN	-1,32(2) (0,857)	-1,03(3) (0,921)	0,15(4)	-5,37(0) (0,001)	-5,37(2) (0,001)	0,08(2)
LFOSİL	-1,31(0) (0,862)	-1,20(1) (0,888)	0,17(4)	-5,99(0) (0,000)	-6,12(3) (0,000)	0,11(5)
LRGDP	-2,06(0) (0,540)	-2,11(1) (0,517)	0,15(3)	-4,28(5) (0,014)	-5,30(1) (0,001)	0,04(2)
Kritik Değerler	%1 →-4,33	%1 →-4,33	%1 →0,21	%1 →-4,46	%1 →-4,35	%1 →0,21
	%5 →-3,58	%5 →-3,58	%5 →0,14	%5 →-3,64	%5 →-3,59	%5 →0,14
	%10 →-3,22	%10 →-3,22	%10 →0,11	%10 →-3,26	%10 →-3,23	%10 →0,11

Not: ADF test istatistiği yanında yer alan parantez içi değerler SIC kriterine göre gecikme uzunluğunu göstermektedir. PP ve KPSS test istatistiği yanında yer alan parantez içi değerler Barlett-Kernel modeline göre otomatik Newey-West band genişliğini ifade etmektedir. ADF ve PP test istatistiklerinin altında yer alan parantez içi değerler %1 seviyesinde olasılık(prob) değerlerini göstermektedir.

Tablo 4'te yer alan ADF birim kök testi sonuçlarına göre tüm değişkenlerin olasılık değerlerinin %1 oranından fazla olduğu görülmektedir. Bu durum ADF testine göre değişkenlerin düzey değerlerinde birim kökün varlığını göstermektedir. Tabloda yer alan PP testine göre tüm değişkenlerin düzey değerleri için hesaplanan test istatistiğinin %1 oranındaki kritik değerden küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca olasılık değerlerinin %1 oranından büyük olması PP testi açısından tüm serilerin durağan olmadığını göstermektedir. Son olarak KPSS birim kök testine göre tüm seriler açısından hesaplanan test istatistiği, %1 oranındaki kritik değer olan 0,21 değerinden küçüktür. Dolayısıyla KPSS testi açısından tüm seriler için H_0 hipotezi kabul edilerek serilerin düzey değerlerinde durağan olduğu anlaşılmaktadır. Seriler açısından yapılan üç birim kök testinin ikisi serilerin hepsinde birim kökün varlığını işaret etmektedir. Bu nedenle tüm serilerin birinci farkının alınmasına karar verilmiştir. Serilerin birinci farkı alındıktan sonra yeniden birim kök olma olasılığına karşı seriler aynı birim kök testleriyle sınanmıştır. Test sonuçları Tablo 4'te yer almakta olup tüm serilerin birinci farklarında durağan olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan değişkenler birinci farklarında durağan olduğu için ilgili serilere Johansen-Juselius eşbütünleşme testi uygulanabilir. Johansen eşbütünleşme testi değişkenler arası uzun dönem ilişkilerini göstermekte olup VAR analizini temel almaktadır. Bu nedenle eşbütünleşme testinden önce optimal gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda yer alan Tablo 5 yardımıyla farklı kriterler açısından gecikme uzunluğu değerleri incelenebilir.

Tablo 5'te yer alan verilere göre tüm kriterler açısından en uygun gecikme uzunluğu (*) işaretiyle belirtilmiştir. Buna göre ilgili değişkenler açısından optimal gecikme uzunluğu 1 (k=1) olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla birinci dereceden durağan (d=1) olan

değişkenlerin varlığı altında ve en uygun gecikme uzunluğu 1 ($k=1$) olan modelin Johansen eşbütünlük testi Eviews 9 programı yardımıyla yapılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 6'da eşbütünlük testi sonuçları yer almaktadır.

Tablo: 5
En Uygun Gecikme Uzunluğunun Belirlenmesi

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SIC	HQ
0	37,923	NA	7,79e-07	-2,713	-2,518	-2,659
1	132,882	151,934*	1,44e-09*	-9,030*	-8,055*	-8,760*
2	144,022	14,258	2,38e-09	-8,641	-6,886	-8,154
3	161,063	16,359	3,00e-09	-8,725	-6,189	-8,021

NOT: LR ardışık modifiye LR testi, FPE son tahmin hatası, AIC Akaike bilgi kriteri, SIC Schwarz bilgi kriteri ve HQ Hannan-Quinn bilgi kriterini göstermektedir.

Tablo: 6
Johansen Eşbütünlük Testi Sonuçları (İz ve Maksimum Özdeğer İstatistikleri)

Eşbütünlük Hipotezleri	İz (Trace) İstatistiği	Kritik Değer (%5)	Olasılık Değeri**
Eşbütünlük yoktur.*	59,918	54,079	0,013
En çok 1 eşbütünlük vardır.	27,680	35,192	0,255
En çok 2 eşbütünlük vardır.	16,618	20,261	0,147
En çok 3 eşbütünlük vardır.	7,501	9,164	0,102
Eşbütünlük Hipotezleri	Maksimum Özdeğer	Kritik Değer (%5)	Olasılık Değeri**
Eşbütünlük yoktur.*	32,238	28,588	0,016
En çok 1 eşbütünlük vardır.	11,062	22,299	0,744
En çok 2 eşbütünlük vardır.	9,116	15,892	0,421
En çok 3 eşbütünlük vardır.	7,501	9,164	0,102

Not: (*) işareti ilgili hipotezin %5 seviyesinde reddedildiğini göstermektedir. (**) işareti MacKinnon-Haug-Michelis (1999) olasılık değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 6'nın üst bölümünde yer alan İz istatistiği açısından kurulan H_0 hipotezi eşbütünlüğün olmadığını ($r=0$), H_1 hipotezi ise $r \leq 1$ (en az 1 tane) eşbütünlüğün var olduğunu göstermektedir. Tabloda H_0 hipotezinin iz istatistiği, %5 anlamlılık düzeyindeki kritik değerden büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu durum en az bir tane eşbütünlüğün olduğunu ifade etmektedir. Maksimum özdeğer testi açısından H_0 hipotezi eşbütünlük ilişkisinin olmadığını, H_1 hipotezi bir tane eşbütünlüğün var olduğunu göstermektedir. Tablo 6'nın altında yer alan H_0 hipotezine ait maksimum özdeğer istatistiği %5 düzeyindeki kritik değerden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilmektedir. Bu açıdan maksimum özdeğer eşbütünlük yaklaşımı açısından bir tane eşbütünlüğün var olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak iz ve maksimum özdeğer istatistiklerine göre bir tane eşbütünlük vektörünün olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla ekonomik büyüme, karbondioksit salınımı, fosil ve yenilenebilir elektrik üretimi değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan değişkenler arasında eşbütünlük var olduğu için VECM analizi uygulanabilir. Johansen eşbütünlük testi değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini göstermediği için kısa ve uzun dönem nedensellik ilişkileri VECM metoduyla sorgulanabilir. VECM metoduyla tahmin edilecek denklemler aşağıda yer almaktadır.

$$LYEN_t = \alpha_0 + \alpha_1 LRGDP_t + \alpha_2 LFOSİL_t + \alpha_3 LCO2_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

$$LFOSİL_t = \alpha_0 + \alpha_1 LRGDP_t + \alpha_2 LYEN_t + \alpha_3 LCO2_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$\Delta LYEN_t = \beta_1 + \beta_2 \Delta LR GDP_{t-1} + \beta_3 \Delta LFOSİL_{t-1} + \beta_4 \Delta LCO2_{t-1} + \beta_5 VECT_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$\Delta LFOSİL_t = \beta_1 + \beta_2 \Delta LR GDP_{t-1} + \beta_3 \Delta LYEN_{t-1} + \beta_4 \Delta LCO2_{t-1} + \beta_5 VECT_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

(5), (6), (7) ve (8) numaralı denklemlerde $LYEN_t$ ve $LFOSİL_t$ bağımlı değişken olarak kullanılmış olup diğer değişkenler dışsal konumdadır. (5) ve (6) numaralı denklemler tahmin edilecek uzun dönem denklemleri, (7) ve (8) numaralı denklemler kısa dönem denklemleri göstermektedir. Eviews 9 programı yardımıyla model 2 (*uzun dönem modelde sabitli ve trendsiz*) kullanılarak VECM(1) tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları Tablo 7 yardımıyla incelenebilir.

Tablo: 7
VECM(1) Tahmin Sonuçları

Uzun Dönem Denklem Sonuçları		
	$LYEN_t$	$LFOSİL_t$
SABİT	-35,776** (2,453)	-5,497 (1,423)
$LCO2_t$	23,762*** (-4,107)	3,651*** (-6,868)
$LFOSİL_t$	-6,508*** (5,010)	-
$LRGDP_t$	-4,830 (1,423)	-0,742 (1,335)
$LYEN_t$	-	-0,153*** (3,374)
Kısa Dönem Denklem Sonuçları		
	$\Delta LYEN_t$	$\Delta LFOSİL_t$
$VECT_t$	-0,20*** (-3,824)	-0,28*** (-2,584)
$\Delta LYEN_{t-1}$	0,028 (0,156)	-0,061 (-1,029)
$\Delta LFOSİL_{t-1}$	0,458 (0,774)	0,035 (0,185)
$\Delta LR GDP_{t-1}$	-1,730 (-1,325)	0,828 (1,963)
$\Delta LCO2_{t-1}$	-1,948 (-1,185)	-0,865 (-1,629)

Not: (*) işareti %10 seviyesinde, (**) işareti %5 seviyesinde ve (***) işareti %1 seviyesinde anlamlı olduğunu göstermektedir.

Analiz sonuçları incelendiğinde kısa dönem denklem sonuçlarında yer alan $VECT_t$ (vektörel hata düzeltme) katsayısı her iki model için negatif, sıfır ile 1 arasında ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla her iki model için hata düzeltme sisteminin çalıştığı ve tahmin edilen VECM(1) modelinin kullanışlı olduğu söylenebilir. $VECT_t$ katsayısı yenilenebilir enerji üretimi denklemi için -0,20 olarak hesaplanmıştır. Bu durum yenilenebilir elektrik üretiminde kısa dönemde yaşanan dengesizliklerin (1/0.2) 5 yıl sonra düzelterek uzun dönem dengesine ulaşacağını göstermektedir. Fosil üretimi denkleminde ise $VECT_t$ katsayısı -0,28 olarak hesaplanmış olup bu durum kısa dönemde yaşanan dengesizliklerin (1/0,28) yaklaşık olarak 3,5 yıl sonra düzelterek uzun dönem dengesine ulaşacağını ifade etmektedir. Tablo 7’de yer alan uzun dönem denklem sonuçlarına göre yenilenebilir enerji üretimi açısından karbondioksit salınımlarında %1’lik artış yenilenebilir enerji üretimini yaklaşık olarak %23 oranında arttırmaktadır. Yine fosil elektrik üretiminde %1’lik artış yenilenebilir elektrik üretimini yaklaşık %6,5 oranında azaltmaktadır. Fosil kaynaklı elektrik üretiminin uzun dönem denklem sonuçlarına göre karbondioksit salınımlarında %1 oranında artış fosil elektrik

üretimini yaklaşık olarak %3,6 oranında arttırmaktadır. Yenilenebilir elektrik üretiminde %1'lik artış ise fosil kaynaklı elektrik üretimini yaklaşık olarak %0,15 oranında azaltmaktadır. Ayrıca her iki denklem sisteminin kısa dönem sonuçlarının istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görülmektedir.

Tahmin edilen VECM(1) modelinin hata düzeltme mekanizmasının çalışmasının yanı sıra sağlamlığının belirlenimi açısından tanısal testlerin modele uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle VECM(1) modeline sırasıyla otokorelasyon, değişen varyans ve normallik testi uygulanmıştır. Tanısal test sonuçları Tablo 8 yardımıyla incelenebilir.

Tablo: 8
Tanısal Test Sonuçları

Otokorelasyon			Tanı (Diagnostic) Testleri		Normallik	
			Değişen Varyans			
Gecikme	LM Testi	Olasılık	Ki-Kare Testi	Olasılık	Jarque-Bera Testi	Olasılık
1	7,498	0,962	105,773	0,327	2,261	0,971
2	12,247	0,726				
3	13,630	0,626				
4	17,607	0,347				

Tablo 8'in ilk kısmında modelin kalıntıları arasında serisel korelasyonun varlığı otokorelasyon testi yardımıyla incelenmiştir. Bu paralelde çalışmada kullanılan veriler yıllık olduğu için gecikme sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Modelde dört gecikmeye kadar olasılık değeri %5 oranından büyük olduğu için modelde otokorelasyon sorununun olmadığı görülmektedir. Diğer yandan kurulan modelin kalıntılarında değişen varyans olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle modele değişen varyans testi yapılmış olup Ki-Kare istatistiğinin olasılık değerinin %1 düzeyinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla modelde değişen varyans probleminin olmadığı anlaşılmaktadır. Son olarak tahmin edilen modelin kalıntılarının normal dağılıma uyması şarttır. Bu nedenle model için yapılan Jarque-Bera testi hesaplanmış olup testin olasılığının %1 düzeyinden büyük olduğu görülmektedir. Bu açıdan model normallik şartına uymaktadır. Sonuç olarak tahmin edilen VECM(1) modelinin hata düzeltme katsayısının anlamlı olmasına ilave olarak ilgili modelde otokorelasyon, değişen varyans problemlerinin olmadığı ve kalıntıların normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir.

VECM(1) modelinde kullanılan değişkenlerin hangilerinin içsel veya dışsal değişken olup olmadığını incelemek gerekmektedir. Bu nedenle her bir değişken için program yardımıyla VEC sınırlaması yapılarak ilgili değişkenlere zayıf dışsallık testi uygulanmıştır. Test sonuçları aşağıda yer alan Tablo 9 yardımıyla incelenebilir.

Tablo: 9
Değişkenler Açısından Zayıf Dışsallık Testi

Değişkenler	Ki-Kare Testi	Olasılık Değeri	Hipotez	Yorum
LYEN	11,073	0,000	H_0 Red	Bağımlı Değişken
LCO2	0,072	0,788	H_0 Kabul	Bağımsız Değişken
LRGDP	0,723	0,394	H_0 Kabul	Bağımsız Değişken
LFOSİL	5,974	0,014	H_0 Red	Bağımlı Değişken

Tablo 9’da yer alan sonuçlara göre LYEN değişkenine ait Ki-kare test istatistiği olasılık değerinin %1 oranından küçük olduğu ve LFOSİL değişkenine ait Ki-kare test istatistiği olasılık değerinin %5 oranından küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla LYEN ve LFOSİL değişkenleri için oluşturulan H_0 hipotezi reddedilerek her iki değişkenin içsel olduğunu anlaşılmaktadır. İlave olarak LCO2 ve LRGDP değişkenleri için hesaplanan Ki-kare testi olasılık değeri %1 oranından büyük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilerek ilgili değişkenlerin bağımsız değişken olduğu görülmektedir. Dolayısıyla tahmin edilen VECM(1) modelinde LYEN ve LFOSİL bağımlı değişkenler olarak kullanıldığı için kurulan denklemlerin doğru olduğu anlaşılmaktadır.

Tahmin edilen VECM(1) modelinde değişkenler arası kısa ve uzun dönem nedensellik ilişkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle modelde yer alan değişkenlerin kısa dönem nedenselliklerinin tespiti için VECM dayalı Granger testi uygulanmıştır. Değişkenler arası uzun dönem nedensellik ilişkilerinde ise VECT katsayısı ve zayıf dışsallık testi sonuçları dikkate alınmaktadır. Test sonuçları Tablo 10’da yer almaktadır.

Tablo: 10
Uzun ve Kısa Dönem VECM Nedensellik Sonuçları

Uzun Dönem Nedensellik	VECT	t İstatistiği
$f(LYEN LRGDP, LFOSİL, LCO2)$	-0,20	-3,84
$f(LFOSİL LYEN, LRGDP, LCO2)$	-0,28	-2,58
Kısa Dönem Nedensellik	Ki-Kare Testi	Olasılık Değeri
$f(LFOSİL LYEN, LRGDP, LCO2)$	4,720	0,193
$f(LYEN LFOSİL, LCO2, LRGDP)$	7,526	0,056
$f(LCO2 LFOSİL, LYEN, LRGDP)$	6,266	0,099
$f(LRGDP LFOSİL, LYEN, LCO2)$	2,875	0,411

Daha önceden yapılan zayıf dışsallık testine göre LYEN ve LFOSİL değişkenleri bağımlı değişken olarak belirlenmişti. Bu açıdan Tablo 10’da LYEN bağımlı değişken olmak üzere kurulan denklemin VECT katsayısı -0,2 olarak hesaplanmış olup %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılığı bulunmaktadır. Dolayısıyla uzun dönemde LRGDP, LFOSİL ve LCO2 değişkenlerinden LYEN değişkenine doğru nedensellik ilişkisi geçerlidir. LFOSİL içsel değişken olmak üzere oluşturulan denklemin VECT katsayısı -0,28 olup sıfır ile bir arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca bu katsayı %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu paralelde LYEN, LRGDP ve LCO2 değişkenleri uzun dönemde LFOSİL değişkeninin nedeni olduğu söylenebilir. Kısa dönem nedensellik ilişkileri incelendiğinde LYEN bağımlı değişken olmak kaydıyla yapılan Ki-kare test istatistiğinin olasılık değeri %10 düzeyinden düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle LFOSİL, LCO2 ve LRGDP değişkenleri LYEN değişkeninin kısa dönem nedeni olmaktadır. Ayrıca LCO2 bağımlı değişken olduğu durumda Ki-kare test istatistiğinin olasılık değeri %10 düzeyinden az olduğu için LFOSİL, LYEN ve LRGDP değişkenlerinin kısa dönemde LCO2 değişkeninin nedeni olduğu anlaşılmaktadır. LFOSİL ve LRGDP değişkenleri açısından yapılan testlerin olasılık değerlerinin %10 düzeyinden fazla olması nedeniyle bu değişkenler açısından kısa dönem nedensellik ilişkisine rastlanılmamıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Sürdürülebilir kalkınma açısından elektrik üretiminin büyük önemi bulunmaktadır. Bu önem elektrik üretiminin toplumsal, ekonomik ve çevresel kavramlarla ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Elektrik üretimi hem ekonomik hem toplumsal bir ihtiyaç olup bu ihtiyacın çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Türkiye elektrik üretimini fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra az da olsa elektrik ithalatıyla karşılamaktadır. Sözü edilen kaynaklar içerisinde en büyük pay yaklaşık %70'lik bir oranla fosil enerji kaynaklarına aittir. Fosil enerji kaynaklarının elektrik üretiminde yoğun olarak kullanılması başta sera gazı salınımlarını (*başta karbondioksit olmak üzere*) artırarak çevresel kirlenmeye yol açmaktadır. Dolayısıyla gelişen bir toplumun ihtiyacına paralel olarak elektrik üretiminde daha fazla fosil enerji kaynaklarının kullanılması çevresel kirliliği artırarak sürdürülebilir kalkınmanın olumsuz etkilenmesine neden olacaktır.

Bu çalışmada Türkiye için 1990-2017 yılları arasında fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim çeşitlerinin ekonomik büyüme ile karbondioksit salınımı açısından ilişkileri incelenmiştir. Bu paralelde çalışmada ilgili dönem için karbondioksit salınımı, fosil kaynaklı elektrik üretimi, yenilenebilir elektrik üretimi ve ekonomik büyüme değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın ekonometrik kısmında değişkenlerin uzun vadeli ilişkilerinin tespiti için Johansen-Juselius (1990) eşbütünleşme testi uygulanmış olup kısa ve uzun vadeli nedensellik ilişkilerinin incelenmesinde VECM analizinden faydalanılmıştır. Çalışmanın eşbütünleşme testi sonuçlarına göre değişkenler arasında bir tane eşbütünleşme ilişkisinin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla karbondioksit salınımı, fosil kaynaklı elektrik üretimi, yenilenebilir elektrik üretimi ve ekonomik büyüme değişkenleri arasında uzun dönemli ilişki mevcuttur. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğu için kısa ve uzun dönemli VECM nedensellik testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre ekonomik büyüme, fosil kaynaklı elektrik üretimi ve karbondioksit salınımı değişkenleri yenilenebilir elektrik üretiminin hem kısa hem de uzun dönem nedeni olduğu görülmektedir. Uzun dönemde karbondioksit salınımindaki artışlar yenilenebilir elektrik üretimini artırırken, fosil kaynaklı elektrik üretimindeki artışlar yenilenebilir elektrik üretimini azaltmaktadır. Bu duruma ilave olarak uzun dönemde ekonomik büyüme, yenilenebilir elektrik üretimi, karbondioksit salınımindan fosil kaynaklı elektrik üretimine doğru nedenselliğin olduğu tespit edilmiştir. Uzun dönemde karbondioksit salınımindaki artışlar fosil kaynaklı elektrik üretimini artırırken, yenilenebilir elektrik üretimindeki artışlar fosil kaynaklı elektrik üretimini azaltmaktadır. Kısa dönem test sonuçları açısından karbondioksit salınımı, yenilenebilir elektrik üretimi ve ekonomik büyüme değişkenlerinin fosil kaynaklı elektrik üretimi üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Ancak kısa dönemde ekonomik büyüme, yenilenebilir elektrik üretimi ve fosil kaynaklı elektrik üretimi değişkenlerinin karbondioksit salınıminin nedeni olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak ekonomik büyümenin fosil kaynaklı ve yenilenebilir elektrik üretimi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla genel olarak koruma hipotezinin geçerli olduğu savunulmakta olup elektrik arzına yönelik tasarruf politikalarının ekonomik büyüme üzerinde etkili olmayacağı söylenebilir. Bu açıdan çalışmadan elde edilen sonuçlar Türkiye için Uzun vd. (2013) ve Erdoğan vd. (2018) tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarıyla

örtüşmektedir. Kaynağına göre elektrik üretiminin çevre bağlantıları incelendiğinde karbondioksit salınımının fosil kaynaklı ve yenilenebilir elektrik üretimi üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. Karbondioksit salınımındaki artışlar fosil kaynaklı elektrik üretimine nazaran yenilenebilir elektrik üretimini daha fazla arttırmaktadır. Bu durum çevre kirliliğine gösterilen tepkinin elektrik üretimi için kullanılacak kaynağı değiştirdiğini göstermektedir. Ayrıca kaynağına göre elektrik üretimi çeşitlerinin ikame derecesinin de çevre kirliliği üzerinde etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda çalışmada fosil kaynaklı elektrik üretimi artışının yenilenebilir elektrik üretimini daha fazla düşürdüğü görülmektedir. Elektrik arzını sağlamak için fosil kaynakların yoğun kullanımı çevre kalitesi üzerinde olumsuz etki yaratabilir. Dolayısıyla kaynağına göre elektrik üretimi üzerinde çevre ve ekonomik büyüme bağlantılarının etkili olduğu görülmektedir. Ekonomik büyümenin daha büyük bir kısmı yenilenebilir enerji yatırımlarına ayrılırsa uzun vadede çevresel kirlilik önlenmiş olacaktır. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynaklarına başvurulması enerji arz güvenliğini sağlayıp ithal enerji kaynaklarına olan dışa bağımlılığın azalmasını sağlayacaktır. Elektrik üretimi için kullanılan kaynakların ikamesi önemli olup çevre kalitesini sağlamak için yenilenebilir kaynakların kullanılması gereklidir. Ayrıca çevre kirliliğine gösterilen tepki de enerji kaynağı türlerinin kullanımını farklılaştırarak çevre üzerinde olumlu etkiye yol açacaktır.

Kaynaklar

- Acaravcı, A. & S. Erdoğan (2018), "Yenilenebilir Enerji, Çevre ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Seçilmiş Ülkeler için Ampirik Bir Analiz", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1), 53-64.
- Adjei, S.K. (2016), "A Dynamic Estimation of Electricity Production and Economic Growth in Ghana: An Econometric Analysis", *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 4(2), 640-661.
- Altınay, G. & E. Karagöl (2005), "Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Turkey", *Energy Economics*, 27, 849-856.
- Altıntaş, H. & M. Kum (2013), "Multivariate Granger Causality between Electricity Generation, Export, Prices and Economic Growth in Turkey", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(Special Issue), 41-51.
- Altıntaş, H. & Ö. Koçbulut (2014), "Türkiye'de Elektrik Tüketiminin Dinamikleri ve Ekonomik Büyüme: Sınır Testi ve Nedensellik Analizi", *Erciyes Üniversitesi İİBF Dergisi*, 43, 37-65.
- Balsalobre-Lorente, D. et al. (2018), "How Economic Growth, Renewable Electricity and Natural Resources Contribute to CO₂ Emissions?", *Energy Policy*, 113, 356-367.
- Bayraktutan, Y. & M. Yılğör & S. Uçak (2011), "Renewable Electricity Generation and Economic Growth: Panel-Data Analysis for OECD Members", *International Research Journal of Finance and Economics*, 66, 59-66.
- Bozkurt, H. (2013), *Zaman Serileri Analizi*, Ekin Basım Yayın, Bursa.
- Erdoğan, S. vd. (2018), "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi Üzerine Ampirik Bulgular", *Ömer Halisdemir Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(2), 233-246.
- Eren, M.V. vd. (2016), "Türkiye'de Yapısal Kırımlı Testlerle Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Analizi", *Akademik Bakış Dergisi*, 56, 275-289.

- Ertuğrul, M. (2011), "Türkiye'de Elektrik Tüketimi Büyüme İlişkisi: Dinamik Analiz", *Enerji-Piyasa ve Düzenleme*, 2, 49-73.
- Ghosh, S. (2002), "Electricity Consumption and Economic Growth in India", *Energy Policy*, 30, 125-129.
- Ghosh, S. (2009), "Electricity Supply, Employment and Real GDP in India: Evidence Cointegration and Granger-Causality Tests", *Energy Policy*, 37(8), 2926-2929.
- Hdom, H.A.D. (2019), "Examining Carbon Dioxide Emissions, Fossil & Renewable Electricity Generation and Economic Growth: Evidence from a Panel of South American Countries", *Renewable Energy*, 139, 186-197.
- Johansen, S. & K. Juselius (1990), "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration- with Applications to the Demand For Money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210.
- Kwiatkowski, D. et al. (1992), "How Sure Are We That Economic Time Series Have A Unit Root?", *Journal of Econometrics*, 54, 159-178.
- Marques, A.C. & J.A. Fuinhas & A.N. Menegaki (2014), "Interactions between Electricity Generation Sources and Economic Activity in Greece: A VECM Approach", *Applied Energy*, 132, 34-46.
- Mert, M. & A.E. Çağlar (2019), *Eviews ve Gauss Uygulamalı Zaman Serileri Analizi*, Detay Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara.
- Murray, D.A. & G.D. Nan (1996), "A Definition of The GDP-Electrification Interrelationship", *Journal of Energy and Development*, 19, 275-283.
- Nnaji, C.E. & J.O. Chukwu & N. Moses (2013), "Electricity Supply, Fossil Fuel Consumption, CO2 Emissions and Economic Growth: Implications and Policy Options for Sustainable Development in Nigeria", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(3), 262-271.
- Özcan, M. (2019), "Factors Influencing the Electricity Generation Preferences of Turkish Citizens: Citizens' Attitudes and Policy Recommendations in the Context of Climate Change and Environmental Impact", *Renewable Energy*, 132, 381-393.
- Özcan, M. & S. Öztürk (2015), *Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunda Beklenen Değişimler ve Karbon Vergisi Uygulaması*, <http://www.emo.org.tr/ekler/58a45a373b0c713_ek.pdf>, 10.10.2019.
- Özkan, F. & Ö. Özkan & H.S. Kuyuk (2012), "Energy Production and Economic Growth: Empirical Evidence from Turkey", *Applied Econometrics and International Development*, 12(2), 79-88.
- Rehman, A. et al. (2020), "Does Electricity Production from Different Sources in Pakistan Have Dominant Contribution to Economic Growth? Empirical Evidence From Long-run and Short-run Analysis", *The Electricity Journal*, 33(3), 1-9.
- Sağlam, B.B. & K. Yıldırım (2014), "Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Ücretler: Türkiye Ekonomisi İçin Bir Uygulama", *Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 32(1), 191-209.
- Sarker, A.R. & K. Alam (2010), "Nexus Between Electricity Generation and Economic Growth in Bangladesh", *Asian Social Science*, 6(12), 16-22.
- Sevüktekin, M. & M. Çınar (2014), *Ekonomik Zaman Serileri Analizi*, Dora Yayınevi, Bursa.

- TEİAŞ (2018), *Elektrik Enerjisi-Üretimi-Tüketimi-Kayıplar İstatistiği*,
<<https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar-1>>,
20.10.2019.
- Turan, Z. (2018), "Türkiye'de Tarımsal Mal Ticaretinin ve Hayvancılığın Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi (1990-2014)", *International Journal of Disciplines Economics and Administrative Sciences Studies*, 4(8), 200-209.
- TÜİK (2018), *1990-2017 Döneminde Sera Gazı Emisyonları*,
<http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019>, 20.10.2019.
- Uzun, A. & Ö.S. Emsen & Ö. Yalçınkaya & İ. Hüseyini (2013), "Toplam Elektrik Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (1980-2010)", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 327-344.
- Yılmaz, M. (2012), "Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
- Yoo, S.H. (2005), "Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence From Korea", *Energy Policy*, 33(12), 1627-1632.
- Yoo, S-H. & Y. Kim (2006), "Electricity Generation and Economic Growth in Indonesia", *Energy*, 31, 2890-2899.
- Yu, Z. et al. (2019), "The Effects of Electricity Production on Industrial Development and Sustainable Economic Growth: A VAR Analysis for BRICS Countries", *Sustainability*, 11, No: 5895, 1-13.