

EKONOMİK BÜYÜME VE KARBON EMİSYONU İLİŞKİSİ: ALMANYA ÖRNEĞİ

RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND CARBON EMISSIONS: THE EXAMPLE OF GERMANY

Zekai ÖZDEMİR*, Ayça DOĞANER**, Güldenur ÇETİN***

* Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü, zekoz@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5096-4711

** Dr., İstanbul Ticaret Odası, Meslek Komiteleri Müdürlüğü, ayca.doganer@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4277-9326

*** Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İktisat Bölümü, gadiguzel@ticaret.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3341-7016

ÖZ

Ülkelerin temel ekonomik hedeflerinin başında istikrarlı bir ekonomik büyüme trendine sahip olmak yer almaktadır. Söz konusu istikrarlı büyüme trendini elde edebilme hususunda ise üretim sistemleri ve bu alandaki yenilikleri ortaya koyan ya da en hızlı yeniliklere adapte olabilen ülke olmak son derece önemlidir. Bu çalışmada hem Avrupa Birliği'nin en büyük ekonomisine sahip ülke olması hem de üretim alanındaki mevcut yapısı sebebiyle Almanya incelenmektedir. Almanya, Dünyada üçüncü en büyük gayri safi yurtiçi hasılaya sahip olan ülkedir ve çevre bilincinin en yüksek olduğu ülkelerden birisidir. Almanya'da yaşayan bireyler düşük emisyon tüketimi bilinciyle hareket ederek, geri dönüşümü azaltmaya ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önem vermektedir. Bu nedenle Almaya, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisinin incelenmesi açısından son derece önemli bir örnektir. Bu çalışmada Avrupa Birliği'nin en büyük ekonomisi olan Almanya'da karbon emisyonlarının ekonomik büyüme üzerindeki nedensellik ilişkileri analiz edilmiştir. Bu amaçla 1990-2018 yılları arasındaki karbon emisyonu yoğunluğu endeksi, kişi başına elektrik tüketimi ve kişi başına GSYH verileri ele alınarak, değişkenler arasındaki ilişkiler vektör otoregresif modeller, granger ve toda-yamamoto analizleri kullanılarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Karbon Emisyonları, Vektör Otoregresif Model, Granger Nedensellik, Toda-Yamamoto Analizi.

Jel Kodları: F43, Q40, Q43

ABSTRACT

At the beginning of the basic economic conditions of the countries is the place where there is an economic growth trend. In order to achieve the development trend in question, it is very nice to be the country that can adapt to innovations, systems that are the last important, and to be the country that puts forward the innovations in this field or can adapt to the most innovations. In this study, both the fact that it has the largest country in the European Union and it is present. Germany is a world-class knowledgeable people who have a pretty big world in the world. It is important from a backward point of view and point of view with regard to the consciousness of life of people living in Germany. This progress is an example of which is extremely important to advance in economic growth and carbon consumption. Economic analyzes will be conducted that will have causality on large-scale economic growth in Germany, the most economical of the European Union. For this purpose, it consists of the goals of 1990-2018, the relationship between the choices of the electors, the results from the autoregressive models, granger and toda-yamamoto analyzes, the electrical choices of the person and the people per person.

Keywords: Economic Growth, Carbon Emissions, Vector Autoregressive Model, Granger Causality, Toda-Yamamoto Analysis.

Jel Kodları: F43, Q40, Q43

1. GİRİŞ

Ekonomik büyüme hızı ve ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyleri küresel arenada ülkeler açısından lider konumda olma ve küresel ekonomiye yön verebilme hususunda son derece önemlidir. Büyüme hızı açısından ise, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için üretimi ekonomik büyümenin lokomotifi olarak ifade etmek yanlış olmayacaktır. Üretim demek enerji kullanımı demektir. Bu noktada çok sayıda gelişmiş olan ve gelişmekte olan ülkeler açısından da enerji kullanımında karbon salınımı konusu dikkati çekmektedir.

Sadece üretim noktasında değil, yaşamın her alanında enerji kullanımı mevcuttur. Hane halkları devamlı olarak enerji tüketimi ve karbon salınımında pay sahibidir. Bu bağlamda ülkelerin enerji kaynaklarına ve bu enerji kaynaklarının kullanım şekillerine ilişkin tutumları, ekonomik ve siyasi yaklaşımlarının yanı sıra kabul ettikleri ve uyguladıkları çevre politikaları ile de ilişkilidir. Konu hakkında literatür incelendiğinde, karbon salınımı, enerji türlerinin kullanımı ve ekonomik büyüme ilişkisini araştıran çok sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda ülkelerin ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmaları yolunda karbon salınımı oranının etkinliği ya da ekonomik büyüme oranı artışı ile karbon salınımına yol açılıp, açılmadığına dair nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır. Ülkelerin kullandıkları enerji türlerine bağlı ya da bağımsız olarak ele alınan çalışmalarda enerjiye kolay ve ucuz ulaşabilme konularına da değinilmektedir. Bu çalışmada örnek olarak incelenen Almanya hem çevre politikaları bakımından, hem dünya ve Avrupa'nın en büyük ekonomileri arasında yer alması, hem de büyüme oranı ile dikkat çekmeye devam etmesi sebebiyle karbon salınımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi gelişmiş ülke kategorisi açısından değerlendirmek üzere seçilmiştir.

Özellikle elektrik enerjisi tüketimi karbon salınımı açısından son derece önemlidir. Üretim sistemlerinde yoğun olarak kullanımı tercih edilen bu enerji türü, aynı zamanda hane halkları tarafından da süreklilik arz edecek biçimde kullanılmaktadır. Bu sebeple günümüz yaşamının ayrılmaz bir parçası olan bu enerji türünün elde edilişi, günlük yaşamda kullanımı, üretim sistemleri içerisindeki payı ile karbon emisyonu salınımı ve büyümenin temel faktörü olan üretimi birlikte değerlendirmek hem ilişkinin açıklanması hem de etkinliğin çözümlenmesi açısından çok daha doğru olacaktır.

Konu ekonomik büyüme bağlamında ele alındığında çok sayıda değişkenin etkili olduğu ve çıktı artışı ile milli gelir artışının sağlanması ilişkisi noktasında kullanılan enerji türünün de hem ekonomik büyümede sürdürülebilirlik, hem de enerji kaynaklarında sürdürülebilirlik açısından karbon emisyonu ile ilişkisi önem taşımaktadır. Çalışmada ekonomik büyüklüğü ve çevre politikalarıyla dikkat çeken Almanya açısından konu, 1990-2018 yılları arasındaki karbon emisyonu yoğunluğu endeksi, kişi başına elektrik tüketimi ve kişi başına GSYH verileri ile analiz edilmiştir. Söz konusu analiz öncesi çalışmada konuyla ilgili literatür çalışmalarına da yer verilerek, karbon emisyonu, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi çok boyutlu olarak ele alınmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR

Ekonomik büyüme ve Karbon emisyonu ilişkisi literatürde hem teorik, hem de ampirik çalışmalarla sınırlanmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bazında ilişki yönü ve düzeyi açısından farklı sonuçlara ulaşıldığı da görülmektedir. Çalışmanın bu bölümünde karbon emisyonu-ekonomik büyüme ilişkisine dair literatürde yer alan çalışmalar incelenerek, uygulanan analizler ve sonuçlarına yer verilmektedir.

Arı ve Zeren 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini test etmişlerdir. Söz konusu analizde Akdeniz ülkeleri 2000–2005 dönemi için

panel veri yöntemiyle incelenmiştir ve sonuç olarak CO2 emisyonunun, yüksek ekonomik büyüme düzeylerinde dahi artabildiği tespit edilmiştir.

Abid (2015), Tunus için 1980-2009 dönemi verileri ile ekonomik büyümenin karbon emisyonları üzerindeki etkisini VECM ve granger nedensellik testleriyle incelemiştir ve ktisadi büyüme ve karbon salınımı arasında artan bir ilişki tespit etmiştir.

Xu ve Lin (2015), 1990-2011 için Çin açısından ekonomik büyüme, sanayileşme ve kentleşmenin karbon emisyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Analiz sonuçları ekonomik büyümenin en önemli iki unsuru olan sanayileşme ve kentleşmenin karbon emisyonlarını etkilediğini ortaya koymaktadır.

Bayramoğlu ve Yurtkur (2016), çalışmalarında doğrusal ve doğrusal olmayan eşbütünleşme ile Türkiye açısından karbon salınımı-iktisadi büyüme ilişkisini incelemiştir. 1960-2010 dönemi için gerçekleştirilen analizde, Türkiye için karbon salınımı ile iktisadi büyüme için doğrusal bir ilişki tespit edilmemiştir. Ancak iktisadi büyüme ve karbon salınımı arasında Türkiye açısından doğrusal olmayan anlamlı ve uzun dönemli pozitif ilişki tespit edilmiştir.

Güllü ve Yakışık çalışmalarında (2017), MIST ülkeleri açısından karbon salınımı - enerji kullanımı - iktisadi büyüme için Johansen Eşbütünleşme ve Granger Nedensellik Testi ile 1971-2010 verileri kullanılarak, ilişki sınımlanmıştır. Sonuç olarak analize konu olan ülkelerde iktisadi büyümeden karbon salınımı ve enerji kullanımına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Külünk çalışmasında (2018), 1960-2013 verileri ile Türkiye açısından ekonomik büyüme ve karbon salınımı ilişkisini Engle-Granger eşbütünleşme testi ile sınımlanmıştır ve uzun dönemde ekonomik büyüme ve karbon salınımı arasında ilişki olduğunu tespit etmiştir.

Mikayilov ve diğerleri (2018), Azerbaycan açısından iktisadi büyüme ile karbon salınımı arasındaki ilişkiyi ARDL, DOLS ve FMOLS yöntemleri ile incelemiştir ve ekonomik büyümenin emisyonlar üzerinde uzun dönemde pozitif ve anlamlı etkisi bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Akdoğan (2019) çalışmasında, 2007-2017 dönemi için iktisadi büyüme-yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyon miktarlarının ilişkisini seçilen G20 ülkeleri için panel veri yöntemiyle analiz etmiştir. İktisadi büyüme - yenilenebilir enerji kullanımı – karbon salınımı arasında uzun dönem için pozitif ve tek yönlü nedensellik bulmuştur.

Özdemir ve Koç çalışmalarında (2020), Türkiye açısından Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi'nin geçerliliğini sınımlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda uzun dönem denge ilişkisi varlığı ARDL ile tespit edilirken, kişi başına CO2 emisyonları ile kişi başına gelir arasında N-sekinde kübik polinomial ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kişi başına CO2 emisyonu üzerinde enerji tüketiminin pozitif, yenilenebilir enerjinin negatif etkileri tespit edilirken, ticari dışa açıklığın pozitif etkisi bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Atgür 2021 yılındaki çalışmasında, 1971-2014 dönemi için Çin'de sürdürülebilir büyüme çerçevesinde iktisadi büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisini Sıradan En Küçük Kareler tahmin yöntemi, Hata Düzeltme Modeli, Granger nedensellik testi ve Johansen Eşbütünleşme ile incelemiştir. Johansen Eşbütünleşme testi ve Sıradan En Küçük Kareler yöntemi tahmin sonuçları istatistiksel açıdan anlamlıdır, Hata Düzeltme Modeli Granger nedensellik testi sonuçları anlamlı değildir. Sonuç olarak Çin'de iktisadi büyüme ve enerji tüketimi karbon emisyonları üzerinde etkilidir.

Bağrıyanık çalışmasında (2021), ihracat çeşitliliği, iktisadi büyüme ve CO2 emisyonu ilişkisini 2002- 2014 dönemi için BRICS ülkeleri açısından panel veri analizi ile incelemiştir ve analiz sonucunda ihracat çeşitliliğinin, iktisadi büyüme ve CO2 emisyonunu pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Yıldız (2021), çalışmasında G7 ülkeleri ve bunların ticaret hacmi en yüksek olan gelişmekte olan ticaret ortağı ülkeler için, Stokastik yakınsama metodolojisi, yakınsama veya sapmayı test etmek için Artırılmış Dickey Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) ve Enders-Lee Fourier birim kök testleri ile gerçekleştirdiği analizler sonucunda, ticaretin kişi başına CO2 emisyonları üzerinde genel veya ortak bir etkisinin olmadığını tespit etmiştir.

Batmaz ve Yürük çalışmalarında (2022), 2000-2018 dönemi için Avrasya Ekonomik Birliği ve Türkiye açısından karbondioksit emisyonu, kişi başına düşen milli gelir ve elektrik enerjisi tüketimi ilişkisini tesadüfi etkiler, sabit etkiler ve genelleştirilmiş momentler analizleriyle sınamışlardır. Analizlerin sonucunda elektrik enerjisi tüketimindeki artışın karbondioksit emisyonunu artırdığı tespit edilmiştir.

3. YÖNTEM

Bir zaman serisinin veri üretme sürecinde kendisinin geçmişteki şokları ve/veya rassal şokların etkisinin olduğunu ifade eden modeller gerçek verilerle çalışıldığında eksik kalmaktadır. Çünkü zaman serileri verileri kendisinin geçmiş ve/veya rassal şokların yanı sıra diğer serilerin değişimlerinden de etkilenmektedir. Dolayısıyla tek değişkenli analizler yerine çok değişkenli analizlerin yapılması gerekmektedir. Birden çok zaman serisinin olduğu modellerde bir denklem yerine denklem sistemi ile modeller kurulmalıdır. Bu amaçla otoregresif AR(p) modelleri yerine onun genelleştirilmiş modeli olan vektör otoregresif VAR(p) modelleri kullanılmaktadır (Sevüktekin ve Çınar, 2017, 495).

3.1. Vektör Otoregresif Modeller

Vektör otoregresif modeller (VAR) dinamik modelleri kullanan, değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkileri tespit etmeye çalışan bir denklem sistemidir. VAR modelinde sistem dahilinde içsel olarak belirlenen her bir değişkenin hem kendi gecikmeli değerleri hem de diğer değişkenlerin gecikmeli değerlerini dikkate alan tahminlemeler yapılmaktadır. Her bir eşitliğin ayrı ayrı veya bir bütün olarak tahmin edilmesi ve her bir değişkene gelen şoklara değişkenlerin verecekleri tepkilerin ölçülmesi sonucunda etki tepki analizi yapılmaktadır. Varyans ayrıştırması yapılarak her bir değişkene ilişkin öngörü hata varyansının diğer değişkenler tarafından açıklanma oranı hesaplanabilmektedir. VAR modeller kullanılarak nedensellik analizi de yapılabilmekte, bunun sonucunda değişkenler arasındaki ilişkinin yönü de bulunabilmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2020, 5).

Nedensellik analizlerinde kısa dönem ilişkileri belirlenmektedir. Değişkenler arasında koentegre ilişki bulunması durumunda uzun dönemli yorumlamalar yapılabilmektedir. Değişkenlerin tamamının durağan olması ya da durağanlaştırılmış değişken olması gerekmektedir. Eşanlı denkleme alternatif denklemlerdir. Eşanlı denklemde değişkenlerin içsel dışsal değişken ayrımı, bu sistemlerin tahmininde sorunlar çıkardığı için VAR modelinde değişkenlerin tamamı içsel kabul edilerek analiz gerçekleştirilir. Temelinde değişkenlerin geçmiş dönem değerlerinin yer aldığı görülür.

$$Y_t = \alpha_{10} + \sum_{i=1}^p \alpha_{11i} Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \alpha_{12i} X_{t-i} + u_{1t}$$

$$H_0: \alpha_{12i} = 0 \quad H_1: \alpha_{12i} \neq 0$$

$$\begin{bmatrix} Y_t \\ X_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} \alpha_{11i} & \alpha_{12i} \\ \alpha_{21i} & \alpha_{22i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_{t-i} \\ X_{t-i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$$

İktisadi olarak VAR modellerini çoğunlukla yorumlamak zordur. Bu nedenle VAR analizleri yapıldığında, model parametreleri değil, etki-tepki fonksiyonu ve varyans ayrıştırması uygulanmaktadır (Sevüktekin ve Çınar, 2017, 510).

Etki tepki fonksiyonu VAR modelindeki içsel değişkenlerin hata teriminde olan rassal şoklara karşı verdiği tepkisini belirlemektedir. Etki tepki fonksiyonlarında hata terimine verilen bir birim rassal şokun karşılığında içsel değişkenin verdiği tepki ölçülmektedir (Sevüktekin ve Çınar, 2017, 510).

Varyans ayrıştırma analizi ise bir değişkenin kendi şokları nedeniyle gerçekleşen hareketleri ile diğer değişkenlerin şokları nedeniyle oluşan değişimlerin birbirine oranını belirlemektedir. Eğer birinci değişkenin hata varyansı, tüm dönemlerde diğer ikinci değişkenin hata varyansına oranı sıfır ise, ikinci değişkenin dışsal değişken olduğu sonucu elde edilir. Tam tersi durumda ise hata varyanslarının oranı sıfırdan farklı ise, ikinci değişkenin içsel değişken olduğu tespit edilmiş olur (Sevüktekin ve Çınar, 2017, 515).

Tahmin edilen VAR modelinde;

- Kalıntıların (VAR modele ait) normal dağılması,
- VAR model kaçınıcı mertebede tahmin edildiyse o mertebede otokorelasyon olmaması,
- VAR modelde değişen varyans sorunu olmaması,
- Tahmin edilen ters R kökleri birim çember içinde yer alması, gerekmektedir. VAR modelinin kullanılması için bu varsayımların sağlanması gereklidir.

3.2. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi

Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla çeşitli testler yapılmaktadır. Bu testlerde serilerin durağan olup olmadıkları modellerde ön koşul olabilmektedir. Toda-Yamamoto modelinde serilerin durağanlık düzeyinde analizler gerçekleştirilirken, kaçınıcı mertebeden durağan olursa olsun serilerin kendisiyle analiz gerçekleştirilir. Bu nedenle seriler eşbütünleşik olsa da olmasa da kullanılabilir. Her bir değişken bağımlı değişken olarak kabul edilerek değişken sayısı kadar model tahmin edilir.

$$y_t = \delta_1 + \sum_{i=1}^{k+dmax} \alpha_{1i} y_{t-i} + \sum_{j=1}^{k+dmax} \beta_{1j} x_{t-j} + \varepsilon_{1t}$$

$$H_0: \beta_{1j} = 0 \quad H_1: \beta_{1j} \neq 0$$

$$x_t = \delta_2 + \sum_{i=1}^{k+dmax} \alpha_{2i} x_{t-i} + \sum_{j=1}^{k+dmax} \beta_{2j} y_{t-j} + \varepsilon_{2t}$$

$$H_0: \beta_{2j} = 0 \quad H_1: \beta_{2j} \neq 0$$

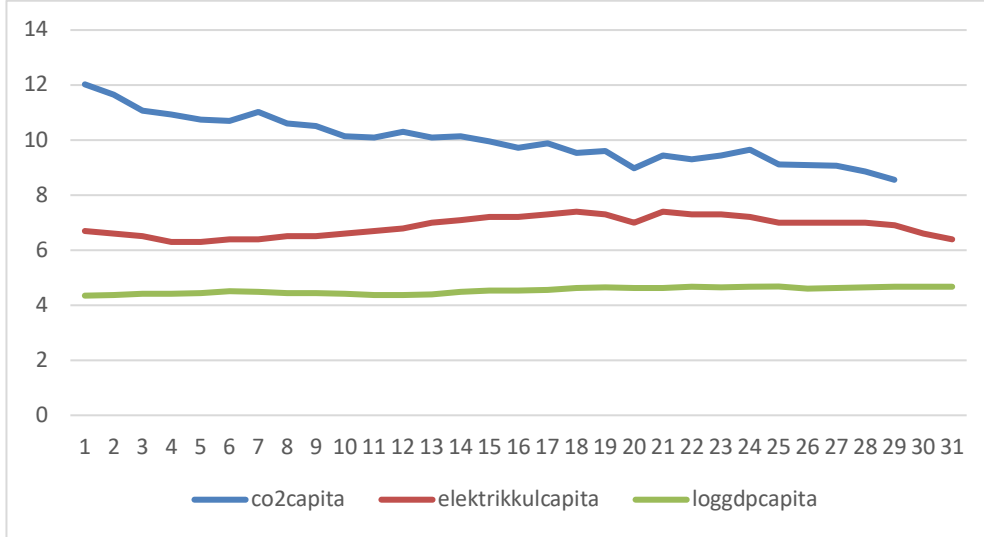
3.3. Bulgular

Bu çalışmada Almanya için 1990-2018 yılları verileri kullanılarak, karbon emisyonu yoğunluğu endeksi, kişi başına elektrik tüketimi ve kişi başına GSYH verilerinin nedensellik ilişkilerinin sınanması yapılmaktadır. Veriler Uluslararası Enerji Ajansı ve Dünya Bankası internet sitesinden temin edilmiştir. Ulaşılabilen en geç dönem 2018 yıllık verisidir.

Analizde bağımlı değişken karbon emisyonlarıdır. Bağımsız değişkenler ise kişi başına GSYH ve elektrik tüketimi değişkenleridir.

Ekonometrik modele dahil edilen değişkenlerin düzey değerlerindeki zaman serileri grafikte gösterilmektedir.

Şekil 1: Değişkenler



Çalışmada kullanılan ekonometrik analizde karbon emisyonları, kişi başına GSYH ile elektrik kullanımı değişkenleri arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla zaman serileri analizi kullanılmıştır. Zaman serisi analizlerinde değişkenler arasında anlamlı bir sonuç tespit edebilmek için serilerin birim kök içermediği bulunmalıdır. Yani serilerin durağan olması gerekmektedir. Zaman serisi verilerinin otokorelasyon sürecini çözmek ve durağan olup olmadıklarını incelemek amacıyla birim kök testlerinden Augmented Dickey Fuller birim kök testi (ADF), Philips Perron (PP) ile Kwiatkowski-Philips-Schmidt-Shin (KPSS) birim kök testleri gerçekleştirilmiştir.

H_0 = Birim kök vardır

H_1 = Birim kök yoktur. Seri durağandır.

Tablo 1: Birim Kök Testlerinin Sonuçları

CO2 Kişi Başına	ADF		PP		KPSS	
	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli
Test İstatistiği	-1.702601	-4.477360	-1.900967	-4.748741	0.707334	0.158753
1%	-3.699871	-4.323979	-3.689194	-4.323979	0.739000	0.216000
5%	-2.976263	-3.580623	-2.971853	-3.580623	0.463000	0.146000
10%	-2.627420	-3.225334	-2.625121	-3.225334	0.347000	0.119000
GDP kişi başına	ADF		PP		KPSS	
	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli
Test İstatistiği	-0.815353	-3.473679	-0.835110	-2.107378	0.616341	0.084965
1%	-3.689194	-4.416345	-3.689194	-4.323979	0.739000	0.216000
5%	-2.971853	-3.622033	-2.971853	-3.580623	0.463000	0.146000
10%	-2.625121	-3.248592	-2.625121	-3.225334	0.347000	0.119000
Elektrik Kullanımı Kişi Başına	ADF		PP		KPSS	
	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli	Sabit	Sabit ve Trendli
Test İstatistiği	-1.081103	-1.119085	-1.119053	-1.369522	0.453589	0.132504
1%	-3.689194	-4.323979	-3.689194	-4.323979	0.739000	0.216000
5%	-2.971853	3.580623	-2.971853	-3.580623	0.463000	0.146000
10%	-2.625121	-3.225334	-2.625121	-3.225334	0.347000	0.119000

Serilerin durağanlığının tespitinde Akaïke bilgi kriteri kullanılarak test edilmiş, karbon emisyonu değişkeninin düzeyde durağan I(0), diğer değişkenlerin 1. Mertebe I(1) durağan oldukları belirlenmiştir. Düzeyde durağan olmayan değişkenlerin farkı alınarak modelin tahminine geçilmiştir.

İlk olarak uygun gecikme uzunluğu belirlenmelidir. Sonrasında VAR modelin mertebesi belirlenmiş olmaktadır. VAR model bu gecikmeyle tahmin edilmektedir.

Tablo 2: VAR Modelinin Gecikme Uzunluğu

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	16.19626	NA	7.27e-05	-1.015097	-0.869932	-0.973295
1	49.16119	55.78680*	1.16e-05*	-2.858553	-2.277893*	-2.691344*
2	56.93446	11.36093	1.32e-05	-2.764189	-1.748034	-2.471573

Tablo 2’de görüldüğü üzere, VAR modelin mertebesi Akaïke bilgi kriteri kullanılarak (1) olarak belirlenmiştir. Belirlenmiş olan 1. mertebeden vektör otoregresif modelin kalıntıları kontrol edilir.

Tablo 3: Modelin Kalıntıları

Component	Jarque-Bera	df	Olasılık Değerleri
1	0.80456	2	0.9606
2	0.755332	2	0.6855
3	1.478246	2	0.4775
Joint	2.314034	6	0.8887

H_0 = Kalıntılar normal dağılmaktadır.

H_1 = Kalıntılar normal dağılmamaktadır.

0.8887>0,05 olduğu için sıfır hipotezi kabul edilir, modelde kalıntılar normal dağılmaktadır. Modelin normal dağılması F istatistikleri ve güven aralıkları oluşturulması için önemlidir.

Model kaçınıcı mertebeden belirlendiyse o mertebede otokorelasyonun olmaması beklenmektedir. Bu noktada LM testleri sonuçlarına bakılmaktadır.

H_0 = Otokorelasyon yoktur.

H_1 = Otokorelasyon vardır.

Tablo 4: LM Testi

Lag	LRE*stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Olasılık Değeri
1	9.081175	9	0.4298	1.030011	(9,44.0)	0.4320
2	7.410537	9	0.5945	0.825438	(9,44.0)	0.5963

Tablo 4’te görüldüğü üzere, 1. mertebede olasılık değeri 0.4320>0.05 olduğu için sıfır hipotezi kabul edilmiştir. Modelde otokorelasyon yoktur.

VAR modelin kurulması için modelde değişen varyans sorunu olmamalıdır.

H_0 = Sabit varyans vardır.

H_1 = Değişen varyans vardır.

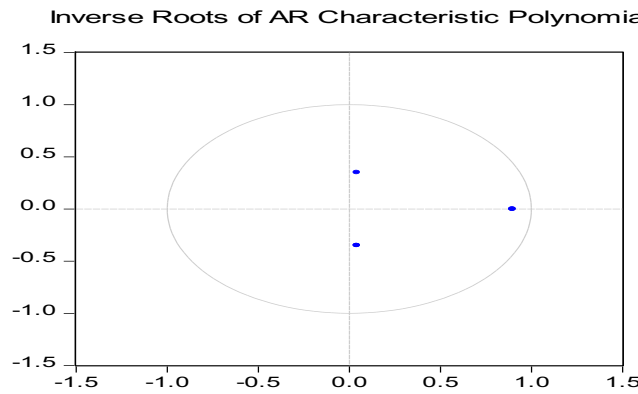
Tablo 5: Joint Testi

Chi-sq	df	Olasılık Değeri
34.65089	36	0.5327

Olasılık değeri $0.5327 > 0.05$ olduğu için H_0 kabul edilmiştir. Modelde sabit varyans bulunmaktadır.

VAR modelin durağanlık ve kararlılık koşulunun sağlanması için, modelin birim çember içinde yer alması ve tüm AR köklerinin terslerinin 1'den küçük olması gereklidir.

Tablo 6: VAR Modelin Karakteristik Köklerinin Birim Daire Görünümü



Tablo 7: VAR Modelin Kararlılığı

Root	Modulus
0.896524	0.896524
0.043759-0.350667i	0.353387
0.043759+0.350667i	0.353387

Şekilde ve tabloda görüldüğü üzere, model birim çember içinde yer almaktadır ve tüm AR köklerinin tersleri 1'den küçüktür.

VAR modeli tüm koşulları sağlamaktadır. Bu nedenle söz konusu modelin kullanılabilirliğine karar verilmiştir. Varyans ayrıştırması yaparak serilerin sıraları belirlenir. Serilerin sıraları en içselden daha az içselle olarak belirlenir.

Tablo 8: Varyans Ayrıştırması

CO2capita				
Dönem	S.E.	Co2capita	Gdp capita	Elektrik kullanımı capita
1	0.273757	100.0000	0.000000	0.0000
Elektrik kullanımı capita				
1	0.140278	23.98346	1.930284	74.08625
GDP capita				
1	0.085918	0.028042	99.97196	0.0000

Tabloda görüldüğü üzere, varyans ayrıştırma sonuçlarında karbon emisyonlarında meydana gelen değişimin %100'ü kendisinden kaynaklanmaktadır. Elektrik kullanımı değişkeninin varyans ayrıştırması sonuçlarında %74.08'lik oranda kendisinden kaynaklandığı, %23.98 oranında karbon emisyonları değişkeninden kaynaklandığı, %1.93'lük oranda da GDP

değişkeninden kaynaklandığı görülmektedir. GDP değişkeninin de %99.97 oranında kendisinden kaynaklandığı, %0.02 oranında karbon emisyonları değişkeninden kaynaklandığı görülmektedir.

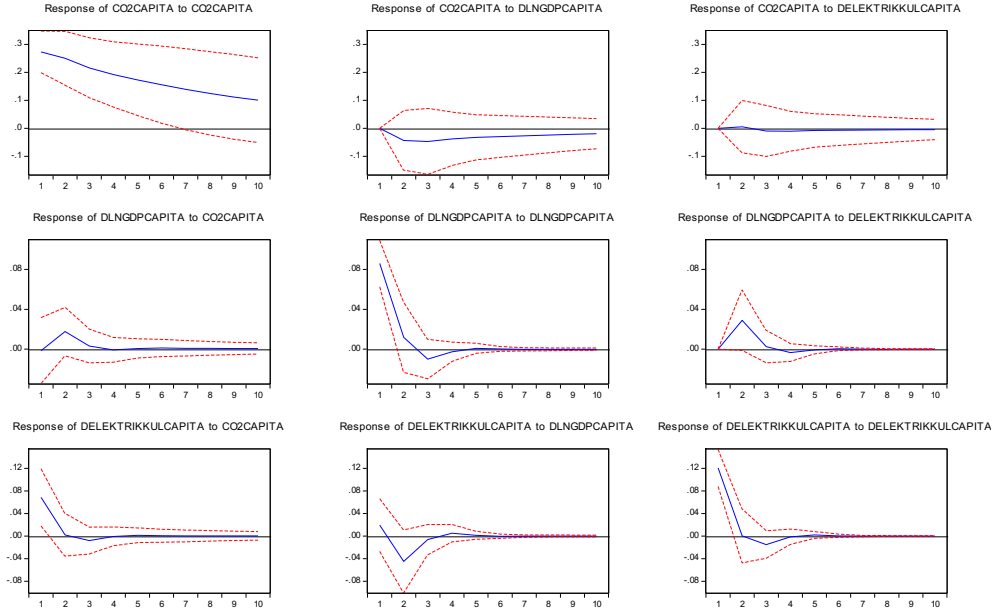
Değişkenler büyükten küçüğe sıralandığında VAR modelin sıralaması ortaya çıkmaktadır. Bunun için değişkenlerin kendi değerleri dikkate alınır.

Co2 capita → GDP capita → Elektrik kullanımı capita

Herhangi bir değişkene gelecek olan şoka diğer değişkenlerin tepkisinin ne olacağı ve bu tepkinin ne kadar süreceğinin belirlenmesi amacıyla etki-tepki fonksiyonlarına bakılır.

Tablo 99: Etki-Tepki Fonksiyonları

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations ± 2 S.E.



Tablo 9'da yer alan grafiklerde mavi çizgi şokun etkisini, kırmızı noktalar güven aralığını göstermektedir. Tablonun sol üstteki ilk panelinde karbon emisyonu değişkeninin karbon emisyonuna verdiği tepki gösterilmektedir. Üst orta panelde karbon emisyonunun GDP değişkenine, sağ üst panel karbon emisyonunun elektrik kullanımı değişkenine, sol orta panel GDP'nin karbon emisyonu değişkenine, orta panel GDP'nin GDP'ye, sağ orta panel GDP'nin elektrik kullanımını değişkenine, sol alt panel elektrik kullanımının karbon emisyonu değişkenine, alt orta panel elektrik kullanımının GDP değişkenine ve sağ alt panel ise elektrik kullanımının elektrik kullanımına verdiği tepkiler gösterilmektedir. İlk değişkenin hata terimine bir birimlik rassal şok verildiğinde bu şoktan değişkenin kendisinin nasıl etkilendiği, diğer değişkenin nasıl etkilendiği paneldeki grafiklerde görülmektedir.

3.4. Nedensellik Testi

Değişkenler arasındaki ilişkinin yönünün bulunabilmesi için nedensellik analizleri yapılmaktadır. Nedensellik analizleri sonuçları Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10: Granger nedensellik analizi

Co2capita	Chi-sq	df	Olasılık Değeri
Gdp capita	0.683614	1	0.4083
Elektrik kullanımı capita	0.017175	1	0.8957
All	0.687671	2	0.7090
GDP capitadan	Chi-sq	df	Olasılık Değeri
CO2 capita	0.038739	1	0.8440
Elektrik kullanımı capita	3.903209	1	0.0482
All	3.971754	2	0.1373
Elektrik kullanımı capitadan	Chi-sq	df	Olasılık Değeri
CO2 capita	0.013271	1	0.9083
Gdp capita	2.727012	1	0.0987
All	2.730199	2	0.2554

Tablo 10 incelendiğinde, olasılık değeri 0,05'te büyük olanların anlamlı ilişkiye sahip olmadığı, küçük olanların ise anlamlı ilişkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu doğrultuda yapılan incelemede;

Kişi başına karbon emisyonu yoğunluğu endeksi değişkeni ile diğer değişkenler arasında anlamlı ilişki olmadığı, kişi başına GSYH değişkeni ile kişi başına elektrik kullanımı değişkeni ile anlamlı ilişki olduğu, kişi başına elektrik kullanımı değişkeni ile kişi başına GSYH değişkeninin %10'luk güven düzeyinde anlamlı ilişki olduğu tespit edilmiştir.

3.5. Toda-Yamamoto Testi

Öncelikle uygun gecikme sayısı belirlenir. Analizin gecikme uzunluğu olan (k) ile değişkenler içinde yer alan en yüksek merteye durağanlık sayısı (dmax) değeri hesaplanmalıdır. Gecikme uzunluğu (k) ile en yüksek durağanlık seviyesi (dmax) değeri olan bir modelin (k + dmax) tahmini yapılmaktadır(Toda ve Yamamoto, 1995:230).

H_0 = Nedensel ilişki yoktur.

H_1 = Nedensel ilişki vardır.

Toda-Yamamoto Testinde, serilere yapılan birim kök testlerinde çıkan en yüksek merteye durağanlık sayısı dikkate alınarak analize başlanır. Yapılan birim kök testlerinde bağımsız değişkenlerin tamamının I(1) düzeyinde durağan olduğu belirlenmiştir. Serilerin birinci farkı alındıktan sonra durağanlaştığı, yani sıfır hipotezinin reddedildiği görülmüştür.

Model için uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi amacıyla VAR modeli oluşturulmuştur. VAR modeli için hesaplanan uygun gecikme uzunluğu VAR (1) olarak hesaplanmıştır.

Model tahmini için, gecikme uzunluğu (k) değerinin, değişkenler içinde yer alan en yüksek merteye durağanlık seviyesi (dmax) eklenmesi gerekmektedir.

$$\text{VAR}(k+d_{\max}) = k + d_{\max} = 2$$

Toda-Yamamoto analizinde hipotezler;

H_0 = Nedensellik ilişkisi yoktur

H_1 = Nedensellik ilişkisi vardır

Tablo 10: Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Temel Hipotez	Ki-Kare Test İstatistiği	Olasılık Değeri	İlişki ve Yön
GDPcapita → Co2	2.149341	0.1426	H0 kabul, nedensellik yok
Elektrikkl → Co2	1.065230	0.3020	H0 kabul, nedensellik yok
Co2 → GDPcapita	0.098205	0.7540	H0 kabul, nedensellik yok
Elektrikkl → GDPcapita	7.023853	0.0080	H1 red, nedensellik var
Co2 → Elektrikkl	15.61351	0.0001	H1 red, nedensellik var
GDPcapita → Elektrikkl	11.95275	0.0005	H1 red, nedensellik var

Tablo değeri 5.991465, olasılık değeri ise 0.001361 olarak belirlenmiştir. Ki-kare test istatistiği ve olasılık değerleri göz önünde bulundurularak, GSYH'dan kamu tasarrufları, özel tasarruflar ve özel yatırımlara doğru nedensellik ilişkisi bulunmadığı, kamu tasarruflarına doğru nedensellik ilişkisi bulunduğu, kamu tasarruflarından da GSYH'ya doğru nedensellik ilişkisi bulunduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması hem gelişmiş, hem de gelişmekte olan ülkelerin temel hedefleri arasındadır. Sürdürülebilirlik konusunda ise kullanılan enerji ve enerji kullanımı ile açığa çıkan karbon emisyonu düzeyi son derece önemlidir. Özellikle ekonomik büyüme hızı ve karbon salınımının ilişkisi akademik çalışmalarda da sıklıkla yer verilen konular içerisindedir. Bu hususta yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan enerji türlerinin kullanımı ve özellikle de sadece üretim sistemlerinde değil hane halklarınca da kullanılması ile elektrik enerjisi son derece büyük öneme sahiptir. Gelişmiş ülkeler fosil yakıt türevlerinden ziyade elektrik enerjisi üretimi için farklı sistemleri tercih ederek sürdürülebilir bir büyüme ivmesi yakalanması noktasında bir anlamda örnek teşkil etmektedirler. Ancak tüm ülkeler için aynı koşullar ve imkanlar geçerli değildir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde fosil yakıt tüketimi ve karbon emisyonu miktarları son derece yüksek seyretmektedir.

Bu sebeple büyümenin karbon emisyonu salınımı ve elektrik enerjisi tüketimi ile ilişkisi büyümede sürdürülebilirlik olgusunu anlamlandırmak açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada da ekonomik büyüme, karbon emisyonu ve elektrik enerjisi ilişkisi Avrupa ve dünya standartları değerlendirildiğinde büyüme ve gelişmişlik düzeyleri açısından dikkat çeken Almanya incelenmiştir. Almanya değerlendirilirken amprik yöntemlerden yararlanılmıştır. Analizler için 1990-2018 dönemine ait karbon emisyonu yoğunluğu endeksi, kişi başına elektrik tüketimi ve kişi başına GSYH verileri için değişkenler arasındaki ilişkiler vektör otoregresif modeller, granger ve toda-yamamoto ile analiz edilmiştir.

Analiz çalışmaları ile karbon emisyonlarındaki değişimin tamamının, elektrik kullanımı değişkeninin %74.08'inin kendilerinden kaynaklandığı tespit edilirken, elektrik kullanımı değişkeninin %23.98 oranında karbon emisyonları değişkeninden ve %1.93'lük oranda da GDP değişkeninden kaynaklandığı tespit edilmiştir. GDP değişkeni ise %99.97 oranında kendisinden kaynaklanırken, %0.02 oranında karbon emisyonları değişkeninden kaynaklanmaktadır. VAR modeli sıralaması için büyükten küçüğe Co2 capita → GDP capita → Elektrik kullanımı capita sıralaması tespit edilmiştir ve değişkenlerin kendi değerleri dikkate alınmıştır.

Nihai olarak yapılan analizlerde tüm değişkenler için gelecek olan şoka tek tek tepkilerinin ne olacağı ve bu tepkilerin ne süreyle devam edeceğini ölçmek için etki-tepki fonksiyonlarına bakılarak, ilişki yönü tespiti için nedensellik analizi yapılmıştır. İlişki açısından yapılan

incelemelerde kişi başına karbon emisyonu yoğunluğu endeksi değişkeninin diğer değişkenler ile arasında anlamlı ilişki bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kişi başına GSYH değişkeni ve kişi başına elektrik kullanımı değişkeni arasında ise anlamlı ilişki olduğu tespit edilirken, kişi başına elektrik kullanımı değişkeni ve kişi başına GSYH değişkeni için ise %10'luk güven düzeyinde ilişki anlamlı olarak saptanmıştır. GSYH'dan kamu tasarrufları, özel tasarruflar ve özel yatırımlara doğru nedensellik ilişkisi bulunmadığı ve kamu tasarruflarına doğru nedensellik ilişkisi bulunduğu, ancak kamu tasarruflarından da GSYH'ya doğru nedensellik ilişkisi bulunduğu ise Toda-Yamamoto nedensellik analizleri sonucunda tespit edilen durumlardır.

KAYNAKÇA

1. ARI, A. ve ZEREN, F. (2011). CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi . Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 18 (2) , 37-47.
2. ABID M. (2015). The close relationship between informal economic growth and Carbon emissions in Tunisia since 1980: The (Ir)relevance of structural breaks, Sustainable Cities Soc., 15 (July) , 11-21.
3. XU B. and LIN B. (2015). How industrialization and urbanization process impacts on co2 emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models Energy Econ., 48 (March), 188-202.
4. ATGÜR, M. (2021). Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonları İlişkisi: Çin Örneği . Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi , 23 (1) , 172-186 .
5. AKDOĞAN, T. (2019). Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Co2 Emisyonu Ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Seçilmiş G20 Ülkeleri. Hasan Kalyoncu Üniversitesi. 1-75
6. BATMAZ, T. ve YÜRÜK, B. (2021). Avrasya Ekonomik Birliğine Üye Ülkeler ve Türkiye'de CO2 Emisyonu Belirleyicilerinin İncelenmesi: 2000-2018 . Sosyoekonomi , 30 (52) , 491-504 .
7. BAĞRIYANIK, B. (2021). İhracat Çeşitliliği ve Ekonomik Büyümenin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkileri: BRICS Ülkeleri Üzerine Bir Çalışma . Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi , 23 (1) , 30-52 .
8. GÜLLÜ, M. ve YAKIŞIK, H. (2017). The Impact Of Carbon Emission and Energy Consumption On Economic Growth: A Comparison of the MIST Countries . Sosyoekonomi , 25 (32) , 239-253 .
9. KÜLÜNK, İ. (2018). Türkiye'de Ekonomik Büyüme Ve Karbon Salınımı İlişkisi: Engle-Granger Eşbütünlük Analizi (1960 - 2013) . Journal of Management and Economics Research , 16 (1) , 193-205.
10. MIKAYILOV J. I., GALEOTTI M., HASANOV F. J. (2018). The impact of economic growth on CO2 emissions in Azerbaijan J. Cleaner Prod., 197 (October), pp. 1558-1572.
11. SEVÜKTEKİN, M. ve ÇINAR, M. (2017). Ekonometrik Zaman Serileri E-views Uygulamalı. Dora basım yayın. 5. Baskı, Bursa.
12. ÖDEMİR, B. K. ve KOÇ, K. (2020). Türkiye'de Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji Ve Ekonomik Büyüme. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 11 (1) , 66-86.

13. TAY BAYRAMOĞLU, A. ve KOÇ YURTKUR, A. (2016). Türkiye’de Karbon Emisyonu Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16 (4) , 31-46.
14. TODA, H.Y., T. YAMAMOTO (1995), “Statistical Inference in Vector Autoregressions with Possibly Integrated Processes”, Journal of Econometrics, 66, 225-250.
15. YERDELEN TATOĞLU, FERDA. (2020). Panel Zaman Serileri Analizi. Beta yayınları. 3. Baskı, İstanbul.
16. YILDIZ, F. (2021). Globalization, International Trade, And CO2 Convergence: Evidence From G7 Countries. In Handbook of Research on the Empirical Aspects of Strategic Trade Negotiations and Management. IGI Global.