

ELEKTRİKLİ ARAÇ SATIŞLARI, KARBON EMİSYONU VE ELEKTRİK TÜKETİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRIC VEHICLE SALES, CARBON EMISSIONS AND ELECTRICITY CONSUMPTION

Gizem BEDİROĞLU¹ - Yasin Galip GENÇER²

Öz

Elektrikli araçlar, çevreye zararlı emisyonlar yaymayan ve elektrik enerjisiyle çalışan taşıtlardır. Gelişen teknoloji ve artan farkındalıkla birlikte, elektrikli araçlar çevre dostu ulaşım alternatifleri olarak popülerliklerini hızla arttırmaktadırlar. Bu nedenle, Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de elektrikli araç satışları her geçen gün hızla yükselmektedir. Bu çalışma, Ocak 2019 ile Kasım 2022 arası dönemdeki verileri kullanarak elektrikli araç satışları ile karbon emisyonu ve enerji tüketimi ilişkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmaya ilk olarak Fourier-ADF birim kök testi ile başlanmıştır. Sonraki aşamada düzeylerdeki durağanlık seviyelerine göre Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto nedensellik testleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, elektrik tüketimi ile elektrikli araç satışları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Nedensellik testleri tamamlandıktan sonra eşbütünleşme testine geçilmiştir. Fourier ARDL eşbütünleşme testi, karbon emisyonu ve elektrikli araç satışları arasındaki eşbütünleşme ilişkisini belirlemek için kullanılmıştır. Aynı düzeyde durağanlık gösteren elektrikli araç satışları ve elektrik tüketimi için ise Fourier ADL eşbütünleşme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda FMOLS Fourier Eşbütünleşme katsayı tahmini hesaplanmıştır. Yapılan analizler, elektrikli araç satışlarının çevresel etkileri ve enerji tüketimi üzerindeki rolünü anlamak adına önemli bir adımdır. Çalışmanın bulguları, sürdürülebilir enerji ve ulaşım sektörlerine yönelik hedeflere ulaşmada önemli katkılar sağlayabilir ve gelecekteki araştırmalar için değerli bir referans oluşturabilir. Bu nedenle, bu çalışmanın ileride bu alanda gerçekleştirilecek diğer bilimsel araştırmalara da rehberlik etmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla, gelecekte yapılacak olan araştırmalarda farklı coğrafi bölgelerdeki elektrikli araç pazarlarının çevresel etkilerinin karşılaştırmalı bir analizi yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç Satışları, Sürdürülebilirlik, Fourier ARDL Eşbütünleşme Testi, FMOLS Fourier Katsayı Tahmini, Sürdürülebilir Ulaşım, Yeşil Mobilite

Abstract

Electric vehicles are vehicles that do not emit harmful emissions to the environment and operate on electrical energy. With developing technology and increasing awareness, electric vehicles are rapidly increasing their popularity as environmentally friendly transportation alternatives. Furthermore, electric vehicle sales in Türkiye, are increasing rapidly. This study aims to examine the relationship between electric vehicle sales and carbon emissions and energy consumption using data from January 2019 to November 2022. The study first started with the Fourier-ADF unit root test. In the next stage, Fourier-Granger and Fourier-Toda-Yamamoto causality tests were calculated according to the stationarity levels in the phenomenon. According to the results, it was determined that there is a bidirectional causality relationship between electricity consumption and electric vehicle sales. After the causality tests were completed, the cointegration test was started. Fourier ARDL cointegration test was used to determine the cointegration relationship between carbon emissions and electric vehicle sales. Fourier ADL cointegration tests were applied for electric vehicle sales and electricity consumption, which show the same level of stationarity. According to the results, a cointegration relationship was found between electric vehicle sales and electricity consumption. In line with these results, FMOLS Fourier Cointegration coefficient estimate was calculated. Therefore, future studies can conduct a comparative analysis of the environmental impacts of electric vehicle markets in different geographical regions.

Keywords: Electric Vehicle Sales, Sustainability, Fourier ARDL Cointegration Test, FMOLS Fourier Coefficient Estimation, Sustainable Transportation, Green Mobility

¹ Doç. Dr., Yalova Üniversitesi, yggencer@yalova.edu.tr, 0000-0003-2133-351X

² Yalova Üniversitesi, bediroglugizem@gmail.com, 0009-0007-8019-6515

Makale Türü: Araştırma Makalesi – Geliş Tarihi:13.03.2024 – Kabul Tarihi: 09.07.2024

DOI:10.17755/esoder.1452405

Atf için: *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 2024;23(91):1192-1209

Bu çalışma Creative Commons Atf-Gayri Ticari 4.0 (CC BY-NC 4.0) kapsamında açık erişimli bir makaledir.



This work is an open access article under [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0).

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların yaydığı karbondioksit ve diğer sera gazları, küresel iklim değişikliği ve atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun artması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Günümüzde, fosil yakıt tüketimi, çevre problemlerinin yanı sıra halk sağlığını da ciddi olarak etkileyen konuların başında gelmektedir (Bouguerra ve Layeb 2019, Bakogiannis ark., 2019). Bu sebeple, birçok ülke, sürdürülebilir çevre politikaları ve sera gazı emisyonlarının azaltılması hedefleri doğrultusunda elektrikli araçlar gibi çevre dostu araçlara geçiş yapmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için düşük emisyonlu araçlara geçiş ile iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini ve sağlık sorunlarını en aza indirmek mümkündür (Cai ve ark., 2014; Ellingsen ve ark., 2016). Bu bağlamda, dünya genelinde artan çevre bilinci ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, fosil yakıtlara bağımlı olan ulaşım sektörü elektrikli araçlara geçişle değişim göstermektedir (Kocabey, 2018).

Son yıllarda, birçok ülkede elektrikli araçlar için enerji tasarrufunu önceliklendiren politikalar oluşturulmaktadır. Bu konuda en önemli ölçüt karbon emisyonlarını azaltmak olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik odaklı politikaların etkisiyle otomobil satışlarındaki artan talep, sektördeki dönüşümü daha da hızlandırmaktadır (Gencer ve Akkucuk, 2018).

Motorlu taşıtların neden olduğu kirliliği en aza indirmeye amacıyla belirlenen daha yüksek gereksinimler, çevresel etkileri azaltmaya yönelik önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır (Lehmann ve ark., 2018; Solaymani, 2019). Geleneksel yakıtlı araçlara kıyasla, elektrikli araçların daha az hava kirlilikci olduğu ve özellikle de sera gazı emisyonu olan karbondioksit (CO₂) yaydığı kabul edilmektedir (Dong ve ark., 2020). Bu nedenle, elektrikli araçların kullanımı, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir faktör olarak görülmektedir. Elektrikli araçların kullanımı, fosil yakıtlı araçlara kıyasla düşük karbon emisyonu, daha az hava kirliliği ve daha az gürültü kirliliği sağlamaktadır. Ayrıca, elektrikli araçların satışlarının artması enerji tasarrufu ve karbon emisyonunun azalmasına neden olmaktadır.

Günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşması küresel düzeyde daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için fırsat sunmaktadır. Elektrikli araçlar, sıfır emisyonlu sürüş sağlayarak, ülkelerde hava kirliliği oranının azalmasına ve insan sağlığının korunmasına yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle, elektrikli araç satışlarının artış göstermesi toplumsal faydalar sağlayarak daha sürdürülebilir bir gelecek için oldukça önemlidir (Öztürk ve Küsmez, 2019). Elektrikli araçların yaygınlaşması enerji tüketiminin daha verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu sayede, elektrikli araç satışlarının artması yalnızca emisyonlar açısından değil aynı zamanda enerji kaynaklarının devamlılığı açısından da oldukça önem arz etmektedir.

Bu makalede, dünya genelinde elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu ve elektrik tüketimi üzerindeki etkisini incelemek amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, zaman serisi yöntemleri kullanılarak 2019-2022 dönemine ait aylık veriler analiz edilmiştir. İlk olarak elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu ile ilişkisi ele alınmıştır. Daha sonra elektrikli araç satışlarının elektrik tüketimi ile ilişkisi analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu ve elektrik tüketimi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ortaya konarak, mevcut literatürdeki boşluğun doldurulması ve elektrikli araç teknolojisinin çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyelinin vurgulanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın devam eden bölümünde değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı hedefleyen önceki çalışmaların nitelikleri ve araştırmalarının sonuçlarına yer veren bir literatür taraması bölümü sunulacaktır. Daha sonrasında çalışmada kullanılan veriler ve ekonometrik yöntemler açıklanacaktır. Sonrasında ise analiz sonucuna dayanarak elde edilen bulgular bir araya getirilerek değerlendirilmeler yapılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elektrikli araçların çevre dostu olması ve enerji verimliliği sağlaması, bu araçların dünya genelinde hızla yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla, elektrikli araçlar, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi hakkında, literatürde çalışmalar mevcuttur. Önceki çalışmalar incelendiğinde enerji tüketimi ve karbon emisyonu hakkında araştırmaların yer aldığı gözlemlenmektedir.

Akademik yazında 1990'larda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Ford (1994), elektrikli araçlar ile elektrik şirketleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kempton ve Letendre (1997), elektrikli araçları elektrik şebekesine yeni bir güç kaynağı olarak önermektedir. Chau ve ark., (1999), ise elektrikli araçların enerji kaynaklarına genel bir bakış açısı sunmaktadır.

Elektrikli araçlarla ilgili 2000'li yıllarda yapılmış çalışmalarda ise; Nansai ve ark., (2001), elektrikli araçların şarj altyapısının yaşam döngüsü analizini yapmaktadır. Lindly ve Haskew (2002), elektrikli araçların güç üretimi ve çevre üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Nansai ve ark. (2002), Japonya'da güç üretimi ve şarj özellikleri açısından bölgesel farklılıklar dikkate alınarak, elektrikli araçların çevresel etkilerini araştırmaktadır. Uçarol (2003), karma elektrikli bir araç hakkında bilgi vermektedir. Karahan (2004), hibrit elektrikli araçları ele almaktadır. Tuncay ve Üstün (2004), otomotiv elektroniğindeki gelişmeleri tartışmaktadır. Doucette ve McCulloch (2011), elektrikli ve plug-in hibrit araçların CO₂ emisyonlarını analiz etmiştir. Sonuç olarak plug-in hibrit araçlarının emisyon azalımı açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Hawkins ve ark. (2012), alternatif yakıt kullanılan araçların çevresel etkilerini modellemişlerdir. Bu kapsamda, elektrikli araçların karbon emisyonu ve enerji tüketimi gibi faktörlerini ele almışlardır. Faria ve ark. (2013), elektrikli araçların yaşam döngüsü enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarını incelemiştir. Daha sonra, bu faktörlerin karbon emisyonları ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. Sierzechula ve ark. (2014), elektrikli araç satışlarının artırılmasında finansal teşvikler ve diğer sosyo-ekonomik faktörlerin rolünü incelemiştir.

Daha yakın literatür incelendiğinde ise; Hendrickson ve ark. (2015), Los Angeles'ta elektrikli araçların sera gazı emisyonları ve hava kütlesi üzerindeki etkilerini modellemişlerdir. Jochem ve ark. (2015), tarafından Almanya'da elektrikli araçların CO₂ emisyonları incelenmiştir. Casals ve ark. (2016), elektrikli araçların özellikle kentsel alanlarda yerel hava kirliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Hofmann ve ark. (2016), Çin örneğinde elektrikli araçların CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuç olarak ise elektrikli araçların emisyon azalımı sağlayabileceğine karar verilmiştir. McLaren ve ark. (2016), elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla ilgili ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri incelemiştir. Mishina ve Muromachi (2017), Japonya örneğinde elektrikli araçların kullanımından kaynaklanan potansiyel CO₂ emisyon azalımını incelemiştir. Falcao ve ark. (2017), elektrikli araçların CO₂ emisyonlarına etkisini değerlendirmişlerdir. Elektrikli araçların emisyon oranının azalmasına katkı sağlayabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Öte yandan, Bellocchi ve ark. (2018), elektrikli araçların CO₂ emisyon azalımı potansiyelini belirtmek için bir model oluşturmuşlardır. Plötz ve ark. (2018), fişli elektrikli araçların CO₂ emisyonuna etkileri incelemiştir. Sarkodie ve Adams (2020) ve Warsame ve ark. (2021) çalışmaları, elektrikli araçlar CO₂ emisyonları arasındaki bağlantıyı tahmin etmek için tipik doğrusal regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Xu ve Lin (2018), Çin'deki ulaşım sektöründeki CO₂ emisyonlarındaki farklılıklarını araştırmak için kullanmışlardır. Fritz ve ark. (2019) AB'deki büyük araç üreticilerinin gelecekteki satışlarının ve CO₂ emisyonlarını tahmin etmişlerdir. Karczewski ve ark. (2019), elektrikli araçların verimliliğinin ve bunların çevre kirliliği üzerine etkisinin yapıldığı bir çalışmadır. Zheng ve ark. (2019), Çin'in önde gelen pazarlarında elektrikli binek araçların satışlarını artırarak karbondioksit emisyonu azaltma potansiyeli incelemiştir.

Güncel olarak nitelendirilebilecek çalışmalarda ise; Küfeoğlu ve Hong (2020), İngiltere'deki karayolu taşımacılığının CO2 emisyon performansını 2050 yılına kadar analizini yapmışlardır. Costa ve ark. (2021), Avrupa ülkeleri tarafından karşılaştırılan bu çalışmada, elektrikli araçlar ne ölçüde çevre dostu ve uygun maliyetlidir sorusu incelenmiştir. Fattler (2021), elektrikli araçların çevreye etkisini analiz ederek, fosil yakıtla çalışan araçlarla karşılaştırılma yapmaktadır. Xu ve ark. (2021), nicelik dilimine göre regresyon yaklaşımı kullanılarak önde gelen 8 ülkenin elektrikli araçların CO2 emisyonları ele almıştır. Ercan ve ark. (2022), otonom elektrikli araçların şehirdeki karbon emisyonlarını ve hava kirliliğini azaltmasına yönelik bir çalışmadır. Wu ve Sun (2022), benzinli araç satışlarının yasaklanması bağlamında akülü elektrikli araçların teşvik edilmesinin enerji ve çevresel etkileri incelemiştir. Guo ve ark. (2023), Çin örneğinde, elektrikli araçların yaşam döngüsü karbon emisyonu ve maliyet etkinliği analizi yapmışlardır. Batırlık ve ark. (2023), Türkiye örneği üzerinden faiz oranı, döviz kuru ve ekonomik büyümenin otomobil satışlarına etkisini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, otomobil satışlarının ekonomik büyüme ve taşıt kredisi faiz oranları üzerinde etkili olduğu fakat döviz kuru üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Elektrikli araçların karbon emisyonu ve elektrik tüketimi konuları, son yıllarda giderek artan bir şekilde ele alınmıştır. Yapılan literatür araştırması da bu konudaki çalışmaların genellikle pozitif sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle, elektrikli araçların düşük karbon emisyonları nedeniyle çevresel açıdan avantajlı olduğu vurgulanmaktadır. Ancak, bu avantajın gerçekleşmesi için elektrikli araçların yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenmesi gerektiği de belirtilmektedir. Elektrikli araçların tükettikleri elektrik miktarının da aracın tipine ve kullanım koşullarına bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, literatürdeki genel eğilim, elektrikli araçların karbon emisyonu ve elektrik tüketimi konularında pozitif sonuçlar verdiği yönündedir. Ancak kullanılan enerji kaynağı ve kullanım koşullarının da dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

Mevcut çalışmada, 2019-2022 dönemi arasındaki veriler kullanılacaktır. Bu veriler üzerinde zaman serisi yöntemi uygulanacaktır. Çalışmanın temel amacı, elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişkileri incelemektir. Bu çalışmanın, ileriye dönük literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

3. VERİ SETİ

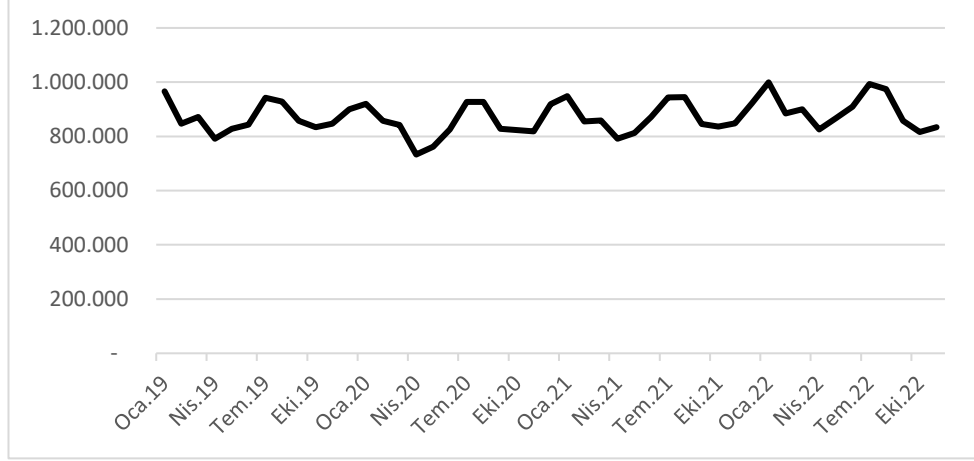
Bu çalışmada, Ocak 2019 ile Kasım 2022 arasındaki dönemde elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve enerji tüketim verileri aylık bazda ele alınmıştır. Elektrikli araç satışlarının çevresel etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada, elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Bu veriler, Ocak 2019 ve Kasım 2022 arasındaki döneme ait aylık veriler olarak ele alınmıştır. Elektrikli araç satışları verileri EV VOLUMES (Electric vehicle Word sales database) veri tabanından; karbon emisyonu verileri NOAA Earth System Research Laboratory'dan; elektrik tüketimi verileri ise International Energy Agency (IEA)'dan elde edilmiştir. Veriler, analiz için uygun hale getirilmiştir. Daha sonra veri düzenlemesi yapılmıştır. Veriler grafikler halinde sonraki bölümde sunulmuştur.

Bu çalışmada, Ocak 2019 ile Kasım 2022 arasındaki veri setini tercih edilmesinin temel nedeni bu dönemde elektrikli araç pazarında belirgin değişimler ve büyüme yaşanmış olmasıdır. Bu durum çalışmanın güncel ve etkili olmasını sağlamaktadır. Yanı sıra, seçilen zaman dilimi, veri kaynaklarının en güncel ve erişilebilir verilere sahip olmasını sağlamıştır, bu da verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Bu nedenlerle, Ocak 2019 ile Kasım 2022 arası veri aralığını kullanarak çalışmanın güvenilirliğinin ve geçerliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Zaman serileri analizlerinde

ELEKTRİKLİ ARAÇ SATIŞLARI, KARBON EMİSYONU VE ELEKTRİK TÜKETİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

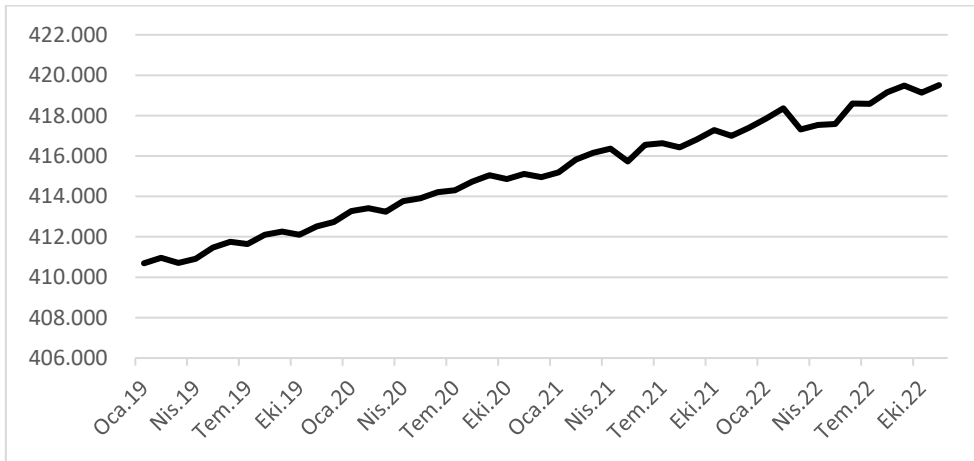
daha fazla veri seti isteniyor olmasına rağmen ilgili konuda elektrikli araçların geçmişteki rakamları ile ilgili daha fazla veri tutarlı bir şekilde elde edilemediğinden çalışmanın kapsadığı dönemin bir kısım olduğu bilinmektedir.



Grafik 1. Elektrik Tüketimi (2019-2022)

Kaynakça: International Energy Agency (IEA)

Grafik 1’de Ocak 2019 ile Kasım 2022 yılları arasındaki aylık elektrik tüketimi verileri yer almaktadır. Mevcut veriler International Energy Agency (IEA)’den elde edilmiştir. Dünya’da aylık elektrik tüketimi farklılık gösterse de genel olarak 800.000 ile 1.000.000 kWh arasında bir değer almaktadır. Elektrikli araç satışlarındaki artış ve elektrik talebindeki değişiklikler arasındaki olası ilişkiyi analiz etmek amacıyla çalışmaya dahil edilmiştir.

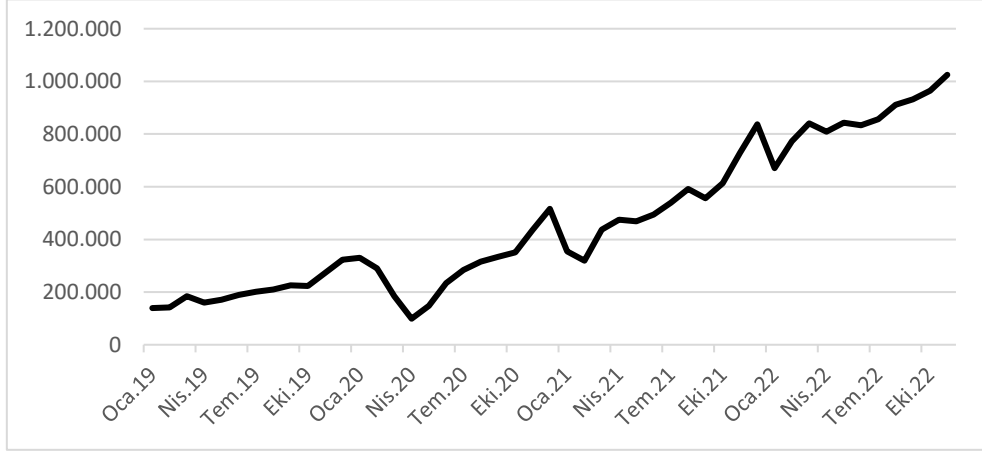


Grafik 2. Karbon Emisyonu (2019-2022)

Kaynakça: NOAA Earth System Research Laboratory

Grafik 2’de Ocak 2019 ile Kasım 2022 yılları arasındaki aylık karbon emisyonu verileri yer almaktadır. Mevcut veriler NOAA Earth System Research Laboratory’den elde edilmiştir. Aylık karbon emisyonu

grafığı genel bir yükseliş trendi göstermektedir. Bazı aylarda minör düşüşler görülmektedir. Elektrikli araç satışlarının artmasının çevresel etkilerini, özellikle emisyonlardaki olası azalmayı incelemek amacıyla çalışmaya dahil edilmiştir.



Grafik 3. Elektrikli Araç Satışları (2019-2022)

Kaynakça: EV VOLUMES (Electric vehicle World sales database)

Grafik 3'te Ocak 2019 ile Kasım 2022 yılları arasındaki aylık elektrikli araç satışları verileri yer almaktadır. Mevcut veriler EV VOLUMES (Electric vehicle Word sales database)'den elde edilmiştir. Dünya'daki elektrikli araç satışlarını adetsel olarak anlatan bu grafikte bazı dönemlerde düşüşler izlense de genel olarak elektrikli araç satışlarında bir yükseliş trendi bulunmaktadır. Elektrikli araçların benimsenme oranını ve bunun elektrik tüketimi ve karbon emisyonları üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için çalışmaya dahil edilmiştir.

4. EKONOMETRİK YÖNTEM

4.1. Fourier-ADF Birim Kök Testi

Fourier ADF birim kök testi, Enders ve Lee (2012) tarafından ortaya atılmıştır. Bu test, finansal zaman serilerinin birim kök özelliğini tespit etmek için kullanılan popüler bir test olan ADF (Augmented Dickey-Fuller) birim kök testinin geliştirilmiş bir versiyonudur ve zaman serisinin dönemsel bileşenlerinin (örneğin, haftalık, aylık, mevsimsel değişimler) varlığını da hesaba katmaktadır. Bu test ile zaman serisinin dönemsel bileşenlerinin varlığına duyarlı olması nedeniyle, ADF testine göre daha güçlü ve doğru sonuçlar elde edilmektedir. Fourier ADF testi, zaman serilerinin birim kök varlığını test etmek ve durağanlığını belirlemek için kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir.

Enders ve Lee (2012) ADF testini genişleterek kırılmanın yapısı hakkında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duyulmadan her türlü kırılmayı yakalayabilen bir test olan Fourier-ADF testini önermiştir. Fourier-ADF testine ilişkin model denklem 1'deki gibidir.

$$y_1 = y_0 + y_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + y_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + v_1 \quad (1)$$

Verilen formülde, t terimi verilerin trendini ifade ederken, T terimi örneklem büyüklüğünü temsil etmektedir. π ise bir matematiksel sabit olup, yaklaşık olarak 3.1416 değerine sahiptir. Frekans sayısı ise verilerin dönüşümü için kullanılan bir terimdir ve değeri 1 ile 5 arasında bir tam sayıdır.

4.2. Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto Nedensellik Testi

Enders ve Jones (2016) tarafından geliştirilen Fourier-Granger nedensellik testi, yapısal kırılmaların tarih ve sayısı bilinmeden dikkate alınması amacıyla Gallant'ın (1981) Fourier fonksiyonları VAR modeline eklenmesiyle elde edilmiştir. Bu test, Granger nedensellik analizini Vektör Otoregresyon (VAR) modeliyle yapıldığında yapısal kırılmaları ihmal ettiği için daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Fourier-Granger nedensellik testinin modeli Denklem 2'de sunulmaktadır. Böylece yapısal kırılmaların dikkate alınmasıyla birlikte Granger nedensellik analizinde daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

$$a(t) = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^p \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (2)$$

$$y_t = \theta + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_u y_{t-i} u_t \quad (3)$$

$$y_t = \theta_0 + \varphi_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varphi_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \phi_i y_{t-1} + \dots + \phi_i y_{t-i} + u_t \quad (4)$$

Fourier-Granger nedensellik testi, yapısal kırılmaları tarih ve sayısı bilinmeden dikkate alan bir nedensellik yöntemidir. Denklemde T, gözlem sayısını ifade ederken k, kalıntı kareler toplamının en küçük değerini temsil etmektedir. π ise sabit bir değer olarak 3.1416 değerini alır. Denklem 2, Fourier trigonometrik fonksiyonlarını gösterirken, denklem 3 ise VAR modelini temsil etmektedir. Fourier trigonometrik fonksiyonları VAR modeline eklenerek elde edilen denklem 4 ise Fourier-Granger nedensellik testi modelini ifade etmektedir. Bu test, yapısal kırılmaların olduğu durumlarda VAR modeline Fourier fonksiyonları ekleyerek daha etkili bir nedensellik analizi yapmayı sağlamaktadır.

4.3. Fourier ARDL Eşbütünleşme Testi

Pesaran ve arkadaşları (2001), eşbütünleşme ilişkisinin iki durumunu belirtmiştir: ARDL modelinde hata düzeltme terimi ve gecikmeli açıklayıcı değişkenlerin katsayıları sırasıyla istatistiksel olarak anlamlı olmalıdır. İkinci koşulu sağlamak için alt ve üst kritik sınırların kullanılmasını önerirler. Ancak, birinci koşul için kullanılabilir üst ve alt kritik sınırlar yoktur. İlk durumun geçerliliği değişkenlerin bütünleşme derecesine bağlıdır. Uzun dönemde siyasi risk ve doğrudan yabancı yatırımların eşbütünleşip eşbütünleşmediğini test etmek için aşağıdaki model denklem 5'teki gibi düşünülebilir:

$$FDI_t = \beta_0 + \beta_1 POL_t + e_t \quad (5)$$

Geleneksel ARDL yaklaşımı F ve t istatistiklerine dayanmaktadır. Bu şekilde, eşbütünleşme ilişkisinin varlığı I(0) ve I(1) olarak tanımlanan alt ve üst sınırlarla karşılaştırılarak test edilir. Test istatistiği üst sınırların kritik değerlerinden daha büyükse, eşbütünleşme yokluğu hipotezi reddedilebilir. Öte yandan, test istatistikleri üst ve alt sınırlar arasındaysa, eşbütünleşme olup olmadığı belirlenemez. McNown vd. (2018), bu sorunun bootstrap kritik değerleri kullanarak çözülebileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla, denklem 6 hata düzeltme yapısı olarak yeniden yazılmıştır:

$$\Delta FDI_t = a_0 + a_1 FDI_{t-1} + a_2 POL_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_i \Delta FDI_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \mu_i \Delta POL_{t-1} \quad (6)$$

Burada p gecikme uzunluğunu, ut sıfır ortalı ve sonlu varyansa sahip hata terimini ifade eder. Uygun gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılarak belirlenir (Yılancı vd., 2020: s.3).

Pesaran vd. (2001), bir eşbütünlük ilişkisinin varlığı için F-testi ve t-testi kullanarak aşağıdaki temel hipotezlerin reddedilmesi gerektiği belirtilebilir:

$$H_{0A}: a_1 = a_2 = 0$$

$$H_{0B}: a_1 = a_2 = 0$$

Pesaran vd. (2001) tarafından belirtilen hipotezlere ek olarak, McNown ve diğerleri (2018) yeni bir hipotez eklediler. Daha sonra bunu tekrar F testi ile test etmeyi önerdiler. Öneri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$H_{0C}: a_2 = 0$$

Denklem 6'da 0,1'den başlayarak 0,1'er artan $k = [0,1, 0,2, \dots, 5]$ aralığındaki Fourier terimlerinin eklenmesini önermişlerdir. Böylece, uzun dönemli ilişkideki düzgün geçişsel değişiklikleri yakalamayı amaçlamaktadırlar. Denklem 7'de olduğu gibi Fourier terimleri kullanarak aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\Delta FDI_t = a_0 + y_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + y_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + a_1 \Delta FDI_{t-1} + a_2 POL_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} y_i \Delta FDI_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \mu_i \Delta POL_{t-1} + u_t \quad (7)$$

Burada, k kalıntılarının minimum kareler yöntemiyle seçildiği bir prosedür vardır. Christopoulos ve Leon-Ledesma (2011), tamsayı frekans değerlerinin geçici kesintileri, kesirli frekansların ise kalıcı kesintileri gösterilmiştir. Yılancı ve ark. (2020), bootstrap simülasyonlarıyla FA, FB ve t istatistiklerinin ele alınarak eleştirik değerlerinin hesaplanmıştır. Hesaplanan bu istatistik değerleri hesaplanan eleştirel değerlerden büyükse, FDI ve POL değişkenleri arasında bir eşbütünlük ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

4.4. Fourier ADL Eşbütünlük Testi

Engle ve Granger (1987) eşbütünlük yöntemi, iki seri arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Bununla birlikte, Johansen ve Juselius (1990), ikiden fazla seri arasındaki eşbütünlük ilişkisini test etmektedir. Ancak, bu geleneksel yöntemler yapısal kırılmaları göz ardı ettiği için, elde edilen sonuçlar hata payı yüksek olabilir. Bu eksiklikleri ortadan kaldırmak için, sonraki yıllarda yapısal kırılmalara sahip içsel eşbütünlük testleri geliştirilmiştir. Bu testlerin temel özellikleri yapısal kırılma tarihlerinin, yapılarının ve sayısının önceden bilinmesini gerektirir.

Banerjee ve diğerleri (2017) ise trigonometrik terimleri modele dahil etmek için Fourier fonksiyonlarını kullanarak, sert yapısal kırılmalar yerine yumuşak geçişlere izin veren Fourier ADL eşbütünlük yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem, geleneksel yöntemlerden farklı olarak, Fourier genişlemesinin düşük frekanslı bileşenlerinin modele dahil edilmesiyle karakterize edilir. Bu sayede, yapısal kırılma sayısı ve süresi önceden bilinmesi veya belirlenmesi gerekmeksizin bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntemle ait model aşağıdaki gibi ifade edilebilir. İntihal çıkmaması için cümleler anlam kaybı olmayacak şekilde değiştirilmiştir.

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + a_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + a_3 \Delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^p a_5 \Delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^r a_6 \Delta y_{t-1} + u_t \quad (8)$$

Denklem 8, α_0 sabit terimi ile $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ ve α_6 katsayıları, hata terimi u_t , tek bir frekans k , toplam gözlem sayısı T ve trend t ile ifade edilir. Banerjee vd. (2017), uygun gecikme değerleri p ve r için Akaike bilgi kriteri (AIC) kullanarak en uygun frekansı belirlerler. Optimal frekans belirlendikten sonra, α_3 katsayısı üzerinden değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığına karar verilir. $H_0: \alpha_3 = 0$ olduğunda, seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur. Alternatif olarak, $\alpha_3 < 0$ olduğunda seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi var demektir. Banerjee vd. (2017) tarafından hesaplanan t -istatistik değeri kritik tablo değeriyle karşılaştırılır. Eğer bu değer tablo kritik değerinden büyükse, seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi var demektir. Bu yöntem, optimal frekansı belirlemek için AIC kullanarak yapısal kırılmaları da hesaba katarak Fourier terimleri içeren bir model kullanılmaktadır.

5. AMPİRİK BULGULAR

Tablo 1'de yer alan değişkenlerin durağanlık süreçlerine bakıldığında, elektrik tüketiminin seviye değerinde durağan olduğu görülmektedir. Elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu da birim köke sahiptir, yani durağan değildir. Ancak fark alma işlemi sonrasında bu değişkenlerin de durağanlaştığı anlaşılmaktadır. Bundan sonraki aşamada düzeylerdeki durağanlık seviyelerine göre Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto nedensellik testleri yapılacaktır. Bu hesaplamalar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 1: Fourier ADF Birim Kök Testi Sonuçları

	Düzye	Birinci Fark
Elektrikli Araç Satışları	-0.06(4)	-7.35(4)*
Karbon Emisyonu	-0.42(5)	-7.06(5)*
Elektrik Tüketimi	-6.04(1)*	

Not: Parantez içerisindeki değerler Fourier sayılarını göstermektedir. *%99 güvenirlilik ile anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 2: Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

	Kullanılan Yöntem	Test İstatistiği	Asimptotik Anlamlılık	Bootstrapt Anlamlılık
E.A.S. → CO2	FGC	10.962	0.001	0.008***
CO2 → E.A.S	FGC	0.505	0.472	0.478
E.A.S → Elektrik T.	FTY	3.760	0.052	0.054*
Elektrik T. → E.A.S	FTY	2.636	0.104	0.084*

Not: *% 90 ve ***%99 güvenirlilik ile anlamlılığı ifade etmektedir. FCG Fourier Granger nedensellik testini, FTY ise Fourier Toda Yamamoto testini ifade etmektedir.

Tablo 2'de, Fourier Granger nedensellik testleri kullanılarak elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlara göre, elektrikli araç satışlarından karbon emisyonuna doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu azalttığı görülmektedir. Öte yandan Fourier Toda Yamamoto nedensellik testleri kullanılarak, elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlara göre, elektrik tüketimi ile elektrikli araç satışları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Nedensellik testleri tamamlandıktan sonra eşbütünleşme testi aşamasına geçilmiştir. Bu doğrultuda farklı düzeylerde durağanlığı gösteren karbon emisyonu ve elektrikli araç satışları eşleşmesi için Fourier ARDL eşbütünleşme testi kullanılacaktır. Aynı düzeyde durağanlık söz konusu olan elektrikli araç satışları ve elektrik tüketimi ise Fourier ADL eşbütünleşme testleri kullanılarak devam edilecektir.

Elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu değişkenleri birim kök testi sonucuna göre farklı düzeylerde durağan oldukları için Fourier ARDL eşbütünleşme testine tabi tutulmuşlardır. Bu hesaplamalar Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3: Fourier-ARDL Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Seçilen Model: FARDL		k: 4.9		AIC: -0.564
Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler			
	10%	5%	1%	
FA	9.140**	6.396	7.595	12.153
t	-4.274**	-3.319	-3.654	-4.478
FB	1.723	3.314	3.660	4.476

Not: **, % 95 güvenirlilik ile anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 3'te Fourier ARDL eşbütünleşme test sonuçları yer almaktadır. Bu test sonucunda, eşbütünleşme olup olmadığı konusunda herhangi bir yorum yapmak mümkün değildir çünkü sınır bölgesindedir. Elde edilen istatistiklerden iki tanesi kritik değerleri aşmaktadır ve anlamlıdır. Fakat üçüncü istatistik (FB) kritik değerleri aşmamaktadır ve bu yüzden anlamsız görülmektedir. Böyle bir durumda eşbütünleşmenin olup olmadığı konusunda kesin bir yargıya varmak mümkün değildir. Bu nedenle, test istatistiği sınır bölgesinde kalmaktadır ve eşbütünleşmenin varlığı hakkında herhangi bir yargıya varmak mümkün değildir.

Elektrikli araç satışları ve elektrik tüketimi arasında birim kök testi sonucu aynı düzeylerde durağan oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenle, Fourier ADL eşbütünleşme testi gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4: Fourier-ADL Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Min AIC	k	FADL Test İst.	Sonuç
-0.672	3	-3.891*	Eşbütünleşme vardır.
Kritik Değerler			
	1%	5%	10%
FADL	-4.79	-4.11	-3.76

Not: *, % 90 güvenirlilik ile anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 4'te Fourier ADL eşbütünleşme test sonuçları yer almaktadır. FADL test istatistiği %10 düzeyinde kritik değerden büyük olduğu için eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Eşbütünleşme ilişkisi çıktığı için elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasında eşbütünleşme katsayısını tahmin etmek mümkündür. FMOLS Fourier Eşbütünleşme Katsayı Tahmin testi bundan sonraki aşamada kullanılacaktır.

Tablo 5: FMOLS Fourier Eşbütünleşme Katsayı Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-İstatistiği	Olasılık Değeri
Elektrik Tüketimi	7.14	1.74	4.10	0.00***
EAS	0.076	0.03	2.38	0.02**

Not: **% 95 ve ***%99 güvenirlilik ile anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5'te Fourier eşbütünleşme yöntemi kullanılarak tahmin edilen FMOLS modelinin katsayı tahmin sonuçları yer almaktadır. Bu sonuçlara göre, elektrik tüketimi bir birim arttığında elektrikli araç satışları da pozitif yönde 7.14 birim artmaktadır. Aynı şekilde, elektrikli araç satışları bir birim arttığında elektrik tüketimi de pozitif yönde 0.076 birim artış göstermektedir. Bu sonuçlar, enerji tüketimi ile araç kullanımı arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu ve bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar, daha fazla elektrikli araç satışının artan enerji tüketimiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, artan enerji tüketiminin de daha fazla elektrikli araç satışı ile ilişkili olduğu görülmektedir. Katsayı tahmin sonuçlarına göre, elektrik tüketimindeki artış, elektrikli araç satışlarını da arttırmaktadır ve bu ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli araçlar, son yıllarda popülerlik kazanmış ve sürdürülebilir ulaşım seçenekleri arasında önemli bir yer edinmiştir. Fosil yakıtlı araçlara kıyasla çevre dostu olan elektrikli araçlar sıfır emisyonlu olarak çalışır ve doğal kaynakların tükenmesini önler veya tükenme hızını yavaşlatır. Elektrikli araç kullanımı dünya genelinde yaygınlaşmakta olup birçok ülke elektrikli araç kullanımını teşvik

etmektedir. Türkiye'de de son yıllarda elektrikli araçlar tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak, elektrikli araç satışlarının artırılması için teşvik edilmesi oldukça önemlidir. Tüketiciler, elektrikli araçlara vergi muafiyeti, indirimli satın alma veya kira seçenekleri gibi yöntemlerle elektrikli araçlara teşvik edilebilirler. Ayrıca, şarj istasyonu sayısının artırılması ve elektrikli araçların daha erişilebilir hale getirilmesinin birçok avantajlı yönü vardır.

Elektrikli araçlar, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi konularında önemli bir etkiye sahiptir. Elektrikli araçların kullanımı, fosil yakıtla çalışan araçlara kıyasla karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, elektrikli araçlar doğru kaynaklardan şarj edildiğinde, elektrik tüketimi de daha sürdürülebilir hale gelebilir. Bununla birlikte, elektrikli araçların yaygınlaşması, enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasına bağlıdır. Böylece, elektrikli araçlar sadece karbon emisyonlarını azaltmakla kalmaz aynı zamanda temiz enerjinin kullanımını da teşvik eder. Elektrikli araç satışlarındaki artış hem karbon emisyonları hem de enerji tüketimi açısından önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, elektrikli araçların satışlarındaki artış, karbon emisyonlarının azaltılması için önemli bir adımdır. Fosil yakıtlı araçlar çevreye zararlı emisyonlar salarken, elektrikli araçlar sıfır emisyonlu olarak çalışır ve bu sayede atmosfere salınan karbon miktarını azaltır. Bununla birlikte, elektrikli araçların kullanımı, enerji tüketimini artırabilir. Bu sebeple, sürdürülebilir bir gelecek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da büyük önem taşımaktadır. Elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanılan elektriğin, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi, karbon emisyonunun azaltılması için önemli bir adımdır. Bu nedenle, elektrikli araçlar sadece çevre dostu olarak değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi için de önemli bir araçtır.

Bu çalışmada, Ocak 2019 ile Kasım 2022 arasındaki dönemde elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve enerji tüketim verileri aylık olarak ele alınmıştır. Çalışmanın amacı ise, elektrikli araç satışlarının karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Bu çalışmada ekonometrik yöntemlerden; Fourier ADF Birim Kök Testi, Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto Nedensellik testleri, Fourier-ARDL Eşbütünlük Testi, Fourier-ADL Eşbütünlük Testi ve FMOLS Fourier Eşbütünlük Katsayı Tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada Fourier temelli yöntemlerin kullanılmasıyla hem yumuşak geçişli hem de sert yapısal kırılmaları hesaba katmak amaçlanmıştır.

İlk olarak mevcut verilerle Fourier ADF Birim Kök Testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda elektrik tüketiminin seviye değerinde durağan olduğu görülmüştür. Elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu da birim köke sahiptir, yani durağan değildir. Ancak fark alma işlemi sonrasında bu değişkenlerin de durağanlaştığı görülmektedir. Düzeylerdeki durağanlık seviyelerine göre, Fourier Granger ve Fourier Toda Yamamoto nedensellik testleri ile devam edilmiştir. Elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu arasındaki nedensellik ve elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Fourier Granger nedensellik test sonucuna göre, elektrikli araç satışlarından karbon emisyonuna doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir ve bu durum elektrikli araçların çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir alternatif olduğunu göstermektedir. Ancak, karbon emisyonundan elektrikli araç satışlarına doğru bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Bu durum ise tek başına elektrikli araçların yaygınlaştırılmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Fourier Toda Yamamoto test sonucuna göre, elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, elektrikli araçların yaygınlaşması ve daha fazla elektrik talebi yaratması arasındaki dengeyi göstermektedir. Dolayısıyla, elektrikli araçların çevre dostu bir alternatif olarak benimsenmesi için, bütüncül politikaların uygulanması gerekmektedir. Elektrikli araç üretimi de dahil olmak üzere, tüm aşamalarda çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulması ve sürdürülebilirlik hedeflerinin benimsenmesi önemlidir. Elektrikli araçların yaygınlaşması için diğer sektörlerde de karbon emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir.

Elektrikli araç satışları ve karbon emisyonu birim kök testi sonucu farklı düzeylerde durağan oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenle, Fourier ARDL eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Bu test sonucunda, eşbütünleşme olup olmadığı konusunda herhangi bir yorum yapmak mümkün değildir. Çünkü test istatistiği sınır bölgesinde kalmaktadır. Böyle bir durumda eşbütünleşmenin olup olmadığı konusunda kesin bir yargıya varmak mümkün değildir. Elektrikli araç satışları ve elektrik tüketimi birim kök testi sonucu aynı düzeylerde durağan oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenle, Fourier ADL eşbütünleşme testi hesaplanmıştır. Eşbütünleşme ilişkisi çıktığı için elektrikli araç satışları ile elektrik tüketimi arasında eşbütünleşme katsayısını tahmin etmek mümkündür. FMOLS Fourier Eşbütünleşme Katsayı Tahmin testi bundan sonraki aşamada kullanılmıştır.

Fourier eşbütünleşme yöntemi kullanılarak tahmin edilen FMOLS modelinin katsayı tahmin sonuçlarına göre, elektrik tüketimi bir birim arttığında elektrikli araç satışları da pozitif yönde 7.14 birim artmaktadır. Aynı şekilde, elektrikli araç satışları bir birim arttığında elektrik tüketimi de pozitif yönde 0.076 birim artış göstermektedir. Bu sonuçlar, enerji tüketimi ile araç kullanımı arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu ve bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Daha fazla elektrikli araç satışının artan enerji tüketimiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, artan enerji tüketiminin de daha fazla elektrikli araç satışı ile ilişkili olduğu görülmektedir. Katsayı tahmin sonuçlarına göre, elektrik tüketimindeki artış, elektrikli araç satışlarını da arttırmaktadır ve bu ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlar, enerji talebi ve araç kullanımı arasındaki dinamikleri anlamak için önemlidir. Bu ilişkinin dikkate alınması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliğinin artırılması ve çevre dostu araç kullanımının teşvik edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Elektrikli araçların teşvik edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gibi politikalar, enerji tüketimi ile ilgili sürdürülebilir hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynayabilir. Enerji tüketimi ve araç kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamak ve etkileşimlerini gözlemlemek, gelecekteki çevre politikalarının tasarımı açısından da oldukça önem arz etmektedir.

Literatürde yer alan araştırma ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde; Doucette ve McCulloch (2011), elektrikli ve plug-in hibrit araçların CO₂ emisyonlarını analiz etmişlerdir. Çalışma, enerji üretimlerinde büyük ölçüde karbon azalımı sağlanmadıkça yüksek CO₂ yoğunluğuna sahip ülkelerin elektrikli araçlar (EV) ve plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV) kullanarak ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarını etkili bir şekilde azaltamayacaklarını ortaya koymuştur. Faria ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmada ise, elektrikli araçların yaşam döngüsü enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları incelenmiştir. Araştırma, yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla birlikte, bazı durumlarda fosil yakıtların da kullanılması gerekebileceğini belirtmiştir.

Ek olarak, Jochem ve ark. (2015), Almanya'da elektrikli araçların CO₂ emisyonları incelenmiştir. Çalışma, 2030 yılı için Almanya'da elektrikli araçların CO₂ emisyonlarında önemli farklılıklar olabileceğini göstermiştir. Hofmann ve ark. (2016), Çin örneğinde elektrikli araçların CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelenmiştir. Sonuç olarak ise elektrikli araçların emisyon azalımı sağlayabileceğine karar verilmiştir. Yanı sıra, Mishina ve Muromachi (2017), Japonya örneğinde elektrikli araçların kullanımından kaynaklanan potansiyel CO₂ emisyon azalımını incelemiştir. Falcao ve ark. (2017) ise, elektrikli araçların CO₂ emisyonlarına etkisini değerlendirmişlerdir. Elektrikli araçların emisyon oranının azalmasına katkı sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise, elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişki incelenmiştir.

Elektrikli araçların teşvik edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gibi politikalar, enerji tüketimi ile ilgili sürdürülebilir hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynayabilir. Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması, fosil yakıtlara olan bağımlılığını ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, enerji tüketimi açısından daha

verimli araç teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanılması enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayabilir.

Enerji tüketimi ve araç kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamak ve etkileşimlerini gözlemlemek gelecekteki çevre politikalarının tasarımı açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu bilgiler, enerji yönetimi stratejilerinin ve politikalarının geliştirilmesinde yol gösterici olabilir. Verilerin analiz edilmesi ve bu ilişkilerin anlaşılması, enerji tüketimiyle ilgili sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarına katkı sağlayabilir. Enerji talebi ve araç kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamak, enerji verimliliği ve çevre dostu araç kullanımını teşvik etmek için önemli bir adımdır. Bu, sürdürülebilir bir enerji ve ulaşım sektörü hedefine ulaşmak için gereklidir. Politika yapımcıların ve karar vericilerin bu ilişkiyi dikkate alarak etkili stratejiler geliştirmesi çevre dostu ve enerji verimli bir geleceğin inşasına katkıda bulunabilir.

Elektrikli araçlar (EV'ler), içten yanmalı motorlara sahip araçlara kıyasla doğrudan karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. EV'ler enerji kaynağı olarak elektrik kullanırken, fosil yakıt tüketimi ve dolayısıyla karbon emisyonları minimum düzeydedir. Ancak, elektrikli araçların karbon emisyonlarına etkisi değerlendirilirken, kullanılan elektriğin kaynağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklardan sağlandığında, emisyon azaltımı çok daha etkili olmaktadır. Ancak, elektrik üretimi fosil yakıtlarla yapıldığında bu durum toplam emisyonlarda beklenen azalmayı engelleyebilir. Bu nedenle, elektrikli araçların karbon emisyonlarını azaltmadaki başarısı enerji politikaları ile doğrudan ilişkilidir.

Elektrikli araçların yaygınlaştırılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması ve enerji altyapısının bu yönde güçlendirilmesi politika önerilerinin merkezinde yer almalıdır. Ayrıca, elektrikli araç şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması ve bu şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji ile beslenmesi de karbon emisyonlarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, elektrikli araçların karbon emisyonları üzerindeki etkisini en üst düzeye çıkarmak için entegre enerji politikaları ve altyapı yatırımları gereklidir. Bu bağlamda, politika yapımcılar, elektrikli araçların benimsenmesini teşvik ederken, aynı zamanda sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kullanımını artırmaya yönelik stratejiler geliştirmelidir.

Elektrikli araçların (EV) kullanımı, sadece karbon emisyonlarının azaltılması açısından değil, aynı zamanda diğer çevresel ve ekonomik etkiler açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. Çevresel etkiler açısından, EV'lerin üretim süreçlerinde özellikle batarya üretimi yüksek enerji ve hammadde tüketimine neden olmaktadır. Bataryaların ömrü sonunda geri dönüşüm ve bertarafı da çevresel bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, batarya geri dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir malzeme kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Ekonomik etkiler açısından ise, elektrikli araçların yaygınlaşması enerji talebinde artışa ve elektrik şebekelerinde ek yük oluşmasına yol açabilir. Ancak, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması, enerji ithalatını düşürerek enerji güvenliğini artırabilir ve enerji maliyetlerini uzun vadede azaltabilir. Ayrıca, elektrikli araç sektöründeki büyüme, yeni iş kolları ve teknolojilerin gelişmesine katkı sağlayarak ekonomik büyümeyi teşvik edebilir. Bu bağlamda, elektrikli araçların çevresel ve ekonomik etkilerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi sürdürülebilir politika ve stratejilerin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

Elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişkinin incelenmesi konusyla ilgili uygulamalı çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür. Bu alandaki mevcut literatürde, enerji talebi, araç kullanımı ve çevresel etkileri arasındaki ilişkilerin tam anlamıyla anlaşılmasını sağlayacak ayrıntılı ve kapsamlı analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, elektrikli araçların enerji

tüketimi ve karbon emisyonu üzerindeki etkilerini araştırarak, bu alanda önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, enerji talebi ve araç kullanımı arasındaki ilişkinin anlaşılmasına ve gelecekteki çevre politikalarının şekillendirilmesine yönelik önemli bir temel sunmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliğini artırmak ve çevre dostu araç kullanımını teşvik etmek amacıyla politika yapıcılar ve karar vericiler için yol gösterici bir kaynak niteliği taşımaktadır. Bu çalışmanın bulguları, sürdürülebilir enerji ve ulaşım sektörlerine yönelik hedeflere ulaşmada önemli bir katkı sağlamayı ve gelecekteki araştırmalar için ilham kaynağı olmayı hedeflemektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın ileride bu alanda yapılacak diğer çalışmalara da yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda ise, elektrikli araç satışları, karbon emisyonu ve elektrik tüketimi arasındaki ilişki uluslararası araştırmalarda daha derinlemesine incelenebilir. Bu bağlamda, farklı coğrafi bölgelerdeki elektrikli araç pazarlarının çevresel etkilerinin karşılaştırmalı bir analizi yapılabilir. Ayrıca, elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla ortaya çıkabilecek potansiyel elektrik talebi artışının enerji altyapısına etkilerini değerlendiren çalışmalara daha fazla yer verilebilir.

KAYNAKÇA

- Bakogiannis, E., Siti, M., Tsigdinos, S., Vassi, A., Ve Nikitas, A., 2019. Monitoring The First Dockless Bike Sharing System İn Greece: Understanding User Perceptions, Usage Patterns And Adoption Barriers. *Research İn Transportation Business ve Management*, 33, 100432.
- Banerjee, P., Arčabić, V., & Lee, H. (2017). Fourier ADL Cointegration Test To Approximate Smooth Breaks With New Evidence From Crude Oil Market, *Economic Modelling*, 67, 114-124.
- Batırlık, S. N., Zeren, F. & Gençer, Y. G. (2023). Faiz Oranı, Döviz Kuru ve Ekonomik Büyümenin Otomobil Satışları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Türkiye Örneği. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16 (3), 862- 869. DOI: 10.25287/Ohuifb.1270906
- Bellocchi, S., Gambini, M., Manno, M., Stilo, T., Vellini, M., 2018. Positive İnteractions Between Electric Vehicles And Renewable Energy Sources İn CO2-Reduced Energy Scenarios: The Italian Case. *Energy* 161, 172–182.
- Bouguerra, S., Ve Layeb, S.B., 2019. Determining Optimal Deployment Of Electric Vehicles Charging Stations: Case Of Tunis City, Tunisia. *Case Studies On Transport Policy*, 7(3), 628-642.
- Cai, H., Jia, X., Chiu, A. S. F., Hu, X. Ve Xu, M. (2014). Siting Public Electric Vehicle Charging Stations İn Beijing Using Big-Data İnformed Travel Patterns Of The Taxi Fleet. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 33, 39–46.
- Casals, L.C., Martinez-Laserna, E., García, B.A., Nieto, N., 2016. Sustainability Analysis Of The Electric Vehicle Use İn Europe For CO2 Emissions Reduction. *Journal Of Cleaner Production* 127, 425–437.
- Chau, K. T., Wong, Y. S., & Chan, C. C. (1999). An Overview Of Energy Sources For Electric Vehicles. *Energy Conversion And Management*, 40(10), 1021-1039.
- Christopoulos, D. K. And Leon-Ledesma, M. A. (2011). International Output Convergence, Breaks, And Asymmetric Adjustment. *Studies İn Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 15(3).

- Costa, C. M., Barbosa, J. C., Gonçalves, R., Castro, H., Del Campo, F. J., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Recycling And Environmental Issues Of Lithium-Ion Batteries: Advances, Challenges And Opportunities. *Energy Storage Materials*, 37, 433-465.
- Dong, K., Dong, X., Jiang, Q., 2020. How Renewable Energy Consumption Lower Global CO2 Emissions? Evidence From Countries With Different Income Levels. *The World Economy* 43 (6), 1665–1698.
- Doucette, R.T., Mcculloch, M.D., 2011. Modeling The Prospects Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles To Reduce CO2 Emissions. *Applied Energy* 88, 2315–2323.
- Enders, W. Ve Lee, J., (2012). “A Unit Root Test Using A Fourier Series To Approximate Smooth Breaks”, *Oxford Bulletin Of Economics And Statistics*, 74 (4), 574-599.
- Enders, W. Ve Jones, P. (2016), “Grain Prices, Oil Prices, And Multiple Smooth Breaks In A VAR”, *Studies In Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 20(4), 399-419.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-Integration And Error Correction: Representation, Estimation, And Testing. *Econometrica: Journal Of The Econometric Society*, 251-276.
- Ercan, T., Onat, N. C., Keya, N., Tatari, O., Eluru, N., & Kucukvar, M. (2022). Autonomous Electric Vehicles Can Reduce Carbon Emissions And Air Pollution In Cities. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 112, 103472.
- Falcão, E.A.M., Teixeira, A.C.R., Sodr , J.R., 2017. Analysis Of CO2 Emissions And Techno-Economic Feasibility Of An Electric Commercial Vehicle. *Applied Energy* 193, 297– 307.
- Faria, R., Marques, P., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., & De Almeida, A. T. (2013). Impact Of The Electricity Mix And Use Profile In The Life-Cycle Assessment Of Electric Vehicles. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 24, 271-287.
- Fattler, S. (2021). Economic And Environmental Assessment Of Electric Vehicle Charging Strategies (Doctoral Dissertation, Technische Universit t M nchen).
- Ford, A. (1994). Electric Vehicles And The Electric Utility Company. *Energy Policy*, 22(7), 555-570.
- Fritz, M., Pl tz, P., Funke, S.A., 2019. The Impact Of Ambitious Fuel Economy Standards On The Market Uptake Of Electric Vehicles And Specific CO2 Emissions. *Energy Policy* 135,
- Gallant, A. R. (1981). On The Bias In Flexible Functional Forms And An Essentially Unbiased Form: The Fourier Flexible Form. *Journal Of Econometrics*, 15(2), 211-245.
- Gencer, Y. G. ve Akkucuk, U. (2018). Satış Sonrası Verimliliđin  ok Nitelikli Karar Verme Y ntemleriyle  l lmesi: Otomotiv Sekt r nde Bir Uygulama. *Uluslararası İleri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 5 (9), 88-95.
- Guo, X., Sun, Y., & Ren, D. (2023). Life Cycle Carbon Emission And Cost-Effectiveness Analysis Of Electric Vehicles In China. *Energy For Sustainable Development*, 72, 1-10.
- Hawkins, T. R., Gausen, O. M., & Str mman, A. H. (2012). Environmental Impacts Of Hybrid And Electric Vehicles—A Review. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 17, 997-1014.
- Hendrickson, T. P., Kavvada, O., Shah, N., Sathre, R., & Scown, C. D. (2015). Life-Cycle Implications And Supply Chain Logistics Of Electric Vehicle Battery Recycling In California. *Environmental Research Letters*, 10(1), 014011.
- Hofmann, J., Guan, D., Chalvatzis, K., Huo, H., 2016. Assessment Of Electrical Vehicles As A Successful Driver For Reducing CO2 Emissions In China. *Applied Energy* 184, 995–1003.

- Jochem, P., Babrowski, S., Fichtner, W., 2015. Assessing CO₂ Emissions Of Electric ve- Hicles In Germany İn 2030. *Transportation Research Part A: Policy And Practice* 78, 68– 83
- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum Likelihood Estimation And İnference On Cointegration With Appucations To The Demand For Money. *Oxford Bulletin Of Economics And Statistics*, 52(2), 169-210.
- Karahan, Ş. (2004). Hibrid Elektrikli Araçlar.
- Karczewski, M., Szczęch, L., Polak, F., & Brodowski, S. (2019). Analysis Of Electric Vehicles Efficiency And Their İnfluence On Environmental Pollution. *Journal Of KONES*, 26(4), 97-104.
- Kempton, W., & Letendre, S. E. (1997). Electric Vehicles As A New Power Source For Electric Utilities. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 2(3), 157-175.
- Kocabay, S. (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (1), 16-23.
- Küfeoglu, S., Hong, D.K.K., 2020. Emissions Performance Of Electric Vehicles: A Case Study From The United Kingdom. *Applied Energy* 260.
- Lehmann, A., Berger, M., Finkbeiner, M., 2018. Life Cycle Based CO₂ Emission Credits: Options For İmproving The Efficiency And Effectiveness Of Current Tailpipe Emissions Regulation İn The Automotive İndustry. *Journal Of Industrial Ecology* 22 (5), 1066–1079.
- Lindly, J. K., & Haskew, T. A. (2002). Impact Of Electric Vehicles On Electric Power Generation And Global Environmental Change. *Advances İn Environmental Research*, 6(3), 291- 302.
- Mclaren, J., Miller, J., O’Shaughnessy, E., Wood, E., Shapiro, E., 2016. CO₂ Emissions Associated With Electric Vehicle Charging: The İmpact Of Electricity Generation Mix, Charging İnfrastructure Availability And Vehicle Type. *The Electricity Journal* 29 (5), 72–88.
- Menown, R., Chung, Y. S. And Soo, K. G. (2018). Bootstrapping The Autoregressive Distributed Lag Test Cointegration. *Applied Economics*, 50(13), 1509-1521.
- Mishina, Y., Muromachi, Y., 2017. Are Potential Reductions İn CO₂ Emissions Via Hy- Brid Electric Vehicles Actualized İn Real Traffic? The Case Of Japan. *Transporta- Tion Research Part D: Transport And Environment* 50, 372–384.
- Nansai, K., Tohno, S., Kono, M., & Kasahara, M. (2002). Effects Of Electric Vehicles (EV) On Environmental Loads With Consideration Of Regional Differences Of Electric Power Generation And Charging Characteristic Of EV Users İn Japan. *Applied Energy*, 71(2), 111-125.
- Nansai, K., Tohno, S., Kono, M., Kasahara, M., & Moriguchi, Y. (2001). Life-Cycle Analysis Of Charging İnfrastructure For Electric Vehicles. *Applied Energy*, 70(3), 251-265.
- Öztürk, S. & Kúsmez, T. (2019). Elektrik Tüketimi, Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi (1995-2014). *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 316-327.
- Pesaran, M. H., Shin, Y. And Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches To The Analysis Of Level Relationships. *Journal Of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Plötz, P., Funke, S.Á., Jochem, P., 2018b. The İmpact Of Daily And Annual Driving On Fuel Economy And CO₂ Emissions Of Plug-İn Hybrid Electric Vehicles. *Transporta- Tion Research Part A: Policy And Practice* 118, 331–340.
- Sarkodie, S.A., Adams, S., 2020. Electricity Access And Income İnequality İn South Africa: Evidence From Bayesian And NARDL Analyses. *Energy Strategy Reviews* 29, 100480.

- Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., & Van Wee, B. (2014). The Influence Of Financial Incentives And Other Socio-Economic Factors On Electric Vehicle Adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194.
- Solaymani, S., 2019. CO2 Emissions Patterns In 7 Top Carbon Emitter Economies: The Case Of Transport Sector. *Energy* 168, 989–1001.
- Tuncay, R. N., & Üstün, Ö. (2004). Otomotiv Elektroniğindeki Gelişmeler. IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, 27-28.
- Uçarol, H. (2003). Karma Elektrikli Araç (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Warsame, A.A., Sheik-Ali, I.A., Ali, A.O., Sarkodie, S.A., 2021. Climate Change And Crop Production Nexus In Somalia: An Empirical Evidence From ARDL Technique. *Environmental Science And Pollution Research* 1–13.
- Wu, Q., & Sun, S. (2022). Energy And Environmental Impact Of The Promotion Of Battery Electric Vehicles In The Context Of Banning Gasoline Vehicle Sales. *Energies*, 15(22), 8388.
- Xu, B., Lin, B., 2018. Investigating The Differences In CO2 Emissions In The Transport Sector Across Chinese Provinces: Evidence From A Quantile Regression Model. *Journal Of Cleaner Production* 175, 109–122.
- Xu, B., Sharif, A., Shahbaz, M., & Dong, K. (2021). Have Electric Vehicles Effectively Addressed CO2 Emissions? Analysis Of Eight Leading Countries Using Quantile-On-Quantile Regression Approach. *Sustainable Production And Consumption*, 27, 1205-1214.
- Yılcı, V., Bozoklu, Ş., Görüş And M. S. (2020). Are BRICS Countries Pollution Havens? Evidence From A Bootstrap ARDL Bounds Testing Approach With A Fourier Function. *Sustainable Cities And Society*, 55, 102035.
- Zheng, J., Sun, X., Jia, L., & Zhou, Y. (2020). Electric Passenger Vehicles Sales And Carbon Dioxide Emission Reduction Potential In China's Leading Markets. *Journal Of Cleaner Production*, 243, 118607.