

Türkiye’de Enerji Güvenliği ve Jeopolitik Riskin Çevresel Bozulma Üzerindeki Etkisi: Fosil Malzeme Ayak İzine Dayalı Çevresel Kuznets Eğrisi Temelli Bir Değerlendirme

Serhat ÇAMKAYA (<https://orcid.org/0000-0003-4373-1922>), Kafkas University, Türkiye;
serhatcamkaya36@gmail.com

Murat AKÇA (<https://orcid.org/0000-0002-9974-8697>), Kafkas University, Türkiye; muratakca336@gmail.com

Samet TOPAL (<https://orcid.org/0000-0003-2986-3697>), Kafkas University, Türkiye; asttopal@gmail.com

The Impact of Energy Security and Geopolitical Risk on Environmental Degradation in Türkiye: An EKC-Based Assessment Based on Fossil Material Footprint

Abstract

This study examines the impact of geopolitical and energy security risk on the fossil material footprint (FMF) in Türkiye within the framework of the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis. To this end, data for 1985-2018 and unit root, cointegration and estimators based on Fourier approaches are used. The findings reveal that the EKC hypothesis is valid, and energy security and geopolitical risk reduce FMF in Türkiye. In this context, Türkiye should invest more in renewable energy. In this way, Türkiye can mitigate the possible negative consequences of risks and alleviate the negative pressure on environmental degradation.

Keywords : Material Footprint, Environmental Degradation, EKC, FADL, Türkiye.

JEL Classification Codes : Q4, Q5, Q56.

Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde fosil malzeme ayak izi üzerinde jeopolitik ve enerji güvenliği riskinin etkisini incelemektir. Bu doğrultuda, 1985-2018 dönemi verileri ve Fourier yaklaşımlarına dayalı birim kök, eşbütünleşme ve tahminçiler kullanılmıştır. Bulgular, Türkiye’de EKC hipotezinin geçerli olduğunu ve enerji güvenliği ve jeopolitik riskin fosil malzeme ayak izini azalttığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Türkiye yenilenebilir enerjiye daha fazla yatırım yapmalıdır. Bu sayede, Türkiye hem risklerin olası olumsuz sonuçlarını hafifletebilir hem de çevresel bozulma üzerindeki olumsuz baskıyı hafifletebilir.

Anahtar Sözcükler : Malzeme Ayak İzi, Çevresel Bozulma, EKC, FADL, Türkiye.

1. Giriş

İnsanlığın ilerlemesi ve ekonominin gelişmesi, üretim ve tüketim süreçlerini kolaylaştırmada çok önemli olan enerji ve malzeme kaynaklarının erişilebilirliğine ve etkin kullanımına büyük ölçüde bağlıdır. Fosil yakıtlar, biyokütle ve metaller gibi malzemeler, sanayi için temel hammaddeleri sağladıkları ve çeşitli sektörler için girdi görevi gördükleri için ekonominin temellerinden birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, malzemelerin çıkarılması, üretimi ve tüketimi çevre üzerinde geniş kapsamlı negatif etkilere sahiptir ve bu süreç küresel sera gazı emisyonlarının %50’sinden fazlasını oluşturmaktadır (Oberle et al., 2019; Pata & Karlilar, 2024). Diğer taraftan üretimin sürdürülebilirliği amacıyla küresel düzeyde, kaynak verimliliğinin artırılması için Almanya, Fransa ve Türkiye gibi ülkeler çeşitli taahhütler üstlenmiştir. Malzeme yönetimi ve kaynak verimliliği kavramları, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH’ler) içerisinde yer almaktadır. Bu doğrultuda, SKH-8.4’de nihai tüketim taleplerini karşılamak için çıkarılan toplam hammadde miktarını ifade eden malzeme ayak izinin (MF) azaltılmasının önemi ortaya konulmuştur. SKH-12.2’de ise kaynak kullanımında farkındalık ve verimlilik vurgulanarak MF, kişi başına MF ve gayri safi yurt içi hasıla (GSYH) birimi başına MF’nin azaltılması savunulmaktadır (Pata & Karlilar, 2024).

Daha spesifik olarak, SKH 8.4, maddi tüketim ve çevresel zararın GSYH büyümesinden tamamen ayrıştırılmasını amaçlarken, SKH 12.2 maddi kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve optimum kullanımına adanmıştır. Bu bağlamda, MF’yi etkileyen en önemli faktörlerden biri ekonomik büyümedir. Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi perspektifinden bakıldığında, ekonomik büyümenin malzeme kullanımı üzerinde üç etkisi bulunmaktadır. Bunlar, ölçek, bileşim ve teknik etkidir. Bu üç etkinin bütünselik etkisi nedeniyle çevresel bozulmanın başlangıçta ekonomik büyüme ile arttığını öne sürülmektedir. Bununla birlikte hipotezde, kişi başına düşen gelirdeki zirveyi takip eden ekonomik geçişin nihayetinde malzeme yoğun faaliyetlerde bir kaymaya yol açabileceği de varsayılmaktadır (Pata & Karlilar, 2024). Ekonomik büyümenin yanı sıra, jeopolitik ve enerji güvenliği konuları, enerji değişkenlerini ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde etkilemesinden ötürü bu olaylarla özellikle ilintilidir. Caldara ve Iacoviello (2018) tarafından tanımlandığı şekliyle jeopolitik risk, bir ülkenin siyasi ve ekonomik durumunu güçlü bir şekilde etkileyen silahlı çatışmalar, terörizm ve devletlerarası anlaşmazlıklar gibi tehditler, sürtüşmeler veya eylemlerin oluşturduğu riski ifade eder. Jeopolitik risk, enerji güvenliği riskinin arkasında yatan temel unsurlardandır. Enerji güvenliği, sürdürülebilir kalkınmaya öncelik verirken tüm ekonomik sektörlerle uygun fiyatlı ve yeterli enerjinin sağlanması olarak tanımlanabilir (Boroza, 2024).

Üretimin sürdürülebilirliği için gerekli olan malzeme akışı, jeopolitik risk ve enerji güvenliği gibi çeşitli risklerden etkilenebilir. Jeopolitik risk, enerji güvenliği ve çevresel bozulma, küresel istikrarı, ekonomik büyümeyi ve çevresel sürdürülebilirliği önemli ölçüde etkileyen, birbiriyle derinden bağlantılı olgulardır. Ancak, jeopolitik risk ve enerji güvenliği, ekonomik büyüme, yatırımlar gibi birçok makroekonomik göstergelyi ve küresel istikrarı önemli ölçüde etkilese de; iklim değişikliği ve çevresel bozulma üzerindeki etkisi yeterince

net değildir (Cengiz & Manga, 2022). Özellikle son yıllarda gerek ulusal gerekse uluslararası alanda en çok tartışılan küresel iklim değişikliği, küresel ısınma ve çevre kirliliği konuları dikkate alındığında, jeopolitik risk ve enerji güvenliğinin bu konular üzerindeki olası etkilerinin araştırılması önem kazanmaktadır. Özellikle çevresel bozulma ve iklim değişikliğinin çeşitli insan hastalıklarına neden olduğu bilinmekte olduğundan konunun önemi daha da artmaktadır (Anser et al., 2021a).

Jeopolitik risk, enerji güvenliği ve çevresel bozulma arasındaki etkileşim karmaşık ve çok yönlüdür. Konuya jeopolitik riskin çevresel etkisi açısından bakıldığında, iki yönlü bir etki söz konusu olabilmektedir. Bunlardan ilki "*azaltıcı etki*" olup, jeopolitik risklerin ekonomik büyümeyi ve enerji tüketimini düşürdüğünü ve bu faktörlerin çevresel bozulmayı engellediğini savunur. İkinci ise "*artırıcı etki*" olup, jeopolitik risklerin AR-GE'yi, inovasyonları ve yenilenebilir enerjiyi azalttığını ve bunun da çevresel bozulmayı artırdığını öne sürmektedir. Buna dayanarak, jeopolitik risklerin çevresel bozulmayı artırabileceği veya azaltabileceği sonucu çıkarılabilir (Anser et al., 2021b). Dolayısıyla jeopolitik risklerin çevresel bozulma üzerindeki net etkisinin araştırılması gerekmektedir. Bu etkiler dışında jeopolitik risk, çeşitli yollarla çevresel bozulmaya neden olabilir. Örneğin jeopolitik risk, ülkelerin askeri harcamalarının artmasına ve enerji yoğun silahlara yatırımı kaçınılmaz hale getirebilir. Bu silahların tasarımı, üretimi ve savaşlar ya da askeri tatbikatlarda kullanımı çevresel atık oluşturarak çevresel bozulmaya neden olabilir (Khan et al., 2023).

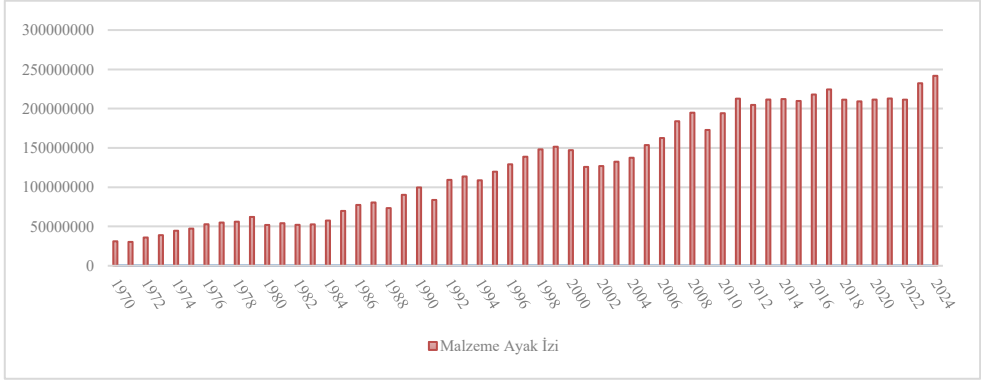
Ekonomilerin vazgeçilmez bir unsuru olan enerjinin, güvenilir kaynaklardan, zamanında ve sürekli tedariki ve ekonomik performansı olumsuz etkilemeyecek bir fiyat düzeyinde olmasını kapsayan enerji güvenliği, hem sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi hem de çevresel hedeflerin gerçekleştirilebilmesi açısından kritik hedeflerden biri olmuştur (Le & Nguyen, 2019; Pata & Karlilar, 2024). Jeopolitik risk ile de yakından ilişkili olan enerji güvenliği ve çevresel bozulma arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda dikkatle yönetilmesi gereken karmaşık bir dengeyi gerektirir. Nitekim ülkeler, ekonomileri açısından hayati önem taşıyan enerji güvenliğini sağlamak ve bunun yanı sıra çevresel bozulmayı da önlemek için kapsamlı ve bütünlümlü stratejiler geliştirmişlerdir. Ancak hâlihazırda dünya enerjisinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmekte olup, bu yakıtlar küresel ısınmaya yol açan sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Bu bilgi ışığında enerji güvenliğini çevresel sürdürülebilirlikle dengelemek, özellikle fosil yakıtlara bağımlı olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için oldukça zor bir görev haline gelmektedir (Shah vd., 2019). Artan enerji güvenliği riski, bir ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye, yerel kaynakları kullanmaya ve fosil yakıtlardan oluşan enerji ithalatını azaltmaya teşvik edebilir. Ayrıca, artan risk ekonomik faaliyetleri ve enerji tüketimini sınırlayabileceğinden çevresel bozulmanın azaltılmasına da yardımcı olabilir (Pata et al., 2023).

Fosil yakıtlar, biyokütle ve metaller gibi malzemeler, ekonomik büyümenin devamı için temel girdilerdir. Fakat, bu malzemelerin aşırı kullanımı, çevresel açıdan telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurabilir. Bu bağlamda, son dönemde küresel anlamda büyük bir sorun haline dönüşen küresel ısınma ve bunun sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliği

olgusu, MF ve bilhassa fosil malzeme ayak izinin (FMF) azaltılmasına dönük politikaların geliştirilmesini zorunluluk haline getirmiştir. Bu doğrultuda, Türkiye için FMF üzerinde etkili olabilecek unsurları araştıran ve FMF’nin azaltılması noktasında gerekli politika önerilerini sunan bir çalışmaya rastlanılmamış olması oldukça önemli bir araştırma boşluğu oluşturmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı, Türkiye’de EKC hipotezi çerçevesinde FMF üzerinde jeopolitik ve enerji güvenliği riskinin uzun ve kısa dönemli etkisini incelemektir. Bu kapsamda, çalışmanın mevcut literatüre birkaç katkı yapması beklenmektedir. i) İncelenen liteartür taramasına göre bu çalışma, 1985-2018 dönemi için Türkiye özelinde EKC hipotezi çerçevesinde jeopolitik ve enerji güvenliği riskinin FMF üzerindeki uzun ve kısa dönemli etkisini test eden ilk çalışmadır. ii) ihmal edilen yapısal kırılmaların dikkate alınması ve daha güçlü ampirik sonuçların elde edilmesi amacıyla çalışmanın, ampirik analizinde Fourier yaklaşımlarına dayalı metodolojik çerçeve benimsenmiştir. iii) Çalışmanın uzun ve kısa dönemli katsayı tahminlerinin sağlamlılık sınaması için Fourier DOLS ve Fourier CCR yöntemleri kullanılmıştır. Bu tahminler, Fourier fonksiyonlarını kullanarak yapısal kırılmaları dikkate almasının yanı sıra otokorelasyon ve içsellik problemlerinin önlenmesi noktasında da güçlü ve tutarlı tahminlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, çalışmada Türkiye’de FMF’nin belirleyicilerini araştırmak ve bu doğrultuda daha tutarlı politika önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada, Türkiye’nin örneklem olarak seçilmesinin arkasında yatan birkaç unsur bulunmaktadır. İlk olarak, aşağıdaki Şekil 1’de Türkiye’nin 1970’den 2024’e kadar FMF’deki değişimi sunulmuştur. Buna göre Türkiye’nin 1970’deki FMF’si 31.173.982 mt iken, yaklaşık olarak %80’lik bir artışla 2024 241.784.529 mt’ye yükselmiştir. Bu durum, Türkiye’nin yoğun olarak fosil malzemelere bağımlı olduğunu ima etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye’de FMF’nin belirleyicilerini araştırmak ve FMF’yi azaltmaya dönük politikalar geliştirebilmek önemli olabilecektir. İkinci olarak, Türkiye dünyada üç kıtanın kesiştiği noktada yer alan ve stratejik olarak çok önemli bir konumda yer almaktadır. Şüphesiz bu durum, hem ekonomik hem de çevresel açıdan olumlu ve olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Türkiye’nin Asya ve Avrupa arasındaki konumu, çeşitli boru hatları ve uluslararası transit taşımacılığı gibi unsurlarla birleştiğinde ekonomik olarak kazançları beraberinde getirmektedir. Ancak bununla birlikte, Türkiye’nin bulunduğu coğrafya dünyanın en yoğun çatışmalarının olduğu bölgelere (Ukrayna-Rusya, Ortadoğu gibi) yakın olması ve ülkenin terör sorunu, ekonomik avantajlarının yanı sıra birtakım riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu riskler, Türkiye’nin askeri teknolojik yatırımlarını zorunlu olarak artırması sonucunu doğal olarak beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’nin içinde bulunduğu bu ortam jeopolitik riskini de artırmakta ve özellikle sürdürülebilir ekonomik ve çevresel kalkınması için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Son olarak, Türkiye ekonomisi yoğun olarak fosil kaynaklara bağımlıdır. Dahası, Türkiye bu kaynakların büyük çoğunluğunda ithalat bağımlısı bir ülkedir. Dolayısıyla, jeopolitik riski yüksek olan Türkiye’nin enerjide ithalata bağımlı olması enerji arz güvenliği riskini de beraberinde getirmektedir.

Şekil: 1
Türkiye’nin Fosil Malzeme Ayak İzi Seyri



Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki gibidir. Bir sonraki bölümde ampirik literatür gözden geçirilmektedir. Bölüm 3’de araştırma tasarımı sunulmuştur. Bölüm 4’te ampirik bulgular elde edilmiş ve bu bulgular literatürle karşılaştırılarak tartışılmıştır. Bölüm 5’te ise çalışmanın sonuç ve politika önerileri sunularak çalışma tamamlanmıştır.

2. Literatür

Son dönemde çevre kirliliği ve çevre kirliliğine neden olan faktörlerin belirlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Çevre ve ekonomi arasındaki ilişki üzerine yapılan çalışmalar EKC hipotezine dayanmaktadır ve bu çalışmaların başlangıç noktası Grossman ve Krueger’in (1991) çalışmasıdır. Bu çalışmayı takiben EKC hipotezi CO₂ salınımı ve ekolojik ayak izi ekseninde birçok çalışmada (Heideri et al., 2015; Charfeddine, 2017; Balsaobre-Lorente et al., 2018; Ahmed et al., 2021; Hussain et al., 2021) incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda ekonomik büyümenin başlangıçta çevresel bozulmanın artmasına yol açtığını, ancak sonunda çevresel iyileşme ile sonuçlandığını yani EKC hipotezinin geçerli olduğu ortaya konulmuştur. EKC hipotezi kapsamında yük kapasitesi faktörü (LCF) ve GSYH arasındaki ilişki de son dönemde yapılan çalışmalarda (Pata & Balsalobre-Lorente, 2021; Pata & Işık, 2021; Awosusi et al., 2022; Xu et al., 2022; Yang et al., 2024) önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle, Çin ve BRICS ülkeleri üzerine yapılan bu çalışmalarda da EKC hipotezinin geçerli olduğu belirtilmiş ve çevresel bozulmanın önüne geçilebilmesi için enerji yoğunluğunun azaltılması gerektiği vurgulanmıştır. Literatürde sıklıkla yer alan ekonomik büyüme çevre ilişkisinin yanı sıra son dönemde enerji güvenliği ve jeopolitik riskin çevre üzerindeki etkileri çalışmalarda kendine yer bulmaktadır. Bu çalışmanın da ana tartışma konusu olan enerji güvenliği ve jeopolitik riskin çevre üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar ayrı başlıklar altında incelenerek aşağıda sunulmuştur.

2.1. Enerji Güvenliği Riski ve Çevresel Bozulma

Enerji güvenliği riski ve çevre ilişkisi üzerine yapılan çalışmaların bir kısmında direkt olarak enerji güvenliği riskinin çevre üzerindeki etkileri incelenirken, diğer kısmında ise enerji verimliliğine yönelik uygulanan politikalarının enerji güvenliği riski üzerindeki olası etkileri ve dolaylı olarak çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dolaylı etkiler Chu (2023) G7, Payne vd. (2023) en çok enerji kullanan 25 ülke ve Tugcu ve Menegaki (2024) G7 ülkeleri için yapmış oldukları çalışmalarda incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, enerji güvenliğinin çevre üzerindeki etkisini direkt olarak test eden çalışmalar dikkate alınmış ve daha fazla detaylandırılmıştır. Bu doğrultuda, Nawaz ve Alvi (2018) çalışmasında Johansen eşbütünleşme ve Granger nedensellik testlerini kullanarak, Pakistan’da enerji güvenliği riskinin sosyo-ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, enerji güvenliği riskinin çevreye ve sosyo-ekonomik koşullara zarar verdiğini ortaya koymuştur. Benzer bir sonuç, Borozan (2024) tarafından 1990-2021 döneminde AB ülkeleri için enerji güvenliği riskinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini AMG ve DCCMG yaklaşımlarıyla araştırdığı çalışmada da ortaya konmuştur. Usman vd. (2024) ise 1970-2018 döneminde DARDL yaklaşımıyla ABD için LCF üzerinde enerji güvenliği riskinin etkisini test etmiştir. Ampirik bulgular, enerji güvenliği riskinin LCF’ye zarar vererek çevresel kaliteyi olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Yukardaki çalışmaların aksine, Shittu vd. (2021) 1990-2018 döneminde kaynak zengini Asya ülkeleri için enerji güvenliği riskinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araç değişkenli iki aşamalı en küçük kareler yöntemiyle incelediği çalışmada, enerji güvenliği riskinin ekolojik ayak izini azalttığını tespit etmiştir. Benzer bir çalışma, Dong vd. (2022) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, SYS-GMM ve D-GMM gibi dinamik panel veri tahmin teknikleri kullanılarak doğal gaz ithalat güvenliğinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışmanın ampirik sonucu, doğal gaz ithalat güvenliğinin artırılmasının CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceği ve çevresel faydalar elde etmek için enerji güvenliğini artıran politikaların desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çin özelinde Wang vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada da yine CO₂ emisyonu üzerinde enerji güvenliği riskinin etkisi araştırılmıştır. QARLD yaklaşımının kullanıldığı çalışmada, enerji güvenliği riskinin CO₂ emisyonunu azalttığı saptanmıştır. Son olarak, Pata ve Karlilar (2024) çalışmasında OECD ülkelerinde enerji güvenliği riskinin materyal ayak izi üzerindeki etkisini araştırmıştır. AMG tahmincisinin kullanıldığı çalışmada, enerji güvenliği riski ile materyal ayak izi arasında negatif yönlü bir ilişki elde edilmiştir.

2.2. Jeopolitik Risk ve Çevresel Bozulma

Çin ve ABD arasındaki ticaret çatışması, 2020 yılı başlarında ortaya çıkan COVID-19 salgını ve 2022 yılında başlayan ve devam eden Rusya-Ukrayna savaşı gibi son jeopolitik gelişmeler, ulusal ekonomilerin yakıt kesintilerine karşı hassasiyetini önemli ölçüde vurgulamıştır. Bu olaylar, bu tür kırılganlıklardan kaynaklanabilecek ekonomik ve çevresel yansımaları vurgulayarak hem makroekonomik yetkililerin hem de kamuoyunun dikkatini çekmiştir (Borozan, 2024). Bu bağlamda, jeopolitik riskin çevresel kirlilik üzerindeki etkisi son dönem çalışmalarda yoğun olarak görülmektedir. Örneğin, Anser vd. (2021a)

çalışmasında BRICS ülkelerinde jeopolitik riskin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. AMG tahmincisinin kullanıldığı çalışmada, jeopolitik risk ile CO₂ emisyonu arasında doğru yönlü bir ilişki bulunmuştur. Daha açık bir ifadeyle, çalışmada jeopolitik riskte meydana gelen artışların çevresel bozulmayı artıracağı tespit edilmiştir. Benzer olarak, BRICS ülkelerinde Zhao vd. (2021), jeopolitik riskin CO₂ emisyonları üzerindeki asimetric etkisini incelenmiştir. NARDL modeli kullanan çalışmada, jeopolitik riskteki pozitif ve negatif değişikliklerin BRICS ülkelerinde CO₂ emisyonları üzerinde farklı etkilere sahip olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, uzun vadede jeopolitik risk, Rusya ve Güney Afrika'da CO₂ emisyonlarını artırırken Hindistan, Çin ve Güney Afrika'da azaltmaktadır. Anser vd. (2021b) ise çalışmasında gelişmekte olan ülke ekonomilerinde jeopolitik riskin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, jeopolitik riskin ekolojik ayak izini azalttığı bulunmuştur. Ayrıca, Cengiz ve Manga (2022) da seçilmiş 12 Latin Amerika ve Asya ülkesinin verilerini analiz ederek jeopolitik risk ve iklim değişikliği arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. AMG yöntemini kullanan çalışma, jeopolitik risk ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında doğru yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Benzer bir konu, Lawal vd. (2023) tarafından Güney Afrika için yapılmıştır. Çalışmada, Güney Afrika'da jeopolitik riskin çevresel bozulma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gelişmiş niceliksel yaklaşım ve Granger nedensellik testleri kullanılan çalışmada, jeopolitik risk ile çevresel bozulma arasında çift yönlü bir nedensellik bulunmuştur. Ayrıca çalışmada, jeopolitik riskin çevresel kaliteyi olumsuz etkilediği bulunmuştur. Farooq vd. (2023) ise Çin'deki jeopolitik riskin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini test etmiştir. Çalışmanın ampirik analizi için ARDL ve NARDL modelleri kullanılmıştır. Bulgular, jeopolitik riskin çevre üzerinde asimetric bir etkisi olduğunu ve jeopolitik risk ile çevresel sürdürülebilirlik arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Dahası sonuçlar, jeopolitik riskin doğrudan yabancı yatırım ve enerji tüketim kalıpları yoluyla CO₂ emisyonlarını etkilediğini göstermektedir. Bu çalışmaların aksine, Balsalobre-Lorente vd. (2024) 1997-2018 yılları arasında G-20 ülkeleri için jeopolitik risklerin karbon emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon ayak izi üzerindeki etkisini Westerlund Durbin-Hausman eşbütünleşme yaklaşımı ve FMOLS tahmincisi ile analiz etmiş ve jeopolitik risklerin uzun vadede bu üç çevresel parametreyi azalttığını ortaya koymuştur. Benzer bir bulgu, Borozaan (2024) tarafından ortaya konmuştur. Borozaan (2024) 1990-2021 dönemindeki yıllık verileri ve AMG ve DCCMG yaklaşımlarını kullandığı çalışmasında, AB ülkelerinde CO₂ emisyonu üzerinde jeopolitik riskin etkini incelemiştir. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, jeopolitik riskin CO₂ emisyonunu azalttığını ortaya koymuştur.

Türkiye özelinde jeopolitik risk ile çevresel kirlilik ilişkisini araştıran çalışmalara bakıldığında, sadece iki adet çalışmanın olması dikkat çekmektedir. İlk çalışma, Saadaoui vd. (2023) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, 1985-2021 yılları arasında ARDL ve spektral nedensellik tahminlerini kullanarak Türkiye için jeopolitik risk ve CO₂ emisyonunu arasındaki ilişki incelenmiştir. Ampirik bulgular, jeopolitik riskin uzun vadede CO₂ emisyonunu azalttığını ortaya koymuş ve jeopolitik risk ile CO₂ emisyonunu arasında bir nedensellik ilişkisinin olmadığını göstermektedir. İkinci çalışma ise Kızılkaya vd. (2024) tarafından yapılmıştır. Kızılkaya vd. (2024) çalışmasında Türkiye için 1985-2019 verilerini

ve Fourier Shin ve Fourier TY yaklaşımlarını kullanarak CO₂ emisyonu üzerinde jeopolitik riskin etkisini sınamıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, jeopolitik riskin CO₂ emisyonu üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu ve jeopolitik riskten CO₂ emisyonuna doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu göstermektedir.

2.3. Ampirik Literatürün Değerlendirilmesi

Ampirik literatüre bakıldığında, Türkiye için FMF’ye dayalı EKC hipotezini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yazarların bilgisine göre, FMF’yi ampirik olarak test eden sadece üç çalışma mevcuttur. Akram ve Bhargava (2023) küresel düzeyde kulüp yakınsaması ile FMF’nin stokastik özelliklerini araştırmıştır. Regueiro-Ferreira ve Alonso-Fernandez (2023) ise GSYH ve yenilenebilir enerjinin FMF üzerindeki rolünü 7 tane AB ülkesi için sınamıştır. Son olarak, Pata ve Karlilar (2024) ise enerji güvenliği riski, yeşil inovasyon ve çevresel politika katılığının OECD ülkelerinde FMF üzerindeki etkisini araştırmıştır. Görüldüğü üzere, Türkiye için EKC temelinde FMF üzerinde enerji güvenliği riski ve jeopolitik riskin uzun ve kısa vadeli etkisini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma Türkiye için EKC temelli FMF üzerinde enerji güvenliği ve jeopolitik riski araştıran ilk çalışma olması dolayısıyla literatürdeki bu boşluğu dolduracaktır.

3. Araştırma Tasarımı

3.1. Veri Seti

Bu çalışma, Türkiye için EKC hipotezi temelinde FMF üzerinde enerji güvenliği ve jeopolitik riskin etkisini test etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bağımlı değişken olarak kullanılan FMF, fosil yakıt çıkarımından kaynaklanan ekonomik faaliyetleri ölçer ve iklim değişikliği ile yakından ilişkilidir. FMF’yi azaltmak için tasarlanan politikalar, iklim ve çevre sorunlarıyla mücadelede önemli bir rol oynayabilir (Akram & Bhargava, 2023). Bu nedenle, FMF’yi belirleyen faktörlerin araştırılması iklim değişikliği ile mücadelede kullanılacak araçların belirlenmesi için faydalı olabilir. Bu doğrultuda, aşağıda Tablo 1’de FMF üzerinde etkisi olabilecek ve çalışma kapsamında kullanılan değişkenlere yer verilmiştir.

Tablo: 1
Değişkenler

Sembol	Değişkenlerin Tanımlanması	Birim	Kaynak
FMF	Fosil malzeme ayak izi	Ton	GMFD (2024)
GDP	Kişi başı GSYH	2015 sabit ABD \$	WDI (2024)
ESR	Enerji güvenliği riski	İndeks	GEI (2024)
GPR	Jeopolitik risk	İndeks	POU (2024)

3.2. Model Seçimi

Bu çalışma, Tablo 1’de sunulan değişkenleri kullanarak EKC hipotezinin Türkiye için uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Teorik olarak EKC, gelir ve çevresel kirleticiler arasında doğrusal olmayan potansiyel bir ilişkiyi temsil etmektedir.

EKC’nin ters-U şekli sergileyebileceği varsayılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, Regueiro-Ferreira ve Alonso-Fernandez (2023) ile Pata ve Karlilar (2024) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanarak, EKC’nin FMF için geçerliliğini incelemek üzere Denklem (1)’e odaklanmaktadır.

$$FMF_t = \delta_0 + \delta_1 GDP_t + \delta_2 GDP_t^2 + \delta_3 ESR_t + \delta_4 GPR_t + u_t \quad (1)$$

Yukarıdaki 1 numaralı eşitlikteki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin doğal logaritması alınmış ve aşağıdaki 2 numaralı eşitlik elde edilmiştir. 1 numaralı eşitlikteki modelin doğal logaritmasını almak olası değişken varyans probleminin önüne geçilmesi ve değişkenlerin esnekliklerinin elde edilmesi dolayısıyla birim farklılıklarının ortadan kalkması için önemlidir. Doğal logaritması alınan model aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\ln FMF_t = \delta_0 + \delta_1 \ln GDP_t + \delta_2 \ln GDP_t^2 + \delta_3 \ln ESR_t + \delta_4 \ln GPR_t + u_t \quad (2)$$

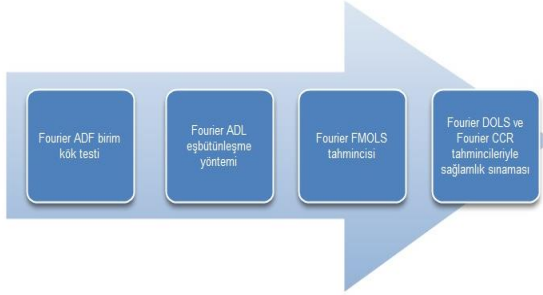
Burada; $\ln$ = doğal logaritmayı, δ_0 = modelin sabitini, δ_1 , δ_2 , δ_3 ve δ_4 = uzun dönem esnekliklerini, u = hata terimini, FMF = fosil malzeme ayak izini, GDP = kişi başı GSYH’yi, ESR = enerji güvenliği riskini ve GPR = jeopolitik riski göstermektedir. Eğer $\delta_1 > 0$, $\delta_2 < 0$ ve her iki katsayı istatistiki olarak anlamlıysa, EKC hipotezi geçerlidir. EKC hipotezinin geçerli olması FMF’nin artan gelirle birlikte belli bir dönem noktasına kadar arttığını, bu noktadan sonra ilave gelir artışının FMF’yi azaltacağını varsaymaktadır. Ampirik analizler için nispeten yeni bir çevresel belirleyici olan ESR, Pata vd.’nin (2023) de belirtmiş olduğu gibi ESR’deki artış, bir ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye, yerel kaynaklardan faydalanmaya ve fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığını azaltmaya teşvik edebilir. Artan güvenlik riskleri ekonomik faaliyetleri ve enerji tüketim seviyelerini kısıtlayabileceğinden, bu değişim çevresel zararın azaltılmasına katkıda bulunabilir. Bu yüzden, δ_3 ’ün beklenen işareti negatiftir. Anser vd.’nin (2021b) de ifade etmiş olduğu gibi GPR’nin çevresel kirlilik üzerinde iki yönlü etkisi olabilir. Eğer “*azaltıcı etki*” geçerli ise GPR çevresel bozulmayı azaltır. Fakat, “*artırıcı etki*” geçerli ise GPR çevresel bozulmayı artırır. Dolayısıyla, δ_4 ’ün işareti azaltıcı etki geçerliyle negatif veya artırıcı etki geçerliyle pozitif olur.

3.3. Ampirik Metodoloji

Bu çalışmada, Şekil 2’de de gösterilen dört aşamalı bir ampirik strateji izlenmiştir. İlk olarak, Fourier ADF birim kök testiyle değişkenlerin bütünleşme derecesi belirlenmiştir. Ardından, değişkenler arasındaki olası eşbütünleşmenin varlığı Fourier ADL eşbütünleşme yaklaşımıyla test edilmiştir. Üçüncü aşamada, eşbütünleşmenin hemen ardından Fourier FMOLS tahmincisiyle uzun ve kısa dönem katsayıları tahmin edilmiştir. Dördüncü ve son aşamada ise Fourier FMOLS yaklaşımının uzun ve kısa dönem katsayı tahminlerinin

sağlamlık sınaması, Fourier DOLS ve Fourier CCR tahmincileri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Şekil: 2
Ampirik Akış Şeması



3.3.1. Fourier ADF

Enders ve Lee’nin (2012) çalışmasıyla literatüre kazandırılan Fourier ADF (FADF) birim kök testi, geleneksel ADF (Dickey & Fuller, 1979) testine trigonometrik terimlerin eklenmesiyle elde edilir. FADF testinde, ilk olarak Fourier terimlerinin anlamlılığı sınanır. Eğer, trigonometrik terimler anlamlıysa FADF testi kullanılır. Fakat, trigonometrik terimler anlamsızsa geleneksel ADF testine dönülür. Bu test, aşağıdaki eşitlik 3’deki gibi yazılabilir.

$$\Delta Y_t = \rho Y_{t-1} + c_1 + c_2 + c_3 \sin(2\pi kt / T) + c_4 \cos(2\pi kt / T) \quad (3)$$

Bu eşitlikteki optimum frekans (k), $1 \leq k \leq 5$ arasında bir değer alır. FADF için trigonometrik terimlerin anlamlılığı ve birim kökün olup olmadığının sınamak için kullanılan kritik değerler Enders ve Lee (2012) tarafından tablolaştırılmıştır.

3.3.2. Fourier ADL

Banerjee vd. (2017) yılında yaptıkları çalışmada, geleneksel otoregresif dağıtılmış gecikme (ADL) modeline Fourier fonksiyonlarını entegre ederek geliştirmiş ve böylece Fourier ADL modelini oluşturmuşlardır. Bu yenilikçi model, doğrusal olmayan yapısal kırılmaların tanımlanamayan biçimlerini ele almak için deterministik bileşeni içinde bir Fourier fonksiyonu içermektedir. Banerjee ve diğerleri (2017) tarafından önerilen Fourier ADL testine ilişkin denklem aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\Delta y = \alpha_0 + \eta_1 \sin\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \eta_2 \cos\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \eta_3 (y_{t-1} + \omega x_{t-1}) + \eta_4 \sum_{i=1}^q \Delta y_{t-i} + \eta_5 \sum_{i=1}^p \Delta x_{t-i} + e_t \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte gösterim kolaylığı açısından sadece tek bir bağımsız değişkenin olduğu model kullanılmıştır. Bu eşitlikteki α_0 , η_1 , η_2 , η_3 , η_4 ve η_5 parametreleri, i,

gecikme uzunluğunu, q ve p maksimum gecikme uzunluklarını ve e_t bozucu terimi ifade etmektedir. Burada, k = frekans sayısını, t = trendi, T = gözlem sayısını, $\sin$ ve $\cos$ trigonometrik terimleri gösterir ve $\pi = 3.1416$ 'dır. Eşitlikteki optimal k , $1 \leq k \leq 5$ için hata kareler toplamının minimum olduğu değere göre belirlenebilir. Optimal gecikme uzunluğu, Akaike bilgi kriterinin (AIC) minimum olduğu değere göre seçilir. k belirlendikten sonra, eşbütünleşmenin olmadığını gösteren boş hipotez ($H_0 : \eta_3 = 0$), eşbütünleşmenin olduğunu gösteren alternatif hipoteze karşı ($H_1 : \eta_3 \neq 0$) sınanır. Eğer, η_3 'ün t-değeri olan¹ Banerjee vd. (2017) tarafından oluşturulmuş AIC değerlerinden küçükse, boş hipotez reddedilerek eşbütünleşmenin olduğuna karar verilir.

4. Ampirik Bulgular

Ampirik analizin başlangıç aşamasında, değişkenlere ait birim kök sınaması ADF ve FADF birim kök testleriyle yapılmış ve aşağıda Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre sadece lnESR serisi için F testine göre Fourier terimlerinin anlamlı olduğu görülmektedir. Bu yüzden, birim kök sınamasında lnESR serisi için FADF diğer seriler için ADF birim kök test sonuçları yorumlanmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında, bütün serilerin birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri, yani $I(1)$ oldukları görülmektedir. Bu noktadan hareketle, değişkenler arasındaki olası eşbütünleşme ilişkisinin varlığı Fourier ADL yaklaşımıyla incelenebilir.

Tablo: 2
ADF ve Fourier ADF Birim Kök Test Bulguları

Değişkenler	Fourier ADF		ADF	
	Düzye	Test istatistiği	Düzye	Birinci Fark
	F test	Test istatistiği	Test istatistiği	Test istatistiği
lnFMF	3,026	-	-1,649 {0} (0,446)	-6,902*** {0} (0,000)
lnGDP	4,969	-	0,278 {0} (0,973)	-6,013*** {0} (0,000)
lnGDP ²	5,026	-	0,426 {0} (0,981)	-5,916*** {0} (0,000)
lnESR	15,774***	-3,801 {1} [1]	-1,255 {0} (0,638)	-5,087*** {1} (0,000)
lnGPR	6,792	-	-0,2138 {1} (0,231)	-5,308*** {1} (0,000)

Not: ***,%1, (), { } ve [] içindeki sayılar p değerlerini, gecikme uzunluklarını ve frekansları gösterir. F testi ve Fourier ADF testi için kritik değerler Enders ve Lee (2012) çalışmasından elde edilmiştir. F ve Fourier ADF %1 için kritik değerler sırasıyla, 10,35 ve Fourier -4,42'dir.

Ampirik analizin ikinci aşamasında, değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi Fourier ADL eşbütünleşme yaklaşımıyla incelenmiş ve aşağıda Tablo 3'de sunulmuştur. Tablo 3'deki sonuçlara göre ADL (1,1,2,1,2) modeli için elde edilen test istatistik değeri (-7,195) %1 önem seviyesindeki kritik değerden (-5,279) mutlak değerce büyüktür. Bu bağlamda, değişkenler arasında bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığından söz edilebilir.

$$I \left(t_{ADL}^F \left(\hat{k} \right) \right)$$

Tablo: 3
Fourier-ADL Eşbütünleşme Bulguları

Model	$t_{ADL}^F \left(\begin{matrix} \hat{k} \\ k \end{matrix} \right)$	$\hat{k}$	Gecikmeler	AIC	Sonuç
$\ln FMF = f(\ln GDP, \ln GDP^2, \ln ESR, \ln GPR)$	-7,195***	2	ADL(1, 1, 2, 1, 2)	-2,921	eşbütünleşik

Not: ***; %1 anlamlılık düzeyini gösterir. Fourier ADL (2017) eşbütünleşme testi için kritik değerler ($r = 4, k = 2$) %1 önem seviyesi için kritik değer -5,279’dur. r = bağımsız değişken ve k = frekans sayısını göstermektedir.

Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinin akabinde, bu eşbütünleşme ilişkisine ait uzun ve kısa dönem katsayıları Fourier FMOLS tahmincisiyle sınanmış ve aşağıdaki Tablo 4’de raporlanmıştır. Bu tabloya göre uzun dönemde bağımlı değişken olan $\ln FMF$ üzerinde bütün bağımsız değişkenlerin etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır. $\ln GDP$ ’deki %1’lik bir artış $\ln FMF$ ’yi %19,089 oranında artırırken, $\ln GDP^2$ ’deki %1’lik bir artış $\ln FMF$ ’yi %1,002 oranında azaltmaktadır. Bu sonuç, Türkiye için uzun dönemde EKC hipotezinin geçerli olduğunu doğrulamaktadır. İlaveeten, uzun dönemde $\ln ESR$ ’deki %1’lik bir artış $\ln FMF$ ’yi %0,393 oranında azaltmaktadır. Benzer şekilde, uzun dönemde $\ln GPR$ ’deki %1’lik bir artış yine $\ln FMF$ ’yi %0,036 oranında azaltmaktadır.

Tablo: 4
Uzun ve Kısa Dönem Bulguları

Fourier FMOLS				
Uzun Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
$\ln GDP$	19,084***	2,514	7,588	0,000
$\ln GDP^2$	-1,002***	0,142	-7,029	0,000
$\ln ESR$	-0,393**	0,155	-2,522	0,018
$\ln GPR$	-0,036**	0,015	-2,435	0,022
c	-82,685***	11,795	-7,010	0,000
cos	-0,026**	0,010	-2,527	0,017
sin	-0,054***	0,011	-4,649	0,000
Dönüm noktası (GDP*)	Logaritmik değer	9,522	Parasal değer ABD (\$)	13,669
Kısa Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
$\Delta \ln GDP$	13,857**	6,231	2,223	0,036
$\Delta \ln GDP^2$	-0,723	0,350	-2,062	0,050
$\Delta \ln ESR$	-0,339	0,187	-1,808	0,083
$\Delta \ln GPR$	-0,016	0,011	-1,414	0,170
c	0,002	0,008	0,265	0,792
ECT _{t-1}	-0,980***	0,132	-7,408	0,000

Not: *** ve ** sırasıyla %1 ve %5 önem düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 4’deki kısa dönem sonuçlarına bakıldığında ise hata düzeltme teriminin (ECT) negatif ve %1 önem düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Bu bulgu, kısa dönemde meydana gelecek bir sapmanın yaklaşık $(1/0,980=1,02)$ 1 yıl sonra uzun dönem dengesine yakınsayacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca kısa dönem sonuçlarına göre yine EKC hipotezinin anlamlı olduğu ve kısa dönemde $\ln FMF$ üzerinde $\ln ESR$ ’nin negatif bir etkisinin olduğu görülmektedir.

4.1. Sağlamlık Sınaması

Fourier FMOLS tahmincisiinden elde edilen bulguların sağlamlık sınaması Fourier DOLS ve Fourier CCR tahmincileriyle yapılmış ve aşağıda sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur. Tablo 5'deki Fourier DOLS sonuçlarına göre bütün bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken lnFMF üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak ilgili önem düzeylerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Uzun dönemde lnFMF üzerinde lnGDP'nin etkisi pozitifdir ve etki yaklaşık olarak %16,221 birimdir. lnFMF üzerinde lnGDP²'nin etkisine bakıldığında, bu etkinin negatif ve yaklaşık olarak %0,839 birim olduğu görülmektedir. Bu bulgu, Türkiye'de EKC hipotezinin geçerli olduğunu söylemektedir. Uzun dönemde lnFMF üzerinde lnESR ve lnGPR etkisinin negatif olduğu ve sırasıyla, %0,533 ve %0,062 birim olduğu görülmektedir.

Tablo: 5
Uzun ve Kısa Dönem Bulguları

Fourier DOLS				
Uzun Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
lnGDP	16,221***	3,270	4,959	0,000
lnGDP ²	-0,839***	0,185	-4,516	0,000
lnESR	-0,533**	0,222	-2,397	0,025
lnGPR	-0,062**	0,024	-2,548	0,018
c	-69,236***	15,493	-4,468	0,000
cos	-0,033**	0,012	-2,669	0,014
sin	-0,048***	0,014	-3,313	0,003
Kısa Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
ΔlnGDP	-1,985	9,074	-0,218	0,829
ΔlnGDP ²	0,146	0,506	0,290	0,775
ΔlnESR	-0,576	0,281	-2,048	0,055
ΔlnGPR	-0,039	0,023	-1,674	0,111
c	0,015	0,011	1,417	0,173
ECT _{t-1}	-1,417***	0,248	-5,696	0,000

Not: *** ve ** sırasıyla %1 ve %5 önem düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 4'den elde edilen kısa dönem sonuçlarına bakıldığında ise ECT'nin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, kısa dönemli sapmaların uzun dönemde sönmüneceği anlamına gelmektedir. Ayrıca kısa dönem bulguları sadece lnESR'nin lnFMF üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 6'deki Fourier CCR tahmincisi bulgularında bakıldığında, uzun dönemde bağımlı değişken lnFMF üzerinde bütün bağımsız değişkenlerin %1 önem seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Uzun dönem bulguları, lnFMF üzerinde lnGDP ve lnGDP²'nin sırasıyla pozitif (%20,55) ve negatif (%1,086) olduğu görülmektedir. Bu bulgu, uzun dönemde Türkiye için EKC hipotezinin varlığını kanıtlamaktadır. Ayrıca uzun dönemde, lnESR'deki %1'lik bir artışın lnFMF'yi %0,312 oranında azalttığı ve benzer olarak lnGPR'deki %1'lik bir artışın da lnFMF'yi %0,037 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

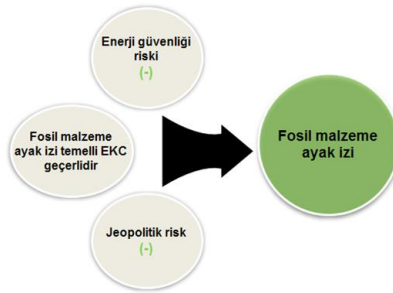
Tablo: 6
Uzun ve Kısa Dönem Bulguları

Fourier CCR				
Uzun Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
lnGDP	20,555***	1,591	12,915	0,000
lnGDP ²	-1,086***	0,090	-11,996	0,000
lnESR	-0,312***	0,107	-2,914	0,007
lnGPR	-0,037***	0,013	-2,784	0,009
c	-89,707***	7,461	-12,022	0,000
cos	-0,058***	0,008	-7,024	0,000
sin	-0,0342***	0,008	-4,232	0,000
Kısa Dönem Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	p-değeri
ΔlnGDP	14,701**	6,801	2,161	0,041
ΔlnGDP ²	-0,772	0,380	-2,028	0,054
ΔlnESR	-0,340	0,206	-1,652	0,112
ΔlnGPR	-0,018	0,021	-0,875	0,390
c	0,003	0,009	0,367	0,716
ECT _{t-1}	-0,978***	0,192	-5,085	0,000

Nor: *** ve ** sırasıyla %1 ve %5 önem düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 6’daki kısa dönem bulgularına bakıldığında ise ECT’nin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, kısa dönemde meydana gelecek bir sapmanın uzun dönemde ortadan kalkacağını ima etmektedir. Ayrıca kısa dönem sonuçları, EKC hipotezinin Türkiye için geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Fourier FMOLS tahmincisiinden elde edilen bulgular, Fourier DOLS ve Fourier CCR tahmincilerinden elde edilen bulgularla paralellik göstermektedir. Bu durum, yapılan tahminlerin tutarlı olduğunu ifade etmektedir. Aşağıdaki Şekil 3’de çalışmadan elde edilen sonuçların genel bir özeti sunulmuştur.

Şekil: 3
Ampirik Bulguların Görsel Özeti



4.2. Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, uzun dönemde Türkiye’de lnFMF üzerinde lnGDP ve lnGDP²’nin istatistiki açıdan anlamlı olduğu ve lnFMF’yi sırasıyla pozitif ve negatif etkilediğini göstermektedir. Bu bulgu, Türkiye’de fosil malzeme ayak izine dayalı EKC hipotezinin geçerli olduğunu doğrulamaktadır. Çalışmadan elde edilen bu sonuç,

Regueiro-Ferreira ve Alonso-Fernandez’in (2023) bulgularının aksine, Charfeddine (2017), Balsaobre-Lorente vd. (2018), Ahmed vd. (2021), Hussain vd. (2021) ve Pata Karlilar’ın (2024) çalışmalarının bulgularıyla paralellik göstermektedir. Dünyanın ilk 20 ekonomisi içerisinde yer alan ve AB üyelik sürecinde olan Türkiye için EKC hipotezinin geçerli olması oldukça önemlidir. Çünkü yüksek gelir, FMF’nin azaltılması noktasından kullanılabilecek önemli bir argüman olabilir. Bu noktada, EKC’nin dönüm noktasının tespit edilmesi, gelirin FMF’nin azaltılması ve bu bağlamda iklim değişikliğiyle mücadele için yorum ve politikaların geliştirilmesine yardımcı olma noktasında önemli olacaktır. Çalışmadan elde edilen bulgularda Türkiye için bu noktanın 13.669 \$ olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, 2023 yılı itibariyle kişi başına geliri yaklaşık olarak 13 bin \$ civarında olan Türkiye için gelirin lnFMF’yi azaltma noktasında olmadığı fakat o noktaya oldukça yaklaştığı anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, gelirin artması toplumda bilinçli malzeme ve mal tüketimini beraberinde getirebilir ve bu durum lnFMF’nin azaltılmasına yardımcı olabilir.

Çalışmada kullanılan Fourier FMOLS, DOLS ve CCR yaklaşımlarının üçünün ortak bulgusuna göre hem uzun hem de kısa dönemde lnESR’deki artışların lnFMF üzerinde azaltıcı bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Nawaz ve Alvi (2018), Borozaan (2024) ve Usman vd.’nin (2024) lnESR’deki artışların çevresel kirliliği artırdığı sonucuyla tutarsızken, Shittu vd. (2021), Dong vd. (2022), Wang vd. (2023) ve Pata ve Karlilar’ın (2024) bulgularıyla paralellik göstermektedir. Enerji güvenliği endişelerinin artması, Türkiye gibi fosil yakıtlarda dışa bağımlı olan ülkelerde yenilenebilir enerji üretim altyapısına yatırım yapmayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ve ekonomik hayata entegre edilmesini sürecini hızlandırabilir. Bunun doğal bir sonucu olarak da lnESR’deki artışlar lnFMF’yi azaltarak çevresel bozulmayı yavaşlatabilir.

Çalışmadan elde edilen diğer bir sonuca göre lnGPR’deki artışlar uzun dönemde lnFMF’yi azaltarak çevresel bozulmayı yavaşlatmasıdır. Bu bulgu, Anser vd. (2021b) tanımlanan “*azaltıcı etki*” mekanizmasının teorik olarak doğrulamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye’de lnGPR’deki artış ekonomik büyümeyi yavaşlatmakta ve fosil kaynak kullanımını düşürmektedir. Bu iki durumun ortak sonucu olarak da çevresel bozulma yavaşlamaktadır. Çalışmadan elde edilen bu sonuç, Cengiz ve Manga (2022), Lawal vd. (2023) ve Farooq vd.’nin (2023) sonuçlarının aksine Saadaoui vd. (2023) ve Kızılkaya vd.’nin (2024) bulgularıyla aynı doğrultudadır.

5. Sonuç ve Politika Önerileri

Bu çalışma, Türkiye için fosil malzeme ayak izine dayalı EKC hipotezi çerçevesinde enerji güvenliği riski ve jeopolitik riskin fosil malzeme ayak izi üzerindeki etkisini test etmeyi amaçlamaktadır. Ampirik modelin testi için temelde Fourier fonksiyonlarına dayanan ADF birim kök, ADL eşbütünleşme ve FMOLS tahmincisi kullanılmıştır. Ayrıca Fourier DOLS ve CCR tahmincileri kullanılarak, Fourier FMOLS tahmincisinden elde edilen katsayıların sağlamlık sınaması yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, Türkiye’de uzun dönemde fosil malzeme ayak izine dayalı EKC hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca ampirik bulgular, enerji güvenliği endişeleriyle birlikte

jeopolitik risklerin Türkiye’de fosil malzeme ayak izini azaltarak çevresel kirliliğin azaltılmasına katkıda bulunduğunu da göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlardan hareketle, bir dizi politika önerileri sunulmuştur.

Türkiye’de EKC hipotezinin geçerli olması fakat Türkiye’deki mevcut kişi başına gelir seviyesinin EKC’nin dönüm noktasını aşmamış olması, çevresel kirliliğin azaltılması noktasında ekonomik büyümenin önemli bir araç olarak kullanılmasına işaret etmektedir. Bu doğrultuda, Türkiye geliri artırma odaklı bir büyüme politikası izlemeye devam etmelidir. Ancak bunun ile birlikte, bir yandan da sürdürülebilir bir ekonomik ve çevresel yapının tesis edilmesi için de gerekli adımların atılması kaçınılmazdır. Bunun için Türkiye yenilenebilir ve daha çevre-dostu enerjiye geçiş için gerekli politikaları uygulamaya koymalıdır. Ayrıca, Türkiye fosil yakıt temelli ekonomik faaliyetleri azaltmalıdır. Dahası, ülkede fosil yakıtlara bağımlı malzemeler yerine yenilenebilir enerji odaklı malzemelerin kullanımı teşvik edilmelidir. Böylece, ülke bir yandan sürdürülebilir ekonomik büyümesine devam edebilecekken öte yandan çevresel koşulların daha da kötüleşmesinin önüne geçebilir. Ayrıca, Türkiye’de enerji güvenliği riskindeki artış, Türkiye için enerji arz güvenliğinin risk altında olduğunu ima etmektedir. Bunun yanı sıra, Türkiye’de jeopolitik riskteki artışlar çevresel anlamda olumlu bir sonuca işaret etmektedir. Bu iki durum, Türkiye gibi fosil yakıtla bağımlı ülkeler için ekonominin yavaşlamasını ve buna bağlı olarak fosil yakıtların daha az kullanılmasını doğurmaktadır. Bahsedilen her iki durumun ortak sonucu olarak da fosil malzeme ayak izi azaltmakta ve bu nedenle çevresel kirlilik yavaşlamaktadır. Bu sonuç, Türkiye için çevresel anlamda pozitif bir durum oluştursa bile ekonomik açıdan negatif bir sonuç doğurmaktadır. Çünkü, Türkiye geliştirmekte olan bir ülkedir ve gelişimini tamamlaması için ekonomik büyüme oldukça önemlidir. Bu bağlamda, Türkiye’deki politika yapıcılar yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapmalı ve yoğun fosil yakıt kullanan sektörler için fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara geçişi için gerekli tüm adımları atmalıdır. Böylece, hem oluşması muhtemel enerji arz güvenliği ve jeopolitik risklerden kaynaklı ekonomik yavaşlama bertaraf edilebilir hem de fosil malzeme ayak izi azaltılarak sürdürülebilir bir çevresel yapının oluşturulması mümkün olabilir. Son olarak bulgular, Türkiye’deki politika yapıcılarının fosil malzeme ayak izini azaltmak için eş zamanlı olarak gelir, enerji arz güvenliği ve jeopolitik risklerin olumlu etkilerini dikkate almaları gerektiğini ortaya koymaktadır. Fosil malzeme ayak izinin azaltılması SKH-8.4 ve SKH-12.2’ye katkıda bulunmasının yanı sıra iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesine de yardımcı olabilir. Bu bağlamda, Türkiye bir yandan çevresel sürdürülebilirliği göz ardı etmeden geliri artırma odaklı politikalar izlemeli, öte yandan enerji arz güvenliği endişeleri ve jeopolitik risklerden kaynaklanan sorunların üstesinden gelmek ve fosil malzeme ayak izini azaltmak için yenilenebilir enerjiye yatırım yapmalıdır. Özellikle yenilenebilir enerji alanında yapılacak AR-GE harcamalarının artırılması ve yenilenebilir enerjiye yönelik yatırımlar yapan firmalara gerekli teşviklerin sağlanması bu anlamda önem arz etmektedir. Bu yolla, Türkiye adım adım fosil yakıtlardan ayrılarak karbonsuz bir ekonomiye dönüşebilir.

Bu çalışmanın, bazı temel kısıtları vardır. Öncelikle, çalışma sadece Türkiye için yapılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışma çevre ekonomisi üzerine araştırma yapmak isteyen

araştırmacılar için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Çalışmanın temel odak noktasında FMF yeni ve kapsamlı bir çevresel göstergedir. Buradan hareketle, gelecekteki çalışmalarda enerji arz güvenliği, jeopolitik risk değişkeni, yenilenebilir enerji ve nükleer enerji ar-ge değişkenleri ile birlikte farklı ülke veya ülke grupları için kantil ve wavelet gibi farklı güncel ekonometrik yaklaşımlarla çalışılabilir.

Kaynaklar

- Ahmed, Z. et al. (2021), "Linking Economic Globalization, Economic Growth, Financial Development, and Ecological Footprint: Evidence From Symmetric And Asymmetric ARDL", *Ecological Indicators*, 121, 107060.
- Akram, V. & S. Bhargava (2023), "Club Convergence Analysis of Fossil Fuels Material Footprint at the Global Level", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(53), 114283-114293.
- Anser, M.K. et al. (2021), "Do Economic Policy Uncertainty and Geopolitical Risk Lead To Environmental Degradation? Evidence from Emerging Economies", *Sustainability*, 13(11), 5866.
- Anser, M.K. et al. (2021), "Does Geopolitical Risk Escalate CO2 Emissions? Evidence from the BRICS Countries", *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 48011-48021.
- Awosusi, A.A. et al. (2022), "A Roadmap Toward Achieving Sustainable Environment: Evaluating the Impact of Technological Innovation and Globalization on Load Capacity Factor", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3288.
- Balsalobre-Lorente, D. et al. (2018), "How Economic Growth, Renewable Electricity and Natural Resources Contribute To CO2 Emissions?", *Energy Policy*, 113, 356-367.
- Balsalobre-Lorente, D. et al. (2024), "The Dampening Effect of Geopolitical Risk and Economic Policy Uncertainty in the Linkage between Economic Complexity and Environmental Degradation in the G-20", *Journal of Environmental Management*, 351, 119679.
- Banerjee, P. et al. (2017), "Fourier ADL Cointegration Test to Approximate Smooth Breaks with New Evidence from Crude Oil Market", *Economic Modelling*, 67, 114-124.
- Borozan, D. (2024), "Do Geopolitical and Energy Security Risks Influence Carbon Dioxide Emissions? Empirical Evidence from European Union Countries", *Journal of Cleaner Production*, 439, 140834.
- Caldara, D. & M. Iacoviello (2018), "Measuring Geopolitical Risk", Federal Reserve Board, *International Finance Discussion Paper*, 1222.
- Cengiz, O. & M. Manga (2022), "Is There Any Relationship between Geopolitical Risk and Climate Change?", *Ekonomski vjesnik/Econviews-Review of Contemporary Business, Entrepreneurship and Economic Issues*, 35(1), 99-112.
- Charfeddine, L. (2017), "The Impact of Energy Consumption and Economic Development on Ecological Footprint and CO2 Emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model", *Energy Economics*, 65, 355-374.
- Chu, L.K. (2023), "The Role of Energy Security and Economic Complexity in Renewable Energy Development: Evidence from G7 Countries", *Environmental Science and Pollution Research*, 30(19), 56073-56093.

- Dickey, D.A. & W.A. Fuller (1979), “Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root”, *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Dong, K. et al. (2022), “Moving toward Carbon Neutrality: Assessing Natural Gas Import Security and Its Impact on CO2 Emissions”, *Sustainable Development*, 30(4), 751-770.
- Enders, W. & J. Lee (2012), “The Flexible Fourier form and Dickey-Fuller Type Unit Root Tests”, *Economics Letters*, 117(1), 196-199.
- Farooq, F. et al. (2023), “Analyzing the Impact of Geopolitical Risk, and Renewable Energy Towards Sustainable Development in China”, *iRASD Journal of Economics*, 5(2), 422-440.
- GEI Global Energy Institute (2024), *Security Risk Index*,
<<https://www.globalenergyinstitute.org/energy-security-risk-index>>, 13.06.2024.
- GMFD Global Material Flows Database (2024), *Material Flows Database*,
<<https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>>, 13.06.2024.
- Grossman, G.M. & A.B. Krueger (1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, National Bureau of Economic Research *Working Paper* No. 3914, Cambridge, Mass.
- Heidari, H. et al. (2015), “Economic Growth, CO2 Emissions, and Energy Consumption in the Five ASEAN Countries”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 785-791.
- Hussain, M. et al. (2021), “Comparative Re-Estimation of Environmental Degradation and Population Density in China: Evidence from the Maki’s regime shift approach”, *Revista de Economía Mundial*, 58, 29-50.
- Khan, A. et al. (2023), “Geopolitical Risk, Economic Uncertainty, and Militarization: Significant Agents of Energy Consumption and Environmental Quality”, *Environmental Impact Assessment Review*, 102, 107166.
- Kızılkaya, F. et al. (2024), “Does Geopolitical Risk Escalate Environmental Degradation in Turkey? Evidence from a Fourier Approach”, *Environment, Development and Sustainability*,
<https://doi.org/10.1007/s10668-024-05258-1>.
- Lawal, G.O. et al. (2023), “Geopolitical Risk, Globalization and Environmental Degradation in South Africa: Evidence from Advanced Quantiles Approach”, *Problemy Ekorożwoju*, 18(1), 207-215.
- Le, T.H. & C.P. Nguyen (2019), “Is Energy Security a Driver for Economic Growth? Evidence from a Global Sample”, *Energy Policy*, 129, 436-451.
- Nawaz, S.M.N. & S. Alvi (2018), “Energy Security for Socio-Economic and Environmental Sustainability in Pakistan”, *Heliyon*, 4(10), e00854.
- Oberle, B. et al. (2019), *Global Resources Outlook: 2019*, International Resource Panel, United Nations Environment, Paris, France.
- Pata, U.K. & C. Isik (2021), “Determinants of the Load Capacity Factor in China: A Novel Dynamic ARDL Approach for Ecological Footprint Accounting”, *Resources Policy*, 74, 102313.
- Pata, U.K. & D. Balsalobre-Lorente (2022), “Exploring the Impact of Tourism and Energy Consumption on the Load Capacity Factor in Turkey: A Novel Dynamic ARDL Approach”, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 13491-13503.

- Pata, U.K. & S. Karlilar (2024), "The Integrated Influence of Energy Security Risk and Green Innovation on the Material Footprint: An EKC Analysis Based on Fossil Material Flows", *Journal of Cleaner Production*, 435, 140469.
- Pata, U.K. et al. (2023), "Environmental Reverberations of Geopolitical Risk and Economic Policy Uncertainty Resulting from the Russia-Ukraine Conflict: A Wavelet Based Approach for Sectoral CO2 Emissions", *Environmental Research*, 231, 116034.
- Payne, J.E. et al. (2023), "The Effect of Economic Complexity and Energy Security on Measures of Energy Efficiency: Evidence from Panel Quantile Analysis", *Energy Policy*, 177, 113547.
- POU (2024), *Policyuncertainty*, <<https://policyuncertainty.com/>>, 13.06.2024.
- Regueiro-Ferreira, R.M. & P. Alonso-Fernández (2023), "Interaction between Renewable Energy Consumption and Dematerialization: Insights Based on the Material Footprint and the Environmental Kuznets Curve", *Energy*, 266, 126477.
- Saadaoui, H. et al. (2024), "The Impacts of Hydroelectricity Generation, Financial Development, Geopolitical Risk, Income, and Foreign Direct Investment on Carbon Emissions in Turkey", *Environmental Economics and Policy Studies*, 26(2), 239-261.
- Shah, S.A.A. et al. (2019), "Energy Security and Environmental Sustainability Index of South Asian Countries: A Composite Index Approach", *Ecological Indicators*, 106, 105507.
- Shittu, W. et al. (2021), "An Investigation of the Nexus between Natural Resources, Environmental Performance, Energy Security and Environmental Degradation: Evidence from Asia", *Resources Policy*, 73, 102227.
- Tugcu, C.T. & A.N. Menegaki (2024), "The Impact of Renewable Energy Generation on Energy Security: Evidence from the G7 Countries", *Gondwana Research*, 125, 253-265.
- Usman, O. et al. (2024), "Energy Security-Related Risks and the Quest to Attain USA's Net-Zero Emissions Targets by 2050: A Dynamic ARDL Simulations Modeling Approach", *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 18797-18812.
- Wang, K.H. et al. (2023), "Energy Security and CO2 Emissions: New Evidence from Time-Varying and Quantile-Varying Aspects", *Energy*, 273, 127164.
- WDI (2024), *World Development Indicators*, <<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>>, 13.06.2024.
- Xu, D. et al. (2022), "Load Capacity Factor and Financial Globalization in Brazil: The Role of Renewable Energy and Urbanization", *Frontiers in Environmental Science*, 9, 823185.
- Yang, M. et al. (2024), "Determinants of Load Capacity Factor in BRICS Countries: A Panel Data Analysis", *Natural Resources Forum*, 48(2), 525-548.
- Zhao, W. et al. (2021), "Geopolitical Risks, Energy Consumption, and CO2 Emissions in BRICS: An Asymmetric Analysis", *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 39668-39679.

Çamkaya, S. & M. Akça & S. Topal (2025), “Türkiye’de Enerji Güvenliği ve Jeopolitik Riskin Çevresel Bozulma Üzerindeki Etkisi: Fosil Malzeme Ayak İzine Dayalı Çevresel Kuznets Eğrisi Temelli Bir Değerlendirme”, *Sosyoekonomi*, 33(65), 361-379.