

Araştırma Makalesi

Türkiye’de Çevresel Teknolojilerin Çevresel Kirlilik Üzerindeki Etkisi: Fourier Yaklaşımlarından Ampirik Kanıtlar

The Impact of Environmental Technologies on Environmental Pollution in Turkey: Empirical Evidence from Fourier Approximations

Serhat ÇAMKAYA

Dr. Öğr. Üyesi, Kafkas Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

serhatcamkaya36@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4373-1922>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
02.01.2024	19.09.2024

Öz

Yük kapasitesi faktörü (LCF), son dönemlerde geliştirilmiş sadece doğanın talep tarafını (tüketim tarafını) değil, aynı zamanda arz tarafını (biyokapasite tarafını) dikkate almaktadır. Bu yüzden LCF'nin, çevresel ekonomi literatüründeki son çalışmalarda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu bağlamda çalışma, Türkiye’de LCF üzerinde ekonomik büyümenin, çevresel teknolojilerin ve enerji tüketiminin uzun dönemli etkisini test etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, 1974-2019 dönemi arasındaki yıllık veriler Fourier temelli zaman serisi teknikleriyle (ADF, ADL ve FMOLS) test edilmiştir. Ayrıca, çalışmanın uzun dönem sağlamlık sınaması yine Fourier temelli DOLS ve CCR teknikleriyle sınanmıştır. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, ekonomik büyümenin ve enerji tüketiminin beklendiği gibi çevresel kirliliğe ve buna bağlı olarak çevresel kaliteye zarar verdiğini göstermektedir. Ayrıca, bulgular beklenenin aksine çevresel teknolojilerin çevresel kaliteyi olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Bu yüzden, Türkiye’deki politika yapıcılar çevresel kaliteyi iyileştirmek için önemli bazı politikaları ivedilikle hayata geçirmelidir. Bunun için politika yapıcılar, daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarına ve çevresel teknolojilere yatırım yapacak adımları atmalıdır. Ayrıca, yeşil büyümenin tesisi için de gerekli adımlar atılmalıdır. Son olarak, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması için paydaşlarla protokoller imzalanmalı ve bu protokollere uyulmaması halinde cezai yaptırım da dahil gerekli önlemler alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yük Kapasitesi Faktörü, Çevresel Kalite, Çevresel Teknoloji, FADL, Türkiye

Abstract

The load capacity factor (LCF), recently developed, takes into account not only demand side (consumption) but also supply side (biocapacity) of nature. Therefore, it is seen that LCF has started to be used in recent studies in environmental economics literature. In this context, the study aims to test long-run effect of economic growth, environmental technologies and energy consumption on LCF in Turkey. For this purpose, annual data for the period 1974-2019 are tested with Fourier-based time series techniques (ADF, ADL and FMOLS). In addition, long-run robustness test of study is also tested with Fourier-based DOLS and CCR techniques. The empirical findings of study show that economic growth and energy consumption, as expected, harm environmental pollution and consequently environmental quality. Moreover, contrary to expectations, findings reveal that environmental technologies have negative impact on environmental quality. Therefore, policy makers in Turkey should urgently implement some important policies to improve environmental quality. For this, policymakers should take steps to invest more renewable energy sources and environmental technologies. In addition, necessary steps should be

Önerilen Atf /Suggested Citation

Çamkaya, S., 2024, Türkiye’de Çevresel Teknolojilerin Çevresel Kirlilik Üzerindeki Etkisi: Fourier Yaklaşımlarından Ampirik Kanıtlar, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(4), 2024-2043.

taken for establishment of green growth. Finally, protocols should be signed with stakeholders to reduce the use of non-renewable energy sources, and non-compliance with these protocols should not be tolerated.

Keywords: Load Capacity Factor, Environmental Quality, Environmental Technology, FADL, Turkey

1. Giriş

Günümüz dünyası, ekonomik büyümenin neden olduğu, çok ciddi toplumsal ve çevresel sorunlarla karşı karşıyadır. Çevresel kirlilik, ele alınması gereken en endişe verici sorunların başında gelmektedir. Dünya, doğal kaynakların tükenmesi, çeşitli bölgelerde su eksikliği ve artık çeşitli yaşam türlerini destekleyemeyen ve ormansızlaşma, boğucu kirlilik ve kıyı şeridinin bozulması gibi çevresel bozulmanın açık kanıtı olan zayıf topraklar gibi çeşitli çevresel zorluklarla karşı karşıyadır. Özellikle, yüksek CO₂ emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma, en büyük çevresel tehlikelerden biri olarak görülmektedir (Haouas ve ark., 2023, s. 77077). Son zamanlarda, küresel ısınma ve bunun tetiklediği iklim değişikliği olgusu özellikle insan hayatını çok ciddi oranda tehdit etmektedir. Bu bağlamda, çevresel kirlilik ve iklim değişikliği konusu bilhassa bu konuyla ilgilenen araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu yüzden, araştırmacılar tarafından çevresel kirliliğe neden olan faktörlerin neler olduğu yoğun olarak araştırılmış ve araştırılmaya da devam edilmektedir. Buradan hareketle, çevresel kirliliğe ilişkin faktörleri belirlemek ve bu kirliliğin azaltılması, hatta çevresel kalitenin iyileştirilmesi için çeşitli politikaların geliştirilmesi oldukça önemli bir hal almaktadır.

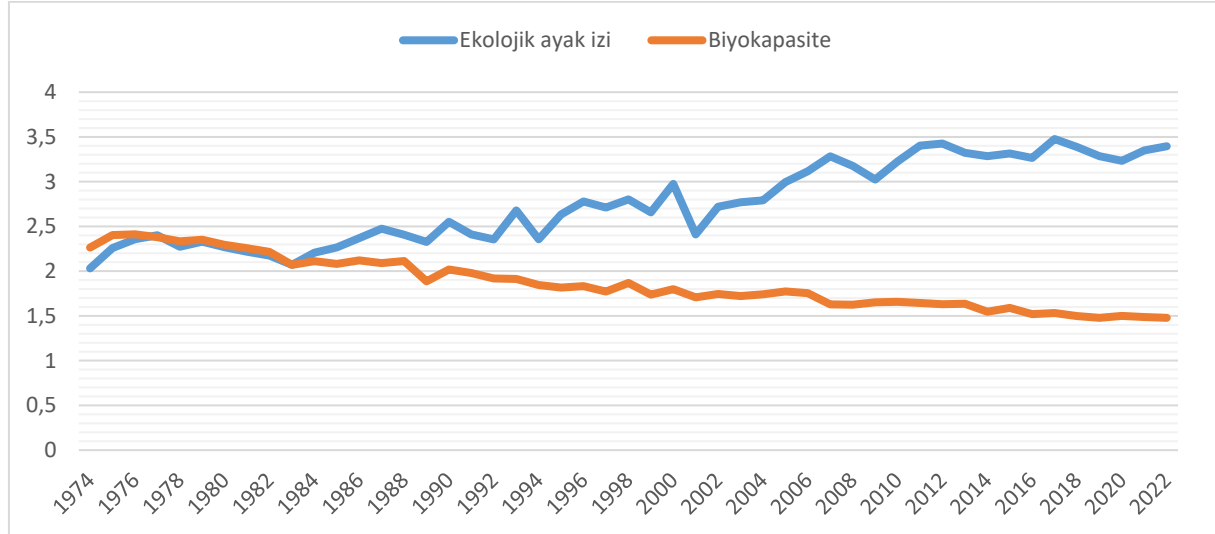
Grossman ve Krueger'in (1991) çalışmasından sonra ekonomik büyümenin çevresel kirlilik üzerindeki etkisi Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi bağlamında test edilmiştir. Bu hipotez, çevresel kirlilik ile ekonomik büyüme arasında ters-U şeklinde bir ilişkinin olduğunu varsaymakta ve ekonomik büyümenin belli bir noktadan itibaren çevresel kalitenin iyileştirilmesinde bir nimet olarak görülebileceğini söylemektedir. Fakat, bazı çalışmalar (Lin ve ark., 2016; Abid, 2017; Destek, 2018; Altıntaş ve Kassouri, 2020; Pata ve Samour, 2022; Yılmaz ve Çamkaya, 2022; Aydın ve ark., 2023) EKC hipotezinin geçersiz olduğunu ve ekonomik büyümenin çevresel kirliliği azaltmak için bir nimet olarak görülemeyeceğini tespit etmiştir. Dahası, ekonomik büyümenin çevresel kirliliği arttıran önemli unsurlardan birisi olduğu ortaya konmuştur. Söz konusu hipotezle birlikte, ekonomik büyüme çevresel kirlilik arasındaki ilişki özellikle son yıllarda yoğun olarak tartışılır hale gelmiştir. Ekonomik büyümenin yanı sıra, artan kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak, yenilenemeyen enerji tüketiminin kullanım alanının çok fazla artması da kirletici emisyonlarında hatırı sayılır artışı beraberinde getirmiştir. Yenilenemeyen enerji kullanımından kaynaklanan kirletici emisyonlar, kirlilik ve küresel ısınma ile yakından ilişkilidir (Haouas ve ark., 2023, s. 77078). Mevut literatür incelendiğinde, ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerji tüketiminin aksine çevresel teknolojiler, çevresel kirliliğin azaltılmasında ve buna bağlı olarak çevresel kalitenin artırılmasında önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır (Ali vd, 2020; Akyol ve Mete, 2021; Hussain ve ark., 2022; Nathaniel ve ark., 2023; Özbek, 2023). Ancak, bazı çalışmalar (Bai ve ark., 2020; Çağlar, 2022; Doğan ve ark., 2022; Huang ve ark., 2023) çevresel teknolojilerin çevresel kalite üzerindeki etkisinin olumsuz olduğunu tespit etmiştir. Dolayısıyla, literatürde çevresel teknolojilerin çevresel kirlilik üzerindeki etkisine dair fikir birliği bulunmamaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde, çevresel bozulmanın ölçülmesinde vekil değişken olarak, çoğunlukla CO₂ emisyonunun kullanıldığı görülmektedir. Fakat, bu değişken toprak, madencilik ve ormancılık gibi çevresel göstergelerin hepsini kapsamadığı için zayıf bir gösterge olarak karşımıza çıkmaktadır (Ulucak ve Apergis, 2018, s. 21-22). CO₂ emisyonunun bu zayıf tarafını kapatmak için ekolojik ayak izi, çevresel kirliliğin ölçümünde kullanılmaya başlanmıştır. Ekolojik ayak izi, Rees'in (1992) de bahsettiği gibi insan temelli tüketimin çevre üzerindeki etkisini göstermenin yanı sıra, biyosferin yenilenme hızını antropojenik tüketimle karşılaştırır. Ekolojik ayak izinin, CO₂ emisyonuna göre avantajlı tarafları olsa da önemli bir dezavantaja sahiptir. Bu, ekolojik ayak izinin sadece çevresel bozulmanın talep tarafını kapsamaması, arz tarafını diğer bir değişle biyokapasite yönünü ihmal etmesidir. Bu bağlamda, bahsedilen bu dezavantajın giderilmesi için çevresel bozulmanın ölçülmesinde kullanılan ve çevrenin hem talep hem de arz yönünü yansıtan bir gösterge ortaya çıkmıştır (Pata ve Samour, 2022, s. 1). Bu gösterge, Siche vd. (2010) tarafından önerilen yük kapasitesi faktörü (LCF) olarak adlandırılmakta ve bir bölge veya ülkenin var olan yaşam tarzına dayalı olarak nüfusunu ne ölçüde sürdürebileceğini ölçmektedir. LCF, biyokapasitenin ekolojik ayak izine bölünerek elde edilir. LCF'de sürdürülebilirlik sınırı 1'dir. Eğer LCF < 1 ise çevresel koşulların sürdürülemez olduğu, LCF > 1 olması durumunda ise sürdürülebilir

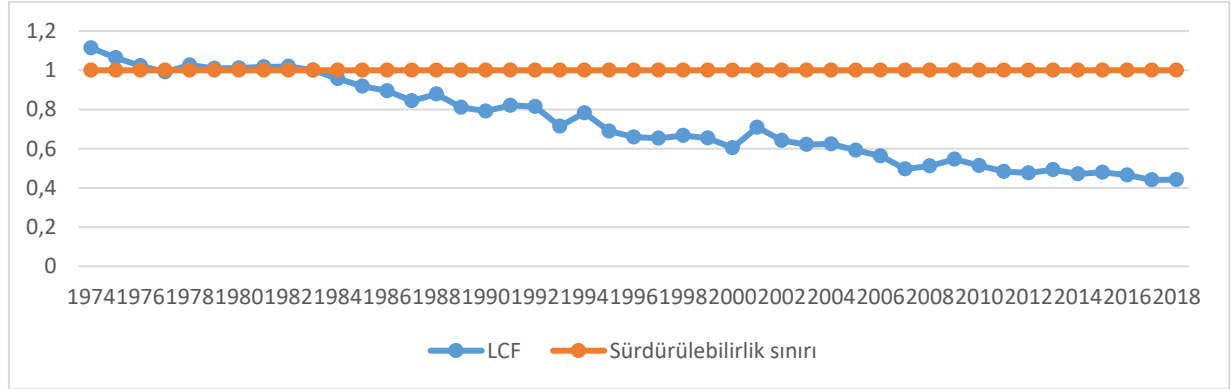
olduğuna karar verilir (Pata, 2021, s. 1-2). Bu yüzden, bu çalışmada çevresel kirliliğin ölçümünde LCF kullanılmıştır.

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda, bu çalışmanın amacı, Türkiye’de LCF üzerinde ekonomik büyümenin, çevresel teknolojilerin ve enerji tüketiminin uzun dönemli etkisini araştırmaktır. Bu çalışmada, Türkiye’nin çalışma kapsamına dahil edilmesinin çeşitli sebepleri vardır. Sebeplerden ilki Türkiye’nin, özellikle son yıllarda elde etmeyi başardığı rekor düzeyde ekonomik büyüme oranlarıdır. Öyle ki, Türkiye’de 2015 sabit ABD doları cinsinden 2000 yılındaki kişi başına gayri safi yurtiçi hasılası 6 bin dolar civarındayken, bu rakam 2022 yılı itibariyle 14 bin ABD doları civarına çıkmıştır (WB, 2023). Bu ekonomik başarıya rağmen Türkiye çevresel açıdan önemli sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Sorunlardan ilki, CO₂ emisyonudur. 2021 yılı itibariyle Türkiye 403.3 milyon ton (mt) CO₂ salınımı ile Avrupa bölgesinde Almanya’dan sonra en fazla kirletici ülke konumunda olmasındadır (BP, 2023). Sorunlardan ikincisi ise Türkiye’nin enerji tüketiminde yoğun olarak fosil yakıtları kullanmasıdır. WB (2023) tarafından yayınlanan istatistiklere göre Türkiye, 2015 yılında toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %86.8’ini fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Dahası, aşağıda sunulan Şekil.1’de de görüleceği üzere, Türkiye’de biyokapasite yıllar itibariyle gitgide ekolojik ayak izinden daha düşük seviyelere inmiştir. Bu durum, Türkiye’nin çevresel açıdan daha fazla tükettiğini, buna karşılık bu tüketimini yerine koyamadığını göstermektedir. Şekil 2.’de ise Türkiye’deki LCF’nin yıllar itibariyle izlediği seyir gösterilmiştir. Buna göre LCF 80’li yıllardan itibaren sürdürülebilirlik sınırının (yani, 1) çok altında kalmıştır. Dolayısıyla, Türkiye’de LCF açısından çevresel koşulların bu haliyle sürdürülmesi imkansız bir hale gelmiştir. Bu bağlamda, yukarıda bahsi geçen durumlar göz önüne alındığında eğer Türkiye bu haliyle devam eder ve herhangi bir önlem almaz ise ciddi ve geri döndürülemez çevresel problemlerle karşı karşıya kalabilir. Bahsedilen bu hususlar, Türkiye’nin niçin çalışma konusu yapıldığının arkasındaki temel motivasyonu oluşturmaktadır.

Şekil 1: Türkiye’deki çevresel göstergeler



Kaynak: Küresel Ayak İzi Ağı (GFN, 2023).

Şekil 2: Türkiye'de çevresel sürdürülebilirlik

Kaynak: Küresel Ayak İzi Ağı (GFN, 2023).

Türkiye'de çevresel teknolojilerin çevresel kirlilik üzerindeki etkisini araştıran çok az sayıda çalışma mevcuttur (Çağlar, 2022; Oğul, 2022; Özbek, 2023). Bu çalışmalarda, CO₂ emisyonu ve ekolojik ayak izi değişkenleri çevresel kirlilik göstergesi olarak kullanılmıştır. Dahası, mevcut literatürde LCF üzerinde çevresel teknolojilerin etkisini inceleyen sadece bir adet çalışmaya (Huang ve ark., 2023) rastlanılmıştır. Dolayısıyla, literatürde bir boşluk bulunmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma Türkiye'de LCF üzerinde çevresel teknolojilerin etkisini test ederek literatürdeki boşluğu doldurabilir. Bu doğrultuda, bu çalışmanın literatüre birkaç yönden katkı yapması beklenmektedir. i) Çalışma, bildiğimiz kadarıyla, çevresel teknolojilerin LCF üzerindeki uzun dönemli etkisini Türkiye için araştıran ilk çalışmadır. ii) Çalışma, LCF'yi çevresel kirlilik göstergesi olarak, çevrenin talep yönünü yansıtan ekolojik ayak izi ile birlikte arz yönünü yansıtan biyokapasiteyi dikkate almaktadır. Bunu, iki göstergeli birlikte alan LCF'yi kullanarak yapmaktadır. iii) Literatür kapsamında ele alınan çalışmalardan görülecek üzere, yapısal kırılmalar genellikle göz ardı edilmiştir. Bu çalışmada, birim kök, eşbütünlük ve uzun dönem katsayı tahminlerinde Fourier yaklaşımına dayalı metodolojik bir çerçeve benimsenerek, ihmal edilen yapısal kırılmalar dikkate alınmıştır. Böylece, güçlü ampirik sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

Makalenin geri kalanı takip eden şekildedir: Bölüm 2, literatür taramasını sunmaktadır. Bölüm 3, ampirik metodolojiyi açıklar. Bölüm 4, ampirik bulgular ve tartışma kısmını göstermektedir. Son olarak, Bölüm 5, makaleyi sonuçlandırmakta ve politika önerileri sunmaktadır.

2. Literatür taraması

Bu bölümde çalışmanın literatürü üçe ayrılarak sunulmuştur. İlk bölümde, ekonomik büyüme ile çevresel kirlilik arasındaki ilişki ele alınmıştır. İkinci bölümde, çevresel teknolojilerin çevresel kirlilik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üçüncü ve son bölümde ise enerji tüketimi ve çevresel kirlilik arasındaki ilişkiye bakılmıştır.

2.1. Ekonomik büyüme ve çevresel kirlilik

Grossman ve Krueger'in (1991) çalışmasından sonra ekonomik büyüme-çevresel kirlilik ilişkisi araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiş ve literatürde yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda, Apergis ve Payne (2010) 11 tane ülke için CO₂ emisyonu, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırdığı çalışmasında, EKC hipotezinin geçerli olmadığını ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu arttırdığını tespit etmiştir. Shahbaz vd. (2011) ise çalışmasında 1985-2006 dönem aralığında 110 tane gelişmiş ve gelişmekte olan ülke için panel EKC, panel SE ve panel RE yaklaşımlarını kullanarak ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonucu ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu arttırdığını göstermektedir. Benzer olarak, Kanjilal ve Ghosh (2013) Hindistan için EKC hipotezi çerçevesinde CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Yapısal kırılmaya izin veren eş bütünlük testlerinin kullanıldığı çalışmada, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu arttırdığı ve EKC hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu çalışmalara ilaveten, Neequaye ve Oladi (2015) gelişmekte olan ülkelerde, Tang ve Tan (2015) Vietnam'da, Bouznit ve Pablo-Romero (2016) Cezayir'de, Gökmenoğlu ve

Taspınar (2016) Türkiye’de, Solarin vd. (2017) Gana’da, Sulaiman ve Abdul-Rahim (2018) çalışmasında Nijerya’da, Wang ve Li (2019) Çin’ de, Musibau vd. (2020) Nijerya’da, Mujtaba ve Jena (2021) Hindistan’da, Abbasi vd. (2021) Tayland’da, Albayrak vd. (2022) ve Çamkaya vd. (2022) Türkiye’de, benzer olarak ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu üzerinde pozitif bir etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yılmaz ve Çamkaya (2022) ise N-11 ülkeleri için 1986-2016 dönem aralığında CIPS, AMG ve CCEMG yöntemlerini kullanmış oldukları çalışmada, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerinde uzun dönemde pozitif yönlü bir etkisinin olduğunu tespit etmiştir. Emir ve Karlılar (2023) çalışmasında, 1970-2017 dönem aralığındaki yıllık zaman serisi verilerini ve RALS-ADF, RALS-EG ve DOLS yaklaşımlarını kullanarak Türkiye’de ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini test etmiştir. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, Türkiye’de artan ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini arttırarak çevresel kirliliği arttırdığını ve dolayısıyla çevresel kaliteyi bozduğunu göstermektedir. Benzer bir bulgu, Kılınç (2023) Türkiye için yapmış olduğu çalışmanın sonucunda da tespit edilmiştir. Oluç (2023) ise benzer bir ilişkiyi E7 ülkeleri için 1992-2017 döneminde AMG ve CCEMG tahmincileriyle incelemiştir. AMG ve CCEMG tahmincileri, E7 ülkelerinde ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini arttırdığını göstermektedir. Ekolojik ayak izi ve ekonomik büyüme ilişkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, Özbek (2023) söz konusu ilişkiyi 1980-2018 dönemi için AMG yöntemi vasıtasıyla ASEAN-5 ülkelerinde test etmiştir. Ampirik bulgular, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini arttırdığını saptamıştır. Reza vd. (2023) ise benzer bir ilişkiyi Pakistan için 1960-2019 döneminde QARDL yaklaşımıyla test etmiştir. QARDL bulguları, ekolojik ayak izi üzerinde ekonomik büyümenin pozitif etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır.

Pata (2021) ise ABD ve Japonya örnekleminde, 1982-2016 dönemi için ilk defa LCF üzerinde ekonomik büyümenin etkisini, AARDL yaklaşımı vasıtasıyla araştırmıştır. Ampirik bulgular, ekonomik büyümenin her iki ülkede de LCF’yi azaltarak çevresel kaliteyi bozduğunu göstermektedir. Benzer bir çalışma, Pata ve Samour (2022) tarafından yapılmıştır. Fourier yaklaşımlarının kullanıldığı çalışmada, Fransa’da artan ekonomik büyümenin LCF’yi azalttığını ve dolayısıyla çevresel kaliteyi olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Sun vd. (2023) ise Çin’de 1985-2018 dönemi için DYARDL yaklaşımıyla benzer olarak ekonomik büyüme-LCF ilişkisini incelemiştir. Ampirik bulgular, artan ekonomik büyümenin çevresel kirliliği arttırarak çevresel kaliteyi çok olumsuz etkilediğini göstermektedir.

2.2. Çevresel teknoloji ve çevresel kirlilik

Mevcut literatür incelendiğinde, son dönemdeki çalışmalar çevresel kirliliğin azaltılması ve buna bağlı olarak çevresel kalitenin artırılması noktasında çevresel teknolojilerin ön plana çıktığı görülmektedir. Örneğin, Ulucak vd. (2020) 1994-2015 yılları arasında Brezilya, Çin, Hindistan ve Güney Afrika’da CO₂ emisyonu üzerinde çevresel teknolojilerin etkisini panel yumuşak geçişli regresyon yaklaşımıyla test etmiştir. Yazarlar, CO₂ emisyonu üzerinde çevresel teknolojilerin azaltıcı yönlü bir etkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Benzer bir çalışma, Wang vd. (2020) tarafından G-7 ülkelerinde 1990-2017 dönemi için CS-ARDL yaklaşımıyla yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, G-7 ülkelerinde çevre dostu teknolojilerin CO₂ emisyonunu azaltma noktasında çok önemli olduğunu doğrulamaktadır. Ali vd. (2021) 10 tane en büyük CO₂ emisyonu salınımı yapan ülkeler için 1990-2017 dönem aralığındaki yıllık panel verisi ve CS-ARDL yaklaşımını kullanmış olduğu çalışmasında, CO₂ emisyonu üzerinde çevresel teknolojilerin etkisini incelemiştir. CS-ARDL bulguları, hem uzun hem de kısa dönemde CO₂ emisyonu üzerinde çevresel teknolojilerin önemli bir miktarda azaltıcı bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, pek çok çalışma (Akyol ve Mete, 2021; Chien ve ark., 2021; Ding ve ark., 2021; Liu ve ark., 2021; Abid ve ark., 2022; Doğan ve ark., 2022; Hussain ve ark., 2022; Khan ve ark., 2022; Nathaniel ve ark., 2023) çevresel teknolojilerin CO₂ emisyonlarını azaltarak çevresel kalitenin artırılması noktasında önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmalara ilaveten, benzer bir çalışma Özbek (2023) tarafından Türkiye’de 1994-2021 dönemi için ARDL sınır testi prosedürü kullanılarak yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgulara göre Türkiye’de çevresel teknolojilerin artması CO₂ emisyonları azaltmaktadır.

Ahmad vd. (2021) ise çevresel kirlilik göstergesi olarak ekolojik ayak izini kullandığı çalışmada, G-7 ülkelerinde çevresel kirliliğin azaltılması noktasında çevresel teknolojilerin etkisini 1990-2016 dönemi için CS-ARDL yaklaşımını kullanarak incelemiştir. Ampirik bulgular, G-7 ülkelerinde çevresel

teknolojilerin ekolojik ayak izini arttırdığını ve buna bağlı olarak çevresel kaliteyi olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Benzer bir çalışma, Hussain ve Dogan (2021) tarafından BRICS ülkeleri için yapılmıştır. Yazarlar, BRICS ülkelerinde çevresel bozulmanın azaltılması noktasında çevre dostu teknolojilerin önemli bir etkisinin olduğunu tespit etmiştir. Oğul (2022) Türkiye’de çevresel teknolojik inovasyonların ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmasında da benzer bir bulgu elde etmiştir. Son olarak, Javed vd. (2023) tarafından İtalya için DYARDL yaklaşımıyla yapılan çalışmada da çevresel teknolojilerin ekolojik ayak izini azaltarak çevresel kaliteyi iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Yukarıdaki çalışmaların aksine, Bai vd. (2020) çalışmasında, Çin’de çevresel teknolojilerin yüksek gelir eşitsizliğinin olduğu grupta CO₂ emisyonlarını arttırdığını ve buna bağlı olarak çevresel kaliteyi bozduğunu tespit etmiştir. Benzer bir çalışma, Villanthenkodath ve Mahalik (2022) tarafından Hindistan’da 1980-2018 dönem aralığı için ARDL yaklaşımıyla yapılmıştır. ARDL yaklaşımından elde edilen sonuçlar, teknolojik yeniliğin uzun vadede atmosferik emisyonları teşvik ederek Hindistan’da çevresel kaliteyi düşürdüğünü belgelemektedir. Huang vd. (2023) ise AARDL yaklaşımını kullanarak, 1975-2021 dönemi için Hindistan’da çevre dostu teknolojilerin çevresel kalite üzerindeki etkisini test etmiştir. Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular, çevre dostu teknolojilerin LCF’yi azaltarak çevresel kaliteyi bozduğunu işaret etmektedir.

2.3. Enerji tüketimi ve çevresel kirlilik

Çevresel kirlilik üzerinde enerji tüketiminin etkisi literatürde sıkça tartışılmaktadır. Bu etkinin, genellikle pozitif olduğu ve artan enerji tüketiminin çevresel kirliliği olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu bağlamda, Bozkurt ve Okumuş (2015) çalışmasında Türkiye’de 1966-2011 dönem aralığında yapısal kırılmaya izin veren birim kök, eşbütünleşme ve tahmin yaklaşımları vasıtasıyla CO₂ emisyonu üzerinde enerji tüketiminin etkisini test etmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuca göre artan enerji tüketimi CO₂ emisyonunu arttırarak çevresel kirliliği çok olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmaya ilaveten, Karış (2017), Çetin ve Yüksel (2018) ve Çoban ve Özkan (2022) benzer olarak Türkiye’de CO₂ emisyonu üzerinde enerji tüketiminin etkisini incelemiştir. Çalışmaların hepsinde, enerji tüketimindeki artışın CO₂ emisyonunu arttırarak çevresel kaliteyi bozduğu saptanmıştır. Benzer bir çalışma, Çetin ve Ecevit (2015) tarafından Sahra-Altı Afrika ülkeleri için yapılmıştır. Panel veri tekniklerinin kullanıldığı çalışma, enerji tüketiminin çevresel kirliliğin temel belirleyicilerinden olduğunu ortaya koymuştur. G-7 ülkeleri örneğinde Özkök ve Polat (2018) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise yine artan enerji tüketiminin çevresel kirliliği arttırdığı ve buna bağlı olarak çevresel kalitenin çok olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Efeoğlu (2022) çalışmasında benzer bir sonucun E-7 ülkeleri için ortaya çıktığını belirtmiştir.

Nathaniel vd. (2019) ise Güney Afrika için 1965-2014 dönemi yıllık zaman serileri verilerini ve Bayer Hanck kointegrasyon testi ve ARDL, FMOLS, DOLS ve CCR tahmincilerini kullandığı çalışmasında, ekolojik ayak izi üzerinde enerji tüketiminin etkisini incelemiştir. Bütün tahminciler uzun dönemde artan enerji tüketiminin ilginç bir şekilde ekolojik ayak izini azalttığını göstermektedir. Bu çalışmanın aksine, Gülmez (2021) çalışmasında 1971-2015 döneminde G-7 ülkeleri için enerji tüketimi-ekolojik ayak izi ilişkisini araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuca göre uzun dönemde artan enerji tüketimi ekolojik ayak izini arttırarak çevresel kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Benzer şekilde, Nathaniel vd. (2021) yapmış olduğu çalışmada N-11 ülkelerinde 1990-2016 dönemi için enerji tüketimi-ekolojik ayak izi ilişkisini test etmiştir. Kesitsel bağımlılığı dikkate alan panel birim kök, eşbütünleşme ve tahmincilerin kullanıldığı çalışmada, enerji tüketiminin ekolojik ayak izini arttırdığı görülmektedir. Kutlar vd. (2022) MINT ülkeleri, Yağlıkara (2022) ASEAN-5 ve Eregha vd. (2023) N-11 ülkeleri için yapmış olduğu çalışmalarda da benzer şekilde artan enerji tüketiminin ekolojik ayak izini arttırdığı ve bu bağlamda çevresel kalitenin olumsuz bir şekilde etkilendiği ortaya koymuştur.

3. Araştırma metodolojisi

3.1. Veri seti

Bu çalışmada, 1974-2019 dönem aralığındaki yıllık veriler kullanılarak Türkiye’de, LCF üzerinde ekonomik büyümenin, çevresel teknolojilerin ve enerji tüketiminin etkisi ampirik olarak test edilmiştir. Çalışma yılının 1974-2019 dönem aralığıyla sınırlandırılmış olmasının nedeni çevresel teknoloji değişkenine ait maksimum gözlem sayısına bu tarihler arasında erişilebiliyor olmasıdır. Aşağıdaki Tablo 1’de, çalışma kapsamında kullanılan değişkenlere ait bilgiler sunulmuştur.

Tablo 1: Değişkenler

Sembol	Değişkenlerin tanımlanması	Birim	Kaynak
LCF	Yük kapasitesi faktörü	Biyokapasite/ekolojik ayak izi (kişi başı gha)	GFN (2023)
GDP	Kişi başı GSYH	2015 sabit ABD \$	WDI (2023)
ECO	Çevre teknolojileri ile ilgili patentler	Sayı	OECD (2023)
EC	Enerji tüketimi	Kişi başına (gigajoule)	BP (2023)

3.2. Model

Çalışmanın ampirik analizi için kullanılan model, Abid vd. (2022), Çağlar (2022), Doğan vd. (2022) ve Oğul (2022) çalışmalarından hareketle oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda, bağımlı değişken olarak CO₂ emisyonu ve ekolojik ayak izi (EF) çevresel kirlilik göstergesi olarak kullanılmıştır. Fakat, bu çalışmada çevresel kirlilik göstergesi olarak LCF kullanılmıştır. Çalışmada, değişen varyans probleminden kaçınmak ve çift logaritmik kalıp kullanarak değişkenlere ait esneklikleri elde etmek için bütün değişkenlerin doğal logaritması alınmıştır. Oluşturulan ampirik model aşağıdaki gibidir:

$$\ln LCF_t = \gamma_0 + \gamma_1 \ln GDP + \gamma_2 \ln ECO + \gamma_3 \ln EC + e_t \quad (1)$$

burada; ln = doğal logaritmayı, t = zamanı, γ_0 = sabit terimi, γ_1 , γ_2 ve γ_3 = LCF üzerinde sırasıyla GDP, ECO ve EC'nin uzun dönem esnekliklerini ve e_t ise hata terimini gösterir. γ_1 'in işareti, Pata and Balsalobre-Lorente'nin (2022) de belirttiği gibi ölçek etkisinin baskın olduğu durumda negatif, teknik etkinin baskın olduğu durumda pozitif olur. Bu durum, ülkelerin gelişmişlik seviyelerine bağlıdır. Gelişmekte olan ülkeler, ihracata konu olan mal sepetini çeşitlendirirken daha fazla enerji talep edecektir. γ_2 'nin işareti negatif olarak beklenmektedir. Çünkü, çevre dostu teknolojilerdeki artış ile birlikte çevreye zararları oldukça yüksek olan bir takım unsurlarda (atıklar, kirlenici emisyonlar gibi) azaltma beklenir. Bu unsurlardaki azalma ile birlikte çevresel kalite artabilir. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjilerin tüketilmesinin doğal bir sonucu olarak çevre üzerindeki olumsuz baskı artacaktır. Bu yüzden, γ_3 'nin işareti pozitif olarak beklenmektedir. Yukarıda ifade edilen beklenen işaretler CO₂ emisyonu ve EF gibi çevresel kirlilik göstergelerinin kullanılması durumunda geçerlidir. Çevresel kirlilik göstergesinin LCF olması durumunda, katsayı yorumlamaları CO₂ emisyonu ve EF'nin tam tersi şeklinde yapılmalıdır.

3.3. Yöntem

Perron (1989) çalışmasında birim kök testlerinde, yapısal kırılmaların dikkate alınmaması durumunda sapmalı sonuçların ortaya çıkabileceğini vurgulamıştır. Bu çalışmadan sonra, literatürde yapısal kırılmaları dikkate alan Zivot ve Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997) ve Narayan ve Popp (2010) gibi çok sayıda birim kök testi geliştirilmiştir. Bu testler, yapısal kırılmaları kukla değişkenler vasıtasıyla yakalayabildikleri için sadece ani kırılmaları ve önceden belirlenen sayıda yapısal kırılmaları dikkate alır. Bu eksikliği giderebilmek için Omay (2015) çalışmasında, standart Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testine Fourier fonksiyonlarını ekleyerek kesirli frekanslı Fourier ADF birim kök testini geliştirmiştir. Bu test, hem ani hem yumuşak kırılmaları hem de seride oluşabilecek bütün yapısal kırılmaları dikkate alan ve son dönemde geliştirilmiş güçlü bir birim kök testidir.

Yapısal kırılmalar sadece birim kök testlerinde değil, aynı zamanda eşbütünleşme testlerinde de görülebilir. Eğer bu kırılmalar dikkate alınmazsa benzer sapmalı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu bağlamda, Gregory ve Hansen (1996) ve Hatemi-J (2011) gibi eşbütünleşme testleri, uzun dönemli ilişkilerin analizinde yapısal kırılmaları dikkate almaktadır. Bu testler, tıpkı yukarıda bahsedilen birim kök testlerinde olduğu gibi yapısal kırılmaları kukla değişkenler vasıtasıyla modeller. Bu bağlamda, bu testlerde kukla değişkenler 0 ve 1 gibi iki değer almasından ötürü, sadece ani kırılmalar dikkate

alınmaktadır. Ayrıca, bu yöntemlerde de genellikle önceden belirlenen sayıda yapısal kırılma ya da kırılmalara izin verilmektedir. Bu noktadan hareketle, Banerjee vd. (2017), Gallant'ın (1981) Fourier fonksiyonundan yararlanarak standart ADL testini geliştirip, Fourier ADL (FADL) yöntemini ortaya atmıştır. Bu yöntemin birkaç avantajı vardır. Avantajlardan ilki, yöntem bilinmeyen bir zaman ve sayı ile yapısal kırılmalar dikkate alınarak uzun dönemli tahmin yapılabilir. İkincisi, yöntemde yapısal kırılmalar, zamanla değişen sabit bir terimle ($d(t)$) yakalandığı için kukla değişkenin kullanılmasından dolayı ortaya çıkabilecek olan güç kayıpları oluşmamaktadır. Üçüncü ve sonuncusu, yöntemde sadece ani kırılmalar değil yumuşak kırılmalar da dikkate alınır.

FADL yönteminde kullanılan ve tek frekansa sahip Fourier yaklaşımı:

$$d(t) = \alpha_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) \quad (2)$$

biçiminde yazılabilir. Burada, k = frekans sayısını, t = trendi, T = gözlem sayısını, \sin ve \cos trigonometrik terimleri gösterir ve $\pi = 3.1416$ 'dır. Standart ADL testine denklem (2)'nin eklenmesi sonucunda, FADL yöntemi elde edilebilir. Bu yöntem, aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\Delta y = \alpha_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \gamma_3 (y_{t-1} + \omega x_{t-1}) + \gamma_4 \sum_{i=1}^q \Delta y_{t-i} + \gamma_5 \sum_{i=1}^p \Delta x_{t-i} + v_t \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlik (3) de gösterim kolaylığı açısından sadece tek bir regresörün olduğu varsayılmıştır. Eşitlik (3) deki, α_0 , γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 ve γ_5 parametreleri, i , belirli bir gecikme uzunluğunu, q ve p maksimum gecikme uzunluklarını, ve v_t hata terimini göstermektedir. Buradaki 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 ($H_0 : \gamma_3 = 0$), eşbütünleşmenin olduğunu gösteren alternatif hipoteze karşı ($H_1 : \gamma_3 \neq 0$) sınanır. Eğer, γ_3 'ün t-değeri olan¹ Banerjee vd. (2017) tarafından oluşturulmuş AIC değerlerinden küçükse, boş hipotez reddedilerek eşbütünleşmenin olduğuna karar verilir.

4. Ampirik bulgular ve tartışma

Ekonometrik analiz safhasında geçmeden önce değişkenlerin bütünleşme mertebelerine bakılmıştır. Çalışmada, değişkenlerin bütünleşme mertebesinin tespit etmek için Augmented Dickey-Fuller (ADF) (Dickey ve Fuller, 1979) ve Fourier ADF (FADF) (Omay, 2015) birim kök testlerinden yararlanılmıştır. FADF, standart ADF testine Fourier fonksiyonlarını dahil ederek birden çok yapısal kırılmayı dikkate almaktadır. Tablo 2'de hem ADF hem de FADF sonuçları sunulmuştur. Tablo 2'deki ADF ve FADF sonuçlarına göre bütün değişkenlerin birinci farkı alındığında durağan hale geldikleri, yani I(1) oldukları görülmektedir. Bu sonuçlardan hareketle, FADL yöntemi uygulanabilir.

¹ $\left(t_{ADL}^F \left(\hat{k} \right) \right)$

Tablo 2: ADF ve FADF Birim Kök Test Bulguları

Değişkenler	Fourier ADF		ADF	
	Düzy		Düzy	Birinci fark
	F test	Test istatistiği	Test istatistiği	Test istatistiği
lnLCF	8.418		-0.106 {2} (0.942)	-7.335*** {1} (0.000)
lnGDP	7.847		-0.435 {0} (0.982)	-6.427*** {0} (0.000)
lnECO	10.725**	-3.415 {9} [0.5]	-1.316 {1} (0.614)	-11.085*** {0} (0.000)
lnEC	6.317		-1.234 {0} (0.651)	-7.043*** {0} (0.000)

Not: *,%10, **,%5, ***,%1. (), { } ve [] içindeki sayılar p değerlerini, gecikme uzunluklarını ve frekansları gösterir. F testi ve Fourier ADF testi için kritik değerler Omay (2015) ve Bozoklu vd. (2020) çalışmalarından elde edilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 3, FADL eşbütünlüşme yönteminin sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre, $t_{ADL}^F(\hat{k})$ istatistiği kurulan modelde, uzun dönemli eşbütünlüşme ilişkisini doğrulamaktadır. Yani, Türkiye’de lnLCF ile ekonomik büyüme, çevresel teknolojikler ve enerji tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişki vardır.

Tablo 3: Fourier-ADL Eşbütünlüşme Bulguları

Model	$t_{ADL}^F(\hat{k})$	\hat{k}	Gecikmeler	AIC	Sonuç
lnLCF= f(lnGDP, lnECO, lnEC)	-5.148***	5	ADL(1, 1, 3, 1)	-3.281	eşbütünlüşik

Not: ***, %1 anlamlılık düzeyini gösterir. Fourier ADL (2017) eşbütünlüşme testi için kritik değerler ($r = 3, k = 5$) sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesinde -4,66, -3,94 ve -3,57'dir. r = bağımsız değişken ve k = frekans sayısını göstermektedir.

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin elde edilmesinin ardından, bu ilişkiye ait uzun dönem katsayıları öncelikle Fourier FMOLS (FFMOLS) ile tahmin edilmiş ve bu tahmin sonuçlarının sağlamlık sınavası Fourier DOLS (FDOLS) ve Fourier CCR (FCCR) yaklaşımlarıyla yapılmıştır. Uzun dönem katsayılarına Fourier terimleri eklenerek, hem ani hem de yumuşak kırılmalar dikkate alınmış ve daha güçlü ampirik sonuçların elde edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Tablo 4: Fourier FMOLS Yaklaşımıyla FADL Uzun Dönem Tahmin Bulguları

Fourier FMOLS				
Değişkenler	Katsayılar	Standart hata	t-istatistik	p-değeri
lnGDP	-0.191***	0.068	-2.819	0.007
lnECO	-0.030***	0.008	-3.823	0.000
lnEC	-0.391***	0.059	-6.575	0.000
c	2.882***	0.450	6.400	0.000
cos	0.006	0.007	0.842	0.405
sin	-0.012*	0.007	-1.856	0.071

Not: ***, ** ve *: sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Yukarıda Tablo 4’de FFMOLS bulguları sunulmuştur. Buna göre, uzun dönemde lnLCF üzerinde lnGDP, lnECO ve lnEC’nin etkisi istatistiksel olarak %1 önem düzeyinde anlamlıdır. lnGDP’deki artış lnLCF’yi %0.191 oranında azaltmaktadır. Benzer şekilde, lnECO ve lnEC de sırasıyla lnLCF üzerinde, %0.030 ve %0.391 oranında negatif etkilidir.

Tablo 5: Fourier DOLS Yaklaşımıyla FADL Uzun Dönem Tahmin Bulguları

Fourier DOLS				
Değişkenler	Katsayılar	Standart hata	t-istatistik	p-değeri
lnGDP	-0.165**	0.065	-2.539	0.016
lnECO	-0.034***	0.008	-4.382	0.000
lnEC	-0.392***	0.054	-7.307	0.000
c	2.688***	0.444	6.049	0.000
cos	0.009	0.006	1.524	0.137
sin	-0.012**	0.006	-2.193	0.036

Not: ***, ** ve *: sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 5’deki FDOLS’den elde edilen bulgulara göre ise bütün bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken lnLCF üzerindeki etkisinin %1 önem düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir. Bulgular, lnGDP, lnECO ve lnEC’deki %1’lik bir artışın uzun dönemde lnLCF üzerinde sırasıyla, %0.165, %0.034 ve %0.392 oranında negatif etkisinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 6: Fourier CCR Yaklaşımıyla FADL Uzun Dönem Tahmin Bulguları

Fourier CCR				
Değişkenler	Katsayılar	Standart hata	t-istatistik	p-değeri
lnGDP	-0.191***	0.069	-2.762	0.009
lnECO	-0.031***	0.008	-3.632	0.000
lnEC	-0.384***	0.059	-6.465	0.000
c	2.859***	0.472	6.055	0.000
cos	0.005	0.007	0.792	0.433
sin	-0.012*	0.007	-1.831	0.075

Not: ***, ** ve *: sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı göstermektedir.

Son olarak, yukarıdaki Tablo 6’da FCCR tahmin bulguları sunulmuştur. Tablo 6’daki bulgular, lnLCF üzerinde lnGDP, lnECO ve lnEC’nin uzun dönem etkisinin %1 önem düzeyinde istatistiki bakımdan anlamlı olduğunu göstermektedir. Uzun dönemli katsayılara bakıldığında ise lnGDP’deki %1’lik bir artışın lnLCF’yi %0.191 oranında azalttığı görülmektedir. Benzer şekilde, uzun dönemde lnECO’daki %1’lik bir artış da lnLCF’yi %0.031 oranında azaltmaktadır. Dahası, uzun dönemli katsayılar lnEC’de meydana gelecek %1’lik bir artışın da benzer şekilde lnLCF’yi %0.384 oranında azaltacağını ortaya koymaktadır. FFMOLS tahmincisinin sağlamlık sınaması için yapılan FDOLS ve FCCR yaklaşımlarından elde edilen bulguları, FFMOLS bulgularıyla paralellik göstermektedir. Bu durum, yapılan tahminlerin tutarlı olduğunu göstermektedir.

FADL’den elde edilen eşbütünlüşme katsayılarının tahminine bakıldığında ise her üç tahminciye göre de ekonomik büyümede meydana gelecek artışın lnLCF’yi azaltarak çevresel kirliliği arttırdığını ve buna bağlı olarak çevresel kaliteyi olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu sonuç, Tang ve Tan (2015), Bouznit ve Pablo-Romero (2016), Gökmenoğlu ve Taspinar (2016), Solarin vd. (2017), Sulaiman ve Abdul-Rahim (2018), Wang ve Li (2019), Musibau vd. (2020), Abbasi vd. (2021), Pata (2021), Çamkaya vd. (2022), Pata ve Samour (2022), Emir ve Karlılar (2023), Kılınç (2023), Reza vd. (2023)

ve Sun vd. (2023) çalışmalarıyla tutarlıdır. Türkiye’de artan ekonomik büyümenin çevresel kirliliğe sebep olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü, Türkiye üretim sürecinde yoğun olarak fosil yakıtları kullanmaktadır. Bu bağlamda, ülkenin ekonomik olarak büyümesi beraberinde yoğun fosil yakıt tüketimini getirmekte ve bunun bir sonucu olarak da çevresel kirlilik artmaktadır.

Çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç ise çevresel teknolojilerin Türkiye’de çevresel kaliteyi bozmasıdır. Bu sonuç, Türkiye’de çevresel teknolojilerin çevresel kirliliği azaltacak ve buna bağlı olarak çevresel kaliteyi arttıracak seviyeye gelmediğini ima etmektedir. Çalışmadan elde edilen bu bulgu, Ulucak vd. (2020), Akyol ve Mete (2021), Ali vd. (2021), Khan vd. (2022) ve Nathaniel vd.’nin (2023) aksine, Bai vd. (2020), Villanthenkodath ve Mahalik (2022) ve Huang vd.’nin (2023) çalışmalarının sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Son olarak uzun dönem tahmin sonuçları, enerji tüketimindeki artışın InLCF’yi azaltarak çevresel kaliteyi çok olumsuz etkilediğini göstermektedir. Enerji tüketiminin çevresel kaliteyi bozması, Türkiye gini fosil yakıtlara bağımlı olan bir ülke için sürpriz değildir. Çünkü, artan enerji tüketimi çevreye daha fazla kirliletecek ve bu bağlamda çevresel kalite çok olumsuz etkilenecektir. Çalışma kapsamında elde edilen bu sürpriz olmayan bulgu, Bozkurt ve Okumuş (2015), Karış (2017), Çetin ve Yüksel (2018), Gülmez (2021), Nathaniel vd. (2021), Çoban ve Özkan (2022), Efeoğlu (2022), Kutlar vd. (2022), Yağlıkara (2022) ve Eregha vd.’nin (2023) çalışmalarının bulgularıyla aynı doğrultudadır.

5. Sonuç ve politika önerileri

Bu çalışmanın amacı, 1974-2019 döneminde Türkiye için LCF üzerinde ekonomik büyümenin, çevresel teknolojilerin ve enerji tüketiminin uzun dönemli etkisini yapısal kırılmaları dikkate alan ve yakın zamanda geliştirilen FADL yaklaşımıyla araştırmaktır. FADL eşbütünleşme ilişkisinden hareketle elde edilen katsayıların tahmini için fourier temelli FMOLS tahmincisi kullanılmıştır. Bu tahmincinin sağlamlık sınaması yine fourier temelli DOLS ve CCR yaklaşımlarıyla yapılmıştır. Her üç tahminciden elde edilen bulgular şu şekildedir: I) Ekonomik büyümede meydana gelecek artış, InLCF’yi azaltarak çevresel kirliliği arttıracak ve buna bağlı olarak çevresel kalite olumsuz etkilenecektir. II) Uzun dönemde, çevresel teknolojilerdeki artış beklenenin aksine, Türkiye’de çevresel kaliteyi olumsuz etkileyecektir. III) Enerji tüketimindeki artış, uzun dönemde InLCF’yi azaltarak çevresel kaliteyi çok olumsuz etkileyecektir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, politika yapıcılar için önemli çıkarımlar sunmaktadır. İlk olarak, Türkiye gibi fosil yakıtlara bağımlı olan bir ülkede artan ekonomik büyümenin beraberinde fosil yakıt talebini arttırması, Türkiye için toplam nihai enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir ve çevre-dostu enerjinin payının ivedilikle arttırılması gerektiğinin çok açık bir göstergesidir. Bunun için politika yapıcılar, yenilenebilen enerjiden yenilenebilir enerjiye geçişin sağlanması için gerekli adımları atmalıdır. Örneğin, yoğun fosil yakıt tüketen sektörler belirlenerek bunların yenilenebilir enerji altyapılarının tesisi bizzat kamu tarafından sağlanmalıdır. Ayrıca, mevcut sektörlerde yenilenebilir enerji kullanan şirketlere dönük gerekli vergi indirimi, sübvansiyon politikaları uygulanarak yenilenebilir enerjinin daha fazla kullanımı teşvik edilmelidir. Bunların yanı sıra, yenilenebilir enerjiye dönük ar-ge çalışması yapan kurum ve kuruluşlar tespit edilmeli ve bunlara destek sağlanmalıdır. Böylece, Türkiye’de ekonomik büyüme göz ardı edilmeden çevresel kirliliği azaltmak mümkün olacaktır. İkinci olarak, Türkiye’de çevresel teknolojilerin çevresel kalite üzerindeki olumsuz etkilemektedir. Bu durum, Türkiye’de çevresel teknolojilerin çevre kalitesini iyileştirecek düzeye erişemediğinin bir göstergesi olarak sunulabilir. Bu bağlamda, politika yapıcılar çevresel teknoloji alanına dönük genel bütçeden bu alanda çalışan paydaşlar için ödenek tahsis etmelidir. Bu tahsis edilen ödeneklerin bazıları sübvansiyon bazıları faizsiz olarak geri ödemeli şeklinde olabilir. Ayrıca, Türkiye’ye gelmesi muhtemel uluslararası yatırımcıları çevresel teknoloji alanına yönlendirecek politikalar geliştirilmelidir. Son olarak, Dünya Bankası veya IMF gibi uluslararası kuruluşlardan çevresel teknoloji alanında yatırım yapılmak üzere çeşitli anlaşmalar sağlanmalıdır. Yenilenebilir enerji ve çevresel teknolojilerin kullanım alanlarının artması, ekolojik ayak izi üzerindeki baskıyı azaltabilir. İlaveten, yenilenebilir kaynakların kullanımındaki artış, yenilenebilen kaynaklara yönelik talebin azalmasına neden olabilir. Bu durum, biyokapasitenin artması sonucunu doğurabilir. Bahsedilen bu iki durumun ortak bir sonucu olarak, LCF ve buna bağlı olarak çevresel kalite artabilir.

Bu çalışma, bazı temel kısıtlara sahiptir. Öncelikle, çalışma sadece Türkiye örneğinde gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, bu çalışma çevre ekonomisi üzerine araştırma yapmak isteyen araştırmacılar için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Çalışmanın temel odak noktasında yer alan yük kapasitesi faktörü yeni ve kapsamlı bir çevresel göstergedir. Buradan hareketle, gelecekteki çalışmalarda çevresel teknolojiler yenilenebilir enerji değişkeni ile birlikte farklı ülke veya ülke grupları için güncel tekniklerle çalışılabilir.

Kaynakça

- Abbasi, K. R., Adedoyin, F. F., Abbas, J., & Hussain, K. (2021). The Impact of Energy Depletion and Renewable Energy on CO2 Emissions in Thailand: Fresh Evidence From the Novel Dynamic ARDL Simulation. *Renewable Energy*, 180, 1439-1450.
- Abid, A., Mehmood, U., Tariq, S., & Haq, Z. U. (2022). The Effect of Technological Innovation, FDI, and Financial Development on CO2 Emission: Evidence from the G8 Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9.
- Abid, M. (2017). Does Economic, Financial and Institutional Developments Matter for Environmental Quality? A Comparative Analysis of EU and MEA Countries. *Journal of Environmental Management*, 188, 183-194.
- Ahmad, M., Jiang, P., Murshed, M., Shehzad, K., Akram, R., Cui, L., & Khan, Z. (2021). Modelling the Dynamic Linkages Between Eco-Innovation, Urbanization, Economic Growth and Ecological Footprints for G7 Countries: Does Financial Globalization Matter?. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102881.
- Akyol, M., & Mete, E. (2021). Çevresel Teknolojik İnovasyonların CO2 Emisyonu Üzerindeki Etkisi: OECD Ülkeleri Örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590.
- Albayrak, Ö. K., Topal, S., & Çamkaya, S. (2022). The Impact of Economic Growth, Renewable Energy, Non-Renewable Energy And Trade Openness On The Ecological Footprint and Forecasting in Türkiye: An Case of the ARDL and NMGM Forecasting Model. *Alphanumeric Journal*, 10(2), 139-154.
- Ali, S., Dogan, E., Chen, F., & Khan, Z. (2021). International Trade and Environmental Performance in Top Ten-Emitters Countries: the role of Eco-innovation and Renewable Energy Consumption. *Sustainable Development*, 29(2), 378-387.
- Altıntaş, H., & Kassouri, Y. (2020). Is the Environmental Kuznets Curve in Europe related to the Per-capita Ecological Footprint or CO2 Emissions?. *Ecological Indicators*, 113, 106187.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable Energy Consumption and Growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32(6), 1392-1397.
- Aydin, M., Degirmenci, T., & Yavuz, H. (2023). The Influence of Multifactor Productivity, Research and Development Expenditure, Renewable Energy Consumption on Ecological Footprint in G7 Countries: Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Environmental Modeling & Assessment*, 1-16.
- Bai, C., Feng, C., Yan, H., Yi, X., Chen, Z., & Wei, W. (2020). Will Income Inequality Influence the Abatement Effect of Renewable Energy Technological Innovation on Carbon Dioxide Emissions?. *Journal of Environmental Management*, 264, 110482.
- 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.
- Bouznit, M., & Pablo-Romero, M. D. P. (2016). CO2 Emission and Economic Growth in Algeria. *Energy Policy*, 96, 93-104.
- Bozkurt, C., & Okumuş, İ. (2015). Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Ticari Serbestleşme ve Nüfus Yoğunluğunun CO2 Emisyonu Üzerindeki Etkileri:Yapısal

- Kırılmalı Eşbütünleşme Analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(32), 23-35.
- Bozoklu, S., Yilanci, V., & Gorus, M. S. (2020). Persistence in Per Capita Energy Consumption: a Fractional İntegration Approach with a Fourier Function. *Energy Economics*, 91, 104926.
- BP .(2023). British Petroleum. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- Chien, F., Hsu, C. C., Andlib, Z., Shah, M. I., Ajaz, T., & Genie, M. G. (2022). The Role of Solar Energy and Eco-innovation in Reducing Environmental Degradation in China: Evidence from QARDL Approach. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(2), 555-571.
- Çağlar, A. E. (2022). Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Araştırılmasında Çevresel Patentlerin Rolü: Genişletilmiş ARDL ile Kanıtlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(4), 913-929.
- Çamkaya, S., Polat, İ. H., & Polat, Ü. (2022). Are Foreign Direct Investments Effective on Environmental Quality in Turkey? An Approach with Non-linear ARDL Method. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 7(17), 30-46.
- Çetin, M., & Ecevit, E. (2015). Urbanization, Energy Consumption and CO2 Emissions in Sub-Saharan Countries: A Panel Cointegration and Causality Analysis. *Journal of Economics and Development Studies*, 3(2), 66-76.
- Çetin, M., & Yüksel, Ö. (2018). Türkiye Ekonomisinde Enerji Tüketiminin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 169-186.
- Çoban, M. N., & Özkan, O. (2022). Türkiye'de Enerji Tüketimi, Ticari Açıklık, CO2 Emisyonları ve Kirlilik Sığınağı Hipotezi: Yeni Dinamik ARDL Simülasyonlarından Kanıtlar. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2), 480-507.
- Destek, M. A., Ulucak, R., & Dogan, E. (2018). Analyzing the Environmental Kuznets Curve for the EU countries: The Role of Ecological Footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29387-29396.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Ding, Q., Khattak, S. I., & Ahmad, M. (2021). Towards Sustainable Production and Consumption: Assessing the Impact of Energy Productivity and Eco-innovation on Consumption-based Carbon Dioxide Emissions (CCO2) in G-7 Nations. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 254-268.
- Doğan, B., Ghosh, S., Hoang, D. P., & Chu, L. K. (2022). Are Economic Complexity and Eco-Innovation Mutually Exclusive to Control Energy Demand and Environmental Quality in E7 and G7 Countries?. *Technology in Society*, 68, 101867.
- Efeoğlu, R. (2022). Çevresel Kuznets Eğrisi Çerçevesinde Sanayileşme, Yenilenebilir Enerji, Enerji Tüketimi ve Finansal Gelişmenin CO2 Salınımı Üzerindeki Etkisi. *Alanya Akademik Bakış*, 6(2), 2103-2115.
- Emir, F., & Karlılar, S. (2023). Application of RALS Cointegration Test Assessing the Role of Natural Resources and Hydropower Energy on Ecological Footprint in Emerging Economy. *Energy & Environment*, 34(4), 764-779.
- Eregha, P. B., Nathaniel, S. P., & Vo, X. V. (2023). Economic Growth, Environmental Regulations, Energy Use, and Ecological Footprint Linkage in The Next-11 Countries: Implications for Environmental Sustainability. *Energy & Environment*, 34(5), 1327-1347.

- 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.
- GFN (2023). Global Footprint Network. <https://data.footprintnetwork.org/? ga=2.49451686.1037141276.1673609427-2011084777.1635584313#/>.
- Gökmenoğlu, K., & Taspınar, N. (2016). The Relationship between CO2 Emissions, Energy Consumption, Economic Growth and FDI: The Case of Turkey. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 25(5), 706-723.
- Gregory, A. W., & Hansen, B. E. (1996). Practitioners Corner: Tests for Cointegration in Models with Regime and Trend Shifts. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 58(3), 555-560.
- Grossman G, & Krueger A (1991) Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. Cambridge, MA.
- Gülmez, A., Özdilek, E., & Karakaş, D. N. (2021). Ekonomik Büyüme, Ticari Açıklık ve Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkileri: G7 Ülkeleri İçin Panel Eşbütünleşme Analizi. *Econder International Academic Journal*, 5(2), 329-342.
- Haouas, I., Haseeb, M., Azam, M., & Rehman, Z. U. (2023). Do Demographic Factors Affect the Environment? Empirical Evidence from the Middle East and North African Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-19.
- Hatemi-j, A. (2008). Tests for Cointegration with Two Unknown Regime Shifts with an Application to Financial Market Integration. *Empirical Economics*, 35(3), 497-505.
- Huang, Y., Villanthenkodath, M. A., & Haseeb, M. (2023). The Nexus between Eco-friendly Technology and Environmental Degradation in India: Does the N or Inverted N-shape Load Capacity Curve (LCC) Hypothesis Hold?. *Natural Resources Forum*, 47, 276-297.
- Hussain, M., & Dogan, E. (2021). The Role of Institutional Quality and Environment-related Technologies in Environmental Degradation for BRICS. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127059.
- Hussain, M., Mir, G. M., Usman, M., Ye, C., & Mansoor, S. (2022). Analysing the Role of Environment-related Technologies and Carbon Emissions in Emerging Economies: A Step Towards Sustainable Development. *Environmental Technology*, 43(3), 367-375.
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F., & Javed, A. (2023). The Impact of Green Technology Innovation, Environmental Taxes, and Renewable Energy Consumption on Ecological Footprint in Italy: Fresh Evidence from Novel Dynamic ARDL Simulations. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122534.
- Kanjilal, K., & Ghosh, S. (2013). Environmental Kuznet's Curve for India: Evidence from Tests for Cointegration with Unknown Structural Breaks. *Energy Policy*, 56, 509-515.
- Karış, Ç. (2017). Türkiye'de Enerji Tüketimi, CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1960-2013 Dönemi. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (34), 169-197.
- Khan, M. K., Babar, S. F., Oryani, B., Dagar, V., Rehman, A., Zakari, A., & Khan, M. O. (2022). Role of Financial Development, Environment-related Technologies, Research and Development, Energy Intensity, Natural Resource Depletion, and Temperature in Sustainable Environment in Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 622-638.
- Kılınç, E. C. (2023). Yenilenebilir Enerji ve Fosil Yakıt Tüketiminin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 731-749.
- Kutlar, A., Gulmez, A., Kabasakal, A., & Kutlar, S. (2022). Ecological Footprint, Energy Usage, and Economic Progress Relationship: the MINT Countries. *Economic research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 4457-4480.

- Lin, B., Omoju, O. E., Nwakeze, N. M., Okonkwo, J. U., & Megbowon, E. T. (2016). Is the Environmental Kuznets Curve Hypothesis a Sound Basis for Environmental Policy in Africa?. *Journal of Cleaner Production*, 133, 712-724.
- Liu, J., Nathaniel, S. P., Chupradit, S., Hussain, A., Köksal, C., & Aziz, N. (2022). Environmental Performance and International Trade in China: The Role of Renewable Energy and Eco-innovation. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(3), 813-823.
- Lumsdaine, R. L., & Papell, D. H. (1997). Multiple Trend Breaks and the Unit-root Hypothesis. *Review of Economics and Statistics*, 79(2), 212-218.
- Mujtaba, A., & Jena, P. K. (2021). Analyzing Asymmetric Impact of Economic Growth, Energy Use, FDI Inflows, and Oil Prices on CO2 Emissions through NARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 30873-30886.
- Musibau, H. O., Shittu, W. O., & Ogunlana, F. O. (2021). The Relationship between Environmental Degradation, Energy Use and Economic Growth in Nigeria: New Evidence from Non-linear ARDL. *International Journal of Energy Sector Management*, 15(1), 81-100.
- Narayan, P. K., & Popp, S. (2010). A New Unit Root Test with Two Structural Breaks in Level and Slope at Unknown Time. *Journal of Applied Statistics*, 37(9), 1425-1438.
- Nathaniel, S. P., Murshed, M., & Bassim, M. (2021). The Nexus between Economic Growth, Energy Use, International Trade and Ecological Footprints: The Role of Environmental Regulations in N11 Countries. *Energy, Ecology and Environment*, 6(6), 496-512.
- Nathaniel, S. P., Solomon, C. J., Ajide, K. B., Ahmed, Z., & Fakher, H. A. (2023). Striving Towards Carbon Neutrality in Emerging Markets: The Combined Influence of International Tourism and Eco-friendly Technology. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 1-16.
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Adediran, A., Sharma, G., Shah, M., & Adeleye, N. (2019). Ecological Footprint, Urbanization, and Energy Consumption in South Africa: Including the Excluded. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27168-27179.
- Neequaye, N. A., & Oladi, R. (2015). Environment, Growth, and FDI Revisited. *International Review of Economics & Finance*, 39, 47-56.
- OECD. (2023). Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://stats.oecd.org/>.
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de Çevresel Teknolojik İnovasyonlar Ekolojik Ayak İzini Azaltıyor Mu? ARDL Sınır Testi Analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, (INIJOSS), 11(2) 409-427.
- Oluç, İ. (2023). Ekonomide Yapısal Dönüşüm Ekolojik Ayak İzini Azaltabilir Mi? E7 Ülkeleri Üzerine Bir Analiz. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 7(1), 74-91.
- Omay, T. (2015). Fractional Frequency Flexible Fourier Form to Approximate Smooth Breaks in Unit Root Testing. *Economics Letters*, 134, 123-126.
- Özbek, S. (2023). Sürdürülebilir Çevre: Çevre Teknolojileri ve Vergileri Kapsamında Ekonometrik Bir İnceleme. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(Prof. Dr. Muammer ERDOĞAN Anısına Kongre Özel Sayısı), 63-91.
- Pata, U. K. (2021). Do renewable Energy and Health Expenditures Improve Load Capacity Factor in the USA and Japan? A New Approach to Environmental Issues. *The European Journal of Health Economics*, 22(9), 1427-1439.
- Pata, U. K., & Balsalobre-Lorente, D. (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., & Samour, A. (2022). Do Renewable and Nuclear Energy Enhance Environmental Quality in France? A New EKC Approach with the Load Capacity Factor. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104249.
- Perron, P. (1989). The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1361-1401.
- Raza, S. A., Qamar, S., & Ahmed, M. (2023). Asymmetric Role of Non-renewable Energy Consumption, ICT, and Financial Development on Ecological Footprints: Evidence from QARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 20746-20764.
- Rees, W. E. (1992). Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- Sancar, C., & Polat, M. A. (2018). CO2 Emisyonu-Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: G7 Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 33-46.
- Shahbaz, M., Nasreen, S., & Afza, T. (2011). Environmental Consequences of Economic Growth and Foreign Direct Investment: Evidence from Panel Data Analysis, *MPRA Working Paper 16*.
- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of Ecological Footprint and Energy Analysis As a Sustainability Indicator of Countries: Peru As Case Study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10), 3182-3192.
- Solarin, S. A., Al-Mulali, U., Musah, I., & Ozturk, I. (2017). Investigating the Pollution Haven Hypothesis in Ghana: An Empirical Investigation. *Energy*, 124, 706-719.
- Sulaiman, C., & Abdul-Rahim, A. S. (2018). Population Growth and CO2 Emission in Nigeria: A Recursive ARDL Approach. *Sage Open*, 8(2), 2158244018765916.
- Sun, A., Bao, K., Aslam, M., Gu, X., Khan, Z., & Uktamov, K. F. (2023). Testing Load Capacity and Environmental Kuznets Curve Hypothesis for China: Evidence from Novel Dynamic Autoregressive Distributed Lags Model. *Gondwana Research*.
- Tang, C. F., & Tan, B. W. (2015). The Impact of Energy Consumption, Income and Foreign Direct Investment on Carbon Dioxide Emissions in Vietnam. *Energy*, 79, 447-454.
- Ulucak, R., & Apergis, N. (2018). Does Convergence Really Matter for the Environment? An Application Based on Club Convergence and on the Ecological Footprint Concept for the EU Countries. *Environmental Science & Policy*, 80, 21-27.
- Ulucak, R., Danish, & Kassouri, Y. (2020). An Assessment of the Environmental Sustainability Corridor: Investigating the Non-linear Effects of Environmental Taxation on CO2 Emissions. *Sustainable Development*, 28(4), 1010-1018.
- Villanthenkodath, M. A., & Mahalik, M. K. (2022). Technological Innovation and Environmental Quality Nexus in India: Does Inward Remittance Matter?. *Journal of Public Affairs*, 22(1), e2291.
- Wang, L., Chang, H. L., Rizvi, S. K. A., & Sari, A. (2020). Are Eco-innovation and Export Diversification Mutually Exclusive to Control Carbon Emissions in G-7 Countries?. *Journal of Environmental Management*, 270, 110829.
- Wang, Z. X., & Li, Q. (2019). Modelling the Nonlinear Relationship between CO2 Emissions and Economic Growth Using a PSO Algorithm-based Grey Verhulst Model. *Journal of Cleaner Production*, 207, 214-224.
- WDI. (2023). World Bank Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

- Yağlıkara, A. (2022). Ekonomik, Politik ve Sosyal Küreselleşmenin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkileri: ASEAN-5 Ülkeleri Örneği. *Fiscaoeconomia*, 6(2), 656-676.
- Yılmaz, Ö., & Çamkaya, S. (2022). CO2 Emisyonu ve Ekolojik Ayak İzi Bağlamında N-11 Ülkelerinde Çevresel Kuznets Eğrisinin Test Edilmesi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 915-937.
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (2002). Further Evidence on the Great Crash, the Oil-price Shock, and the Unit-root Hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(1), 25-44.

Research Article

Türkiye’de Çevresel Teknolojilerin Çevresel Kirlilik Üzerindeki Etkisi: Fourier Yaklaşımlarından Ampirik Kanıtlar

The Impact of Environmental Technologies on Environmental Pollution in Turkey: Empirical Evidence from Fourier Approximations

Serhat ÇAMKAYA

Dr. Öğr. Üyesi, Kafkas Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

serhatcamkaya36@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4373-1922>

Extensive Summary

Introduction

The aim of this study is to investigate the long-run impact of economic growth, environmental technologies and energy consumption on LCF in Turkey. There are several reasons for including Turkey in the scope of this study. The first reason is Turkey's record economic growth rates, especially in recent years. In fact, while the gross domestic product per capita in Turkey in 2000 was around 6 thousand US dollars in constant 2015 US dollars, this figure increased to around 14 thousand US dollars by 2022 (WB, 2023). Despite this economic success, Turkey has faced significant environmental challenges. The first of the problems is CO₂ emission. As of 2021, Turkey is the second most polluting country in the European region after Germany with 403.3 million tonnes (mt) of CO₂ emissions (BP, 2023). The second problem is Turkey's heavy use of fossil fuels in energy consumption. According to the statistics published by WB (2023), Turkey's total final energy consumption in 2015 was 86.8 percent fossil fuels. Moreover, as can be seen in Figure 1 below, biocapacity in Turkey has gradually decreased over the years to levels lower than its ecological footprint. This situation shows that Turkey consumes more environmentally, but cannot replace this consumption. Figure 2 shows the course of LCF in Turkey over the years. Accordingly, the LCF has remained far below the sustainability threshold (i.e. 1) since the 80s. Therefore, it has become impossible to sustain the environmental conditions in Turkey in terms of LCF. In this context, given the above-mentioned circumstances, if Turkey continues as it is and does not take any measures, it may face serious and irreversible environmental problems. These issues constitute the main motivation behind why Turkey is the subject of this study.

Model

In this study, the Fourier ADL approach developed by Banerjee et al. (2017) is used. Single frequency Fourier approximation used in the FADL method:

$$d(t) = \alpha_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2k\pi t}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2k\pi t}{T}\right)$$

can be written in the form. Here, k = number of frequencies, t = trend, T = number of observations, sin and cos are trigonometric terms and $\pi = 3.1416$. Moreover, Fourier FMOLS, Fourier DOLS and Fourier CCR estimators are used to estimate the long-run coefficients obtained from the cointegration relationship.

Empirical findings and discussion

The results of the FADL cointegration method confirm the long-run cointegration relationship in the established model. That is, there is a long-run relationship between lnLCF and economic growth, environmental technologies and energy consumption in Turkey. After finding a long-run relationship between the variables, the long-run coefficients of this relationship were first estimated by Fourier FMOLS (FFMOLS) and the robustness of these estimation results were tested by Fourier DOLS (FDOLS) and Fourier CCR (FCCR) approaches. By adding Fourier terms to the long-run coefficients, both sudden and smooth breaks are taken into account and stronger empirical results are obtained.

According to all three estimators, the increase in economic growth increases environmental pollution by decreasing lnLCF and thus negatively affects environmental quality. This result is in line with Tang and Tan (2015), Bouznit and Pablo-Romero (2016), Gökmenoğlu and Taspınar (2016), Solarin et al. (2017), Sulaiman and Abdul-Rahim (2018), Wang and Li (2019), Musibau et al. (2020), Abbasi et al. (2021), Pata (2021), Çamkaya et al. (2022), Pata and Samour (2022), Emir and Karlılar (2023), Kılınç (2023), Reza et al. (2023) and Sun et al. (2023). It is an expected result that increasing economic growth in Turkey will cause environmental pollution. Because, Turkey intensively uses fossil fuels in the production process. In this context, the economic growth of the country brings with it intensive fossil fuel consumption and as a result, environmental pollution increases.

Another result obtained from the study is that environmental technologies deteriorate environmental quality in Turkey. This result implies that environmental technologies in Turkey have not reached the level to reduce environmental pollution and accordingly increase environmental quality. This finding is in line with the results of Bai et al. (2020), Villanthenkodath and Mahalik (2022) and Huang et al. (2023), in contrast to Ulucak et al. (2020), Akyol and Mete (2021), Ali et al. (2021), Khan et al. (2022) and Nathaniel et al. (2023).

Finally, the long-run estimation results show that the increase in energy consumption has a very negative impact on environmental quality by reducing lnLCF. The deterioration of environmental quality by energy consumption is not surprising for a fossil fuel dependent country like Turkey. Because, increasing energy consumption will pollute the environment more and in this context, environmental quality will be affected very negatively. This unsurprising finding is in line with the findings of Bozkurt and Okumuş (2015), Kariş (2017), Çetin and Yüksel (2018), Gülmez (2021), Nathaniel et al. (2021), Çoban and Özkan (2022), Efeoğlu (2022), Kutlar et al. (2022), Yağlıkara (2022) and Eregha et al. (2023).

Conclusion and policy recommendations

The findings of the study have important implications for policy makers. Firstly, the fact that increasing economic growth in a fossil fuel dependent country like Turkey increases the demand for fossil fuels is a clear indication that the share of renewable and environmentally friendly energy in total final energy consumption for Turkey should be increased urgently. For this, policy makers should take the necessary steps to ensure the transition from non-renewable to renewable energy. For example, sectors with intensive fossil fuel consumption should be identified and their renewable energy infrastructures should be provided by the public sector. In addition, companies using renewable energy in existing sectors should be encouraged to use renewable energy more by applying the necessary tax reduction and subsidy policies. In addition to these, institutions and organisations conducting R&D studies on renewable energy should be identified and support should be provided to them. Thus, it will be possible to reduce environmental pollution in Turkey without neglecting economic growth. Secondly, environmental technologies in Turkey have a negative impact on environmental quality. This situation can be presented as an indicator that environmental technologies in Turkey have not reached the level to improve environmental quality. In this context, policy makers should allocate funds from the general budget for environmental technology for stakeholders working in this field. Some of these allocations could be in the form of subsidies and some of them could be in the form of interest-free repayments. In addition, policies should be developed to direct international investors who are likely to come to Turkey to the field of environmental technology. Finally, various agreements should be secured from international organisations such as the World Bank or the IMF to invest in environmental technology. Increasing the use of renewable energy and environmental technologies can reduce the pressure on the ecological

footprint. In addition, increased utilisation of renewable resources may lead to a reduction in demand for non-renewable resources. This may result in an increase in biocapacity. As a joint result of these two situations, LCF and consequently environmental quality may increase.

The study has some limitations. The study was conducted only in the sample of Turkey. In addition, this study offers several opportunities for researchers who want to conduct research on environmental economics. The load capacity factor used in the study is a new and comprehensive environmental indicator and the impact of environmental technologies in the context of load capacity factor can be studied in different samples in future studies.