



Fosil Kaynak Tüketiminin Karbon Ayak İzine Etkisi: Türkiye'den Kanıtlar

Hakan YILDIZ^{1*} A. Yusuf YÜKSEL², Ümit ÖZDEMİR

¹ Harran Üniversitesi, Bozova Meslek Yüksekokulu, Çevre Teknolojileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

² Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Tunceli, Türkiye

Geliş/Received: 20. 01.2021

Kabul/Accepted: 17.09.2021

Yayın/Published: 31.12.2021

Atıf yapmak için: Yıldız, H., Yüksel, Y.A. & Özdemir, Ü. (2021). Fosil Kaynak Tüketiminin Karbon Ayak İzine Etkisi: Türkiye'den Kanıtlar. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 6(4), 467-474.

How to cite: Yıldız, H., Yüksel, Y.A. & Özdemir, Ü. (2021). The Impact of the Fossil Resource Consumption on the Carbon Footprint: Evidence from Turkey. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 6(4), 467-474.

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-2181-7226>

ID: <https://orcid.org/0000-0003-0670-6664>

ID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-9608>

***Sorumlu yazarın:**

Hakan YILDIZ

Harran Üniversitesi, Bozova Meslek Yüksekokulu, Çevre Teknolojileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

✉: hyildiz@harran.edu.tr

Öz: Küresel iklim değişikliği, son yıllarda yaşanan sağlık ve çevre krizlerinin en önemli nedenidir. Hızla artan enerji talebinin, yüksek oranda fosil kaynak tüketiminden (FKT) karşılanması bu problemin ana kaynağıdır. Türkiye karbon ayak izi (KAİ) verilerindeki artış bu tüketimin en önemli göstergesidir. Bu çalışmada 1971-2017 dönemi, KAİ verileri ve FKT arasındaki ilişki Johansen eşbütünlük analizi ile incelenmiştir. Yapılan test istatistiklerinin sonuçlarına göre iki değişken arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu ilişkinin kısa dönemde etkilerini görmek için hata düzeltme modeli uygulanmış ve test sonucunda hata düzeltme değeri de anlamlı çıkmıştır. Böylelikle iki değişken arasında uzun dönemli ilişkinin tutarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca eşbütünlük testinin sınaması yapılmış bulunan sonuçlar ile iki değişken arasında kurulan eşbütünlüğün doğru olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak FKT'nin, KAİ'de neden olduğu artış istatistiksel olarak da anlamlı bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Fosil kaynak tüketimi, iklim değişikliği, johansen eşbütünlük testi, karbon ayak izi.

The Impact of the Fossil Resource Consumption on the Carbon Footprint: Evidence from Turkey

Abstract: Global climate change is the most important reason for the health and the environmental crises which are experienced in recent years. The main source of this problem is that the rapidly increasing energy demand is supplied by consumption highly of fossil resources (FRC). The increase of the data on Turkey carbon footprint (CF) is the most significant indicator for this consumption. In this study, the relationship between CF data and FRC for the period of 1971-2017 was examined by the Johansen cointegration analysis. According to these results of the test statistics, it was seen that there was a long-term relationship between the two variables. At the same time, the error correction model was applied to view in the short-term effects of this relationship, and the error correction value was discovered to be meaningful at the end of the test. Thus, it was determined that the long-term relationship between the two variables was consistent. Besides, the cointegration test was examined then, it was achieved that the cointegration between its result and the two variables were correct. As a result, the increase of the CF is caused by the consumption of the FRC was discovered to be statistically meaningful.

Keywords: Carbon footprint, climate change, fossil resource consumption, Johansen cointegration test.

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler (BM) raporunda ilk kez yer alan sürdürülebilir kalkınma kavramı 'Doğanın ve gelecek kuşakların kendi gereksinimlerine cevap verme

yeteneklerini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarımızı temin etmek ve kalkınmak.' olarak tanımlanmıştır. Raporda ayrıca sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmada en önemli

unsurun enerji olduğu belirtilmiştir (UN, 1987). Enerji kaynakları, insan toplumunun hayatta kalması ve gelişmesi için kritik öneme sahiptir (Qin vd., 2020). Teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ve insan yaşam standartlarında meydana gelen değişiklikler nedeniyle enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. 2040 yılına kadar küresel enerji tüketiminin % 48 artacağı ve bu tüketimin % 78'nin fosil yakıtlar tarafından karşılanacağı tahmin edilmektedir (Paramati vd., 2017). Fosil yakıtlar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hem enerji üretim sistemlerinin hem de ulaşım sistemlerinin temelini oluşturmaktadır (Martins vd., 2018). Fosil kaynak tüketiminde (FKT) meydana gelen artış; enerjiye ulaşım sıkıntısı, küresel enerji fiyatlarında dalgalanma ve karbon salınımı gibi olumsuz etkileri de beraberinde getirmiştir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık % 65'nin FKT'den kaynaklandığını göstermektedir (IPCC, 2014). Son yıllarda yapılan geniş kapsamlı çalışma sonuçlarına göre dünyanın sürdürülebilir kalkınmasına yönelik en büyük tehdit artan sera gazı emisyonlarından kaynaklanan kötüleşen çevre kalitesidir (Khan vd., 2021). İklim değişikliği sosyo-ekonomik sistemlerin işleyişi, insan sağlığı ve refahı üzerinde önemli zararlı etkilere sahip olan, fiziksel çevrede veya biyotada meydana gelen, büyük küresel bir tehdittir (IPCC, 2019; UN, 1992). Ayrıca IPCC'nin yayınladığı bir raporda iklim değişikliği ile mücadelede acil ekonomik ve politik değişiklikler olmadıkça, dünya üzerinde birçok doğal güzelliğin yok olacağı, ciddi oranda yetersiz beslenme, açlık ve gıda kıtlığının ortaya çıkacağı vurgulanmıştır (IPCC, 2019).

Küresel tehdit haline gelen bu problemin etkilerini azaltmak için, BM 'Dünyamızı dönüştürmek: 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi' başlıklı raporunda sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SKH) kapsamında ekonomik, çevre ve sosyal konuları içeren 17 hedef belirlemiştir (UN, 2015). Bu hedeflerden biri de iklim değişikliği ve etkileriyle mücadele için acil önlem alınmasıdır (Salvia vd., 2019). Çevre kalitesi üzerine olumsuz etkisi olan iklim değişikliği ve küresel ısınma ile ilgili politikaların uygulanmasında en önemli faktör ve kaynaklardan biri ekolojik ayak izi (EAİ) verileridir (Monserate, 2020). EAİ, bir nüfusun yaşam biçimi ve tüketim modeli ile tüketilen doğal kaynakların aralarındaki ilişkileri belirlemek için kullanılır (Rees, 1992). EAİ, çevresel bozulmayı ölçmek için altı ana değişkeni (karbon, tarım arazisi, orman, otlak, balıkçılık ve yapılanmış alan ayak izi) hesaba katar (Qayyum vd., 2021).

EAİ verilerinde en etkin bileşen karbon ayak izidir (KAİ). KAİ, Küresel ölçekte ve Türkiye'nin toplam ayak izindeki payı en büyük olan, aynı zamanda en hızlı artış gösteren ayak izi bileşenidir (WWF, 2012).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de FKT'nin çevre kalitesi ve insan sağlığı üzerine etkilerini tespit etmektir. Çalışmada öncelikli olarak FKT'nin çevre kalitesi ve insan sağlığı üzerine etkileri kısa bir literatür özeti ile anlatılacaktır. Sonraki aşamada ise 1971-2017 dönemi FKT verileri ile Türkiye KAİ verileri arasındaki ilişki istatistiksel olarak Johansen eşbütünleşme testi ile sınanacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Fosil Kaynak Tüketiminin İnsan Sağlığı ve Çevre Kalitesine Etkisi: 2018'de 7,4 milyar olan dünya nüfusunun, 2050'de 9,7 milyar ve 2100 yılında 10,8 milyar olması tahmin edilmektedir (UN, 2019). Yaşayan sistemler, devamlılıklarını sürdürmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Canlı sistemler için gerekli olan enerji oranı ve türü, bu sistemlerin boyutu ve karmaşıklığı arttıkça artar (Lidicker, 2020). Hızla artan nüfus yüksek enerji talebini de beraberinde getirmiştir.

Enerji, modern teknoloji çağında, yalnızca ekonomik büyümenin değil, aynı zamanda bir ülke için temel stratejik rezervdir (Rauf vd., 2020). Sanayi devriminden sonra endüstrileşmenin hızla yayıldığı dünyada enerji, temel girdi olmuştur (Kowalski vd., 2019). Gelişen teknoloji, enerji tüketim modelleri, enerji politikası ve iş sektörlerinde değişen öncelikler, enerji sektöründe büyük bir dönüşüme işaret etmekle beraber, önümüzdeki 40 yılın geçmişten farklı olacağını gösteriyor (Kober vd., 2020). Son yıllarda dünya geneli enerji tüketimindeki ciddi artış bunu desteklemektedir. 2018 yılında dünya toplam enerji tüketimi % 2,2 büyüme oranıyla 9937 Mtep (milyon ton petrol enerjisi) olarak rapor edilmiştir. Ayrıca 1990-2018 yılları arasında dünyada, kaynağına göre enerji arzı verilerine göre en yüksek payı sırasıyla petrol, kömür, doğalgaz, biyoyakıtlar ve atık, nükleer, hidroelektrik ve rüzgâr-güneş enerjileri takip etmiştir (IEA, 2020). Birincil enerji kaynağı (gıda, yem ve yakacak odun) olarak biyokütleyle dayalı bir tarımsal enerji rejiminden fosil yakıt bazlı bir rejime geçiş, sanayi devriminin kilit unsurlarından biridir (Kowalski vd., 2019).

Fosil yakıtlar, hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren kömür, petrol ve doğal gaz gibi doğal enerji kaynaklarıdır (Bilim ve Teknik, 2016). Fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak hem yerel hem de küresel ölçekte ekosistem bozulması, son yıllarda net olarak belgelenmiştir (Petrov vd., 2017). Fosil kaynakların kullanılması sonucu atmosfere verilen CO₂ çevre kalitesi üzerine olumsuz etkisi olan sera gazı emisyonlarının 2/3'lük kısmını oluşturmaktadır. Sera gazları, atmosferin kızılötesi radyasyonu emen ve yeniden yayan hem doğal hem de antropojenik gaz bileşenlerini (% 36-70 Su buharı, % 9-26 Karbon dioksit, % 4-9 Metan, % 3-7 Ozon) ifade eder (UN, 1992). Atmosferde en çok biriken sera gazı olan CO₂ küresel çevre sorunlarından biri olan iklim değişikliğinin

yanı sıra okyanusların asitlenmesi gibi diğer ekolojik sorunlara da sebep olmaktadır (WWF, 2012).

İklim değişikliği, fosil yakıt tüketimi, arazi kullanım değişiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri sonucunda atmosfere salınan sera gazındaki hızlı artışın, doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi ile yerkürenin ortalama yüzey sıcaklığındaki artışı ve iklimde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir (MGM, 2017).

İklim değişikliği, tarım, ormancılık, deniz ve okyanus yaşamı, biyoçeşitlilik, enerji, su kaynakları, hava kalitesi, ekonomi, insan sağlığı, ülkeler arası çatışma gibi birçok alanda ciddi problemlere sebep olmaktadır (Cai vd., 2020). Birçok bilim adamı iklim değişikliğinin neden olduğu sorunlar hakkında çalışmalar yapmıştır. Örneğin iklim değişikliğinin, ekosistem ve biyoçeşitlilik (Sintayehu vd., 2020), hava kalitesi (Coelho vd., 2020), üretim tesisleri (Arbex & Batu, 2020), balık ve balıkçılık (Koomson vd., 2020), atıksu artıma tesisleri (Hughes, 2020) ve tarımsal üretim (Buono, 2021) gibi farklı birçok alanda etkilerinin araştırıldığı çalışmalar mevcuttur.

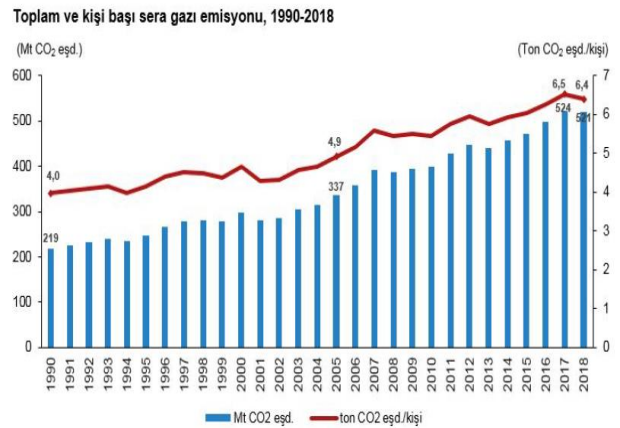
Özellikle son yıllarda yapılan bazı çalışmaların ortak sonucu, iklim değişikliğinin, insan yaşamını ve sağlığını çeşitli şekillerde etkilediğidir. (Haines & Ebi, 2019; Nicholas vd., 2020). İklim değişikliği kaynaklı; aşırı sıcaklıkların ölüm ve hastalık oranı üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri, ultraviyole ışınım, sel, kuraklık gibi mekanizmaları insan sağlığını etkilemektedir (Haines vd., 2005). Örneğin sel felaketi yaşanan bir bölgede insanların ruh sağlıklarının bozulduğu tespit edilmiştir (Hrabok vd., 2020). Başka bir çalışmada aşırı sıcaklık ve ultraviyole ışınım maruz kalan bireylerin deri ve cilt sağlıklarının son yıllarda daha da fazla olduğu tespit edilmiştir (Schachtel vd., 2020). Daha farklı bir çalışmada ise iklim değişikliğinin neden olduğu sebepler kapsamında, insanlarda akciğer kanserinin iklimsel değişiklik ile nedenselliği araştırılmıştır (Hiatt & Beyeler, 2020).

Dünya sağlık örgütünün verilerine göre yılda yedi milyondan fazla insan -dünyadaki ölüm sayısının 1/8'ine denk gelmekte- hava kirliliğinden ölmektedir. Bu ölümlerin % 90'ı, fosil kaynakların tüketilmesinden oluşan, iklim değişikliğine bağlı dış ortam kalitesinin, sınır değerinin altında olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin 2030 ile 2050 yılları arasında yetersiz beslenme, sıtma, ishal ve sıcak stresi nedeniyle diğer ölümlere ek yılda yaklaşık 250,000 insanın ölümüne neden olması beklenmektedir.

Türkiye'de Mevcut Durum: Bir önceki yıla göre % 1,39'luk bir artış hızı ile 2019 yılında Türkiye nüfusu 83 milyon olmuştur. Türkiye hızla gelişen bir ülke ve enerjiye olan ihtiyacı da hızla artmaktadır (Özgül vd., 2020). Türkiye'nin enerji politikası, artan nüfusun taleplerini karşılama, enerji ithalatı ve çevresel zararların

azaltılmasına yönelik sürekli olarak gelişmektedir (IEA, 2016).

Küresel enerji talebinde yaşanan artışa benzer şekilde 2018 yılında Türkiye nihai enerji tüketim miktarı bir önceki yıla göre 1,9 artış ile 105 mtep olmuştur (IEA, 2020a). Ayrıca 1990-2018 yılları arasında Türkiye'de kaynağına göre enerji arzı tüm Dünyada olduğu gibi fosil ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanmıştır (IEA, 2020b). Türkiye sera gazı emisyonları 2018 yılında bir önceki yıla göre % 0,5 azalarak 20,9 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğer (eşd.) olarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Emisyonlarda en yüksek payı % 71,6 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla % 12,5 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, % 12,5 ile tarımsal faaliyetler ve %3,4 ile atık takip etmiştir. (TUİK, 2020).



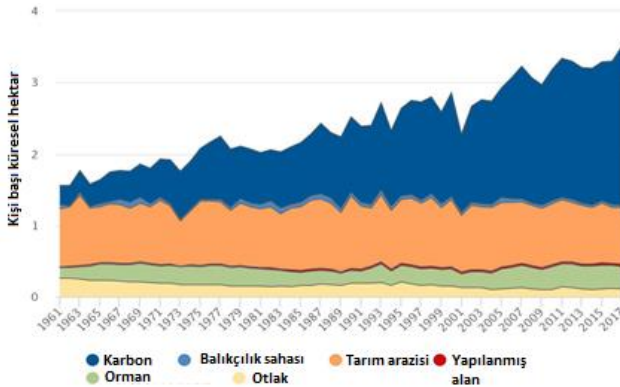
Şekil 1. 1990-2018 Yılları Türkiye CO₂ Emisyonları (TUİK, 2020).

Figure 1. CO₂ Emissions 1990-2018 Year of Turkey.

Sera gazı emisyonlarının çevre kalitesindeki etkilerini, EAİ tüketim verileri ile daha net olarak görmekteyiz. EAİ tüketim verileri, mevcut teknoloji ve kaynak yönetimiyle bir bireyin veya topluluğun tükettiği kaynakları üretmek ve oluşturduğu atığı bertaraf etmek için gerekli olan ve biyolojik açıdan verimli toprak ve su alanıdır "küresel hektar" (kha) ile ifade edilir (WWF, 2012). 1961-2017 yılları arasında Türkiye'nin EAİ verilerine göre 1961 yılında kişi başı EAİ tüketimi 1,56 kha iken, 2017'de yaklaşık olarak % 56 civarında gerçekleşen bir artış ile bu rakam 3,51 kha olmuştur (GFP, 2020a). EAİ hesaplamalarının yapılmasında arazi türlerine göre, karbon, tarım arazisi, orman, otlak, yapılaşmış alan ve balıkçılık sahası ayak izi olarak altı ayrı kategoride incelenmiştir (Şekil 2).

1961-2017 yılları arasında Türkiye EAİ verilerinde en fazla artış KAİ'nde olmuştur. 2017 yılında KAİ % 64'lük (kişi başı 2,23 kha) orana ulaşmıştır. Onu sırasıyla tarım, orman, otlak, balıkçılık sahası ve yapılanmış alan ayak izleri takip etmiştir.

KAİ verisi kişi başı atmosfere salınan CO₂'yi tutmak için gerekli arazi anlamına gelmektedir (Jóhannesson vd., 2020). Ayak İzi hesaplarında en yüksek emilimi sağlayan arazi türü olan orman alanı cinsinden hesaplanır (WWF, 2012). Türkiye'de EAİ bileşenlerinden KAİ veri sonuçlarında meydana gelen bu artış, küresel ölçekte olduğu gibi, Türkiye'de de sürdürülebilir olmayan bir yaşam biçiminin işaretidir (WWF, 2012).



Şekil 2. Türkiye EAİ bileşenleri (GFP, 2020b)

Figure 1. Turkey EF components

İlk bölümde kapsamlı olarak ele alınan yüksek enerji talebinin fosil kaynaklardan sağlanması tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de ciddi problemlere sebep olmaktadır.

MATERYAL VE METOT

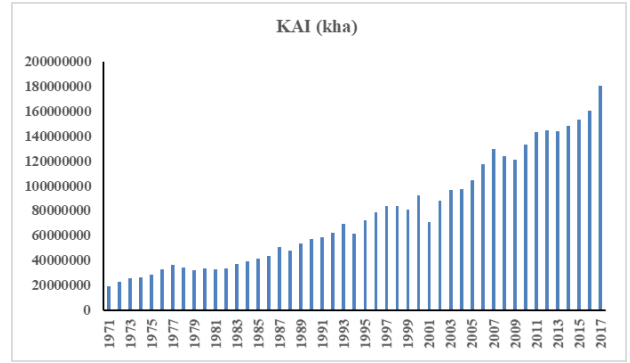
Veri ve Model: Bu çalışmamızda, KAİ (Şekil 3) ile FKT (Şekil 4) verileri arasındaki ilişki, 1971-2017 dönemini içeren veri seti kullanılarak Türkiye kapsamında incelenmiştir. Bağımsız değişken için FKT (ton eş değer petrol enerjisi) ve bağımlı değişken KAİ (kişi başı küresel hektar) verileri kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Bağımlı ve Bağımsız Değişken Verileri.

Table 1. Dependent and Independent Variable Data.

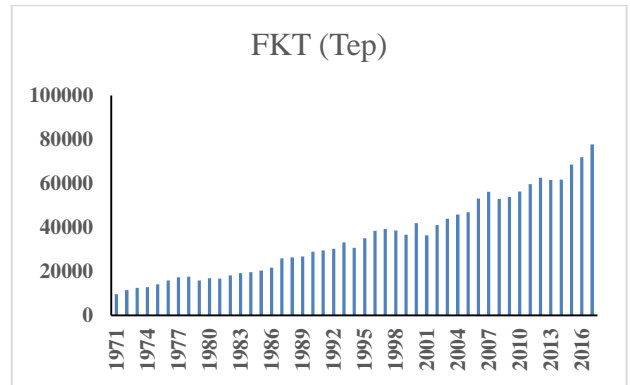
Değişkenler	Açıklama	Kaynak
Karbon Ayak İzi (KAİ)	Kişi Başı Tüketimin Karbon Ayak İzi (kha)	Küresel Ayak İzi Ağı (GFP)
Fosil Kaynak Tüketimi (FKT)	Türkiye Toplam Fosil Kaynak Kullanımı (tep)	Uluslararası Enerji Ajansı (İEA)

Bu çalışma kapsamında özellikle zaman serileri arasındaki uzun dönem ilişkinin belirlenmesi için literatürde oldukça yaygın kullanılan Johansen eşbütünlüme testi uygulanacaktır. Öncelikli olarak test için kullanacağımız değişkenlerimizin zaman serisi özellikleri incelenmiştir. Çünkü zaman serisi özelliklerinin incelenmemesi durumunda, iki değişken için yapılacak her türlü tahminin gerçekte var olmayan ilişkilerini, varmış gibi göstererek sahte regresyon sorununa neden olacaktır (Çiftçi, 2014). Bu amaçla serilerin durağanlığı tespit edilecektir.



Şekil 3. 1971-2017 KAİ verileri (Kişi başı küresel hektar) (GFP, 2020b).

Figure 3. Data CF 1971-2017 (Global hectares per capita)



Şekil 4. 1971-2017 FKT verileri (Ton eş değer petrol enerjisi) (IEA, 2020b).

Figure 4. 1971-2017 FRC data (Tonne equivalent petroleum energy).

Eğer bir serinin zaman içerisinde ortalaması, varyansı ve kovaryansı değişmiyorsa bu seriye durağan zaman serisi denmektedir. Durağan olmama durumu ise bunun tersidir. Çalışmada değişkenlerin durağanlık derecelerinin belirlenmesi amacıyla birim kök testleri uygulanmıştır. Bu aşamada öncelikli olarak geleneksel birim kök testlerinden olan Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi ve Phillips-Peron (PP) testleri uygulanacaktır (Dickey & Fuller, 1997; Phillips & Perron, 1988). Dickey ve Fuller'a göre hata teriminin ortalamasının sıfır, sabit bir varyansa, normal dağılıma ve otokorelasyon içermeyen bir yapıya sahip olduğu kabul edilmektedir. Hata teriminin ortalamasının normal dağılmadığı durumlar için Dickey ve Fuller, otokorelasyonu gidermek için bağımlı değişkene ait gecikme değerlerini dahil ederek Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) testini önermişlerdir (Akel, 2015). Phillips-Perron (PP) birim kök testi ise ADF birim kök testinin tamamlayıcısı niteliğindedir. PP birim kök testi, ADF ile kıyaslandığında daha esnek varsayımlara sahiptir (Çiftçi, 2014).

Yapısal kırılma, regresyon parametrelerinde zaman içinde ani bir değişikliği ifade etmektedir. Geleneksel birim kök testleri, bu yapısal kırılmaları gözden kaçırmaktadır. Bu nedenle değişkenlere yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök testide uygulanacaktır.

Zaman serilerinin aralarındaki eş bütünleşme ilişkisini belirlemek için yaygın olarak kullanılan birden fazla yöntem vardır (Engle & Granger, 1987; Johansen, 1988; Johansen & Juselius, 1990). Bu testlerden biri olan Johansen eşbütünleşme testi, en çok olabilirlik tahmin yöntemini kullanarak eşbütünleşik vektörlerin varlığını test etmeye yönelik geliştirilmiş bir eşbütünleşme analizidir (Akel, 2015).

Bu yöntemle göre değişkenler arasında tespit edilen eşbütünleşme ilişkisi, gerçek uzun dönemli bir ilişki anlamına gelmekte ve değişkenlerin uzun dönem birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Johansen'a göre eşbütünleşme analizinin yapılabilmesi için bütün seriler aynı düzeyde $I(1)$ durağan olmalıdır. Johansen eşbütünleşme testi değişkenler arasındaki tüm koentegre vektörlerin tahminine izin verdiği için oldukça güvenilir bir testtir. Bu çalışmamızda değişkenler arasında ilişki için Johansen eşbütünleşme uygulaması kullanılmıştır. Ayrıca eşbütünleşme testleri sonucunda uzun dönem eşbütünleşmesi tespiti yapılan iki serinin kısa dönem dinamiklerini araştırmak amacıyla vektör hata düzeltme modeli de VECM tahmin edilecektir (Çiftci, 2014).

Vektör hata düzeltme modeliyle değişkenler arasında ortaya koyduğumuz uzun dönemli eşbütünleşme sonuçlarının kısa dönemde de anlamlı bulunması halinde kurulan eşbütünleşmenin model artıklarının otokorelasyona ve değişen varyans problemine sahip olmaması gerekmektedir (Kocabıyık, 2016). Bu nedenle eşbütünleşme modelinin sınaması yapılarak doğruluğu test edilecektir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Birim Kök Testi Uygulaması: Yapılan geleneksel ve yapısal kırılmalı birim kök test sonuçlarına göre KAİ ve FKT değişkenlerin her ikisinin de seviyede $I(0)$ değil, farkta $I(1)$ durağan olduğu görülmüştür (Tablo 2). Her iki değişkenin $I(1)$ çıkması ile aralarında uzun dönemli bir ilişkinin belirlenmesinde Johansen eşbütünleşme testinin uygulanması uygun olmuştur (Tablo 3).

Johansen Eşbütünleşme Test Uygulaması: Test uygulamasına geçmeden önce serilerin gecikme değerlerinin doğru girilmiş olması gerekmektedir. Çünkü analiz gecikme uzunluğuna duyarlıdır (Kocabıyık, 2016). Kullanılan analiz programında bu menüyü kullanarak değişkenler için uygun VAR modeli ve gecikme uzunlukları tespit edilmiştir (Tablo 4).

Uygulanan gecikme uzunluğu test sonuçlarına göre tüm kriterlere göre 1 gecikmeli model uygun bulunmuştur. Bundan sonraki aşamada eşbütünleşme testi yapılacaktır. (Tablo 5).

Tablo 5, incelendiğinde hesaplanan İz (Trace) istatistik ve Maksimum Öz Değer test (Maximum

Eigenvalue) istatistik sonuçlarının kritik değerden büyük olması %5 anlamlılık düzeyinde modelde iki koentegrasyon vektörünün bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla Johansen eşbütünleşme testiyle elde edilen sonuçlara bakarak KAİ ve FKT değişkenlerinin uzun dönemde birbirlerini etkilediğini söylemek mümkündür.

Tablo 2. Birim Kök Testleri.

Table 2. Unit Root Tests.

	Seviyede I (0)		Birinci Fark I (1)	
	KAİ	FKT	d(KAİ)	d(FKT)
Sabitli	t-Istatistik 0,9752 Olasılık 0,9956	4,3659 0,9999	t-Istatistik -9,6103 Olasılık 0,0000***	-7,5035 0,0000***
Sabitli ve Trendli	t-Istatistik -2,8530 Olasılık 0,1868	-0,4417 0,9828	t-Istatistik -10,8199 Olasılık 0,0000***	-10,0653 0,0000***
Sabit ve Trend olmadan	t-Istatistik 5,0327 Olasılık 0,9999	10,0621 0,9999	t-Istatistik -7,6914 Olasılık 0,0000***	-5,5838 0,0000***
Artırılmış Dickey-Fuller (ADF)		Seviyede I (0)	Birinci Fark I (1)	
		KAİ	FKT	
Sabitli	t-Istatistik 0,4870 Olasılık 0,9844	1,5370 0,9992	t-Istatistik -8,8328 Olasılık 0,0000***	-7,4499 0,0000***
Sabitli ve Trendli	t-Istatistik -3,0197 Olasılık 0,1381	-1,0848 0,9206	t-Istatistik -8,8720 Olasılık 0,0000***	-8,0514 0,0000***
Sabit ve Trend olmadan	t-Istatistik 2,8986 Olasılık 0,9988	4,4790 0,9999	t-Istatistik -7,7110 Olasılık 0,0000***	-5,4338 0,0000***

*** P<%1, ** P<%5, *P<%10

Tablo 3.Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testleri.

Table 3. Structural Break Unit Root Tests.

	Min. Dickey-Fuller t-istatistik	Seviyede I (0)		Birinci Fark I (1)	
		KAİ	FKT	d(KAİ)	d(FKT)
Sabitli	t-Istatistik -1,864516 Olasılık 0,9890	-0,45886 0,9999	t-Istatistik -9,15139 Olasılık 0,0000***	-9,02037 0,0000***	
Kırılma Yılı	2007	2002	2003	2014	
Sabitli ve Trendli	t-Istatistik -4,704605 Olasılık 0,0763	-2,72092 0,9644	t-Istatistik -9,07651 Olasılık 0,0000***	-9,18467 0,0000***	
Kırılma Yılı	1979	2014	2009	2014	

*** P<%1, ** P<%5, *P<%10

Tablo 4. Uygun gecikme uzunluğu testi.

Table 4. Suitable lag length test.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-421,0326	NA	1202843	19,67594	19,75785	19,70614
1	-326,3509	176,1520*	17727,68*	15,45818*	15,70393*	15,54881*
2	-322,9195	6,064928	18232,94	15,48463	15,89421	15,63567
3	-318,5461	7,322797	17986,06	15,46726	16,04068	15,67872
4	-315,4003	4,974728	18841,08	15,50699	16,24424	15,77887

*Model için en uygun gecikme

Tablo 5. Eşbütünleşme Analizi.

Table 5. Cointegration Analysis.

İz Test İstatistiği (Trace)				
Hipotez	Özdeğer	İz İstatistiği	%5 Kritik Değer	Olasılık**
r=0	0,324375	22,43705	15,49471	0,0038
r>1	0,101010	4,791761	3,841466	0,0286
Maksimum Özdeğer Test İstatistiği (Maximum Eigenvalue)				
Hipotez	Özdeğer	İz İstatistiği	%5 Kritik Değer	Olasılık**
r=0	0,324375	17,64529	14,26460	0,0141
r>1	0,101010	4,791761	3,841466	0,0286

** P<%5

Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM)

Uygulaması: Değişkenler arasındaki uzun dönem dengesi ile kısa dönem dinamikleri arasındaki ayrımı saptayabilmek için vektör hata düzeltme modeli (VECM) uygulanmaktadır (Kocabıyık, 2016). Değişkenler arasında bulduğumuz eşbütünleşme ilişkisinin, değişkenlerin kısa

dönemdeki dengeden sapma eğilimlerinin belirlenmesi için vektör hata düzeltme modeli de uygulanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Hata düzeltme modeli.
Table 6. Error correction model.

Koentegrasyon Denklemi	CointEq1	
KAI(-1)	1,000000	
FKT(-1)	-8,74E-05 (1,1E-05)	
	[-7,75944]	
Hata Düzeltme	D(KAI)	D(FKT)
CointEq1	-0,023318 (0,00918)	-926,3261 (212,416)
	[-2,53893]	[-4,36090]
D(KAI(-1))	-0,295605 (0,27141)	140,3120 (6277,32)
	[-1,08915]	[0,02235]
D(FKT(-1))	-1,74E-06 (1,2E-05)	-0,258195 (0,28258)
	[-0,14245]	[-0,91371]
R ²	0,111921	0,115089
F-istatistik	2,646549	2,731205
AIC	-1,661501	18,43615
SC	-1,541057	18,55660

Uygulamada, hata düzeltme parametresinin istatistiksel olarak anlamlı ve negatif olması beklenir (Arı & Yıldız, 2017). Hata düzeltme modeli test sonuçlarına göre, hata düzeltme katsayısı -0,023318 ve 0,00918 olasılık değeri ile anlamlı olduğundan hata düzeltme mekanizması çalışmaktadır. Buna göre bir dönemde meydana gelen dengesizlik sonraki dönemde düzelebilecektir. Dolayısıyla değişkenler için kurulan modelde uzun dönem ilişkisi tutarlıdır ve bu durum, dengeden sapma olması halinde uzun dönemde tekrar dengeye geleceğini göstermektedir.

Tanısal Sınama Test Uygulaması: Tablo 7’de ki sonuçlar %5 anlamlılık düzeyinde bir otokorelasyon probleminin olmadığını, aynı şekilde tablo 8’de ise olasılık değerinin % 5’in üzerinde olması, bu değişkenler arasında değişen varyans sorununun olmadığını göstermektedir.

Tablo 7. Otokorelasyon testi.
Table 7. Autocorrelation test.

Null hypothesis: No serial correlation at lag h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	4,391559	4	0,3556	1,115129	(4, 76,0)	0,3557
2	2,793124	4	0,5930	0,701865	(4, 76,0)	0,5931
Null hypothesis: No serial correlation at lags 1 to h						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	4,391559	4	0,3556	1,115129	(4, 76,0)	0,3557
2	6,384935	8	0,6042	0,799752	(8, 72,0)	0,6047

Tablo 8. Değişen varyans analizi.
Table 8. Variable analysis of variance.

Joint test:		
Chi-sq	df	Prob.
19,26218	18	0,3758

SONUÇ

Sonuç olarak, Türkiye’nin 1971-2017 dönemine ait verilerin kullanıldığı bu çalışmada Türkiye karbon ayak izi (KAİ) ve fosil kaynak tüketiminin (FKT) aralarındaki ilişki literatür özeti ile anlatılmış ve ardından bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlılığı Johansen Eşbütünleşme testi

ile ortaya konmuştur. Eşbütünleşme sonuçlarının olasılık değerlerinin anlamlı çıkması ile, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğunu doğrulamıştır. Vektör hata düzeltme modelinde bulunan sonuçlar ile de değişkenler arasında oluşabilecek bir etkinin uzun dönemde dengeye girebileceğini göstermiştir. Uluslararası İklim Araştırma Merkezi’nde emisyon analizi üzerinde çalışan bir araştırmacı olan Glen Peters, ‘Hükümetlerin sadece yenilenebilir enerjiyi teşvik etmelerinin yeterli olmadığını aynı zamanda fosil yakıtları ortadan kaldırmaya odaklanan daha fazla politikaya ihtiyacımız olduğunu’ söylemektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin önemli konularından biri olan iklim değişikliği ile mücadele kapsamında temiz ve çevre dostu kaynak kullanımının artırılması ve FKT’nin azaltılması ile bu hedeflere ulaşılabileceği ortadadır. Küresel olarak artan enerji talebinin fosil yakıtlardan karşılandığı günümüzde, bu kaynakların neden olduğu problemler tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz de görülmektedir. Artan sera gazı emisyonlarının çevre kalitesi ve insan sağlığına olan etkilerinin göstergelerinden biri olan KAİ’nde yaşanan artış bunun en ciddi kanıtıdır. Elde edilen sonuçlar KAİ’de meydana gelen artışın sebeplerinden biri olan FKT’nin etkisini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akel, V. (2015).** Kırılgan Beşli Ülkelerinin Hisse Senedi Piyasaları Arasındaki Eşbütünleşme Analizi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, **11**, 24. DOI: [10.17130/ijmeh.2015.11.24.719](https://doi.org/10.17130/ijmeh.2015.11.24.719)
- Arbex, M. & Batu, M. (2020).** What if people value nature? Climate change and welfare costs. *Resource and Energy Economics*, **61**, 101176. DOI: [10.1016/j.reseneeco.2020.101176](https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2020.101176)
- Arı, E. & Yıldız, A. (2017).** Eşbütünleşme Analizi İle Genç İşsizliği Etkileyen Değişkenlerin Araştırılması. *Alphanumeric journal*, **5**, 310-316. DOI: [10.17093/alphanumeric.349358](https://doi.org/10.17093/alphanumeric.349358)
- Bilim ve Teknik. (2016).** Fosil Yakıtlar. <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/content/fosil-yakitlar>. (22.12.2020).
- Buono, D.D. (2021).** Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of the Total Environment*, **751**, 141763. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.141763](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141763)
- Cai, M., Murtazashvili, I., Murtazashvili, J.B. & Salahodjaev, R. (2020).** Patience and climate change mitigation: Global evidence. *Environmental Research*, **186**, 109552. DOI: [10.1016/j.envres.2020.109552](https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109552)

- Coelho, S., Rafael, S., Lopes, D., Miranda, A.I. & Ferreira, J. (2020).** How changing climate may influence air pollution control strategies for 2030?. *Science of the Total Environment*, **9697**, 37442-8. DOI: [10.1016/j.envres.2020.109552](https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109552)
- Çiftci, N. (2014).** Türkiye’de Cari Açık, Reel Döviz Kuru ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkiler: Eş Bütünleşme Analizi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **14**, 129-142. DOI: [10.18037/ausbd.12816](https://doi.org/10.18037/ausbd.12816)
- Dickey, D.A. & Fuller, W.A. (1997).** Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *J. Am. Stat. Assoc.*, **74**, 427-431. DOI: [10.2307/2286348](https://doi.org/10.2307/2286348)
- Engle, R.F. & Granger, C.W.J. (1987).** Cointegration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica*, **55**, 251-76. DOI: [10.2307/1913236](https://doi.org/10.2307/1913236)
- GFP. (2020a).** Global Footprint (GFP). <https://data.footprintnetwork.org>. (21.12.2020).
- GFP. (2020b).** Global Footprint (GFP). Turkey Ecological Footprint Data. <https://data.footprintnetwork.org>. (21.12.2020).
- Haines, A. & Ebi, K. (2019).** The Imperative for Climate Action to Protect Health. *The new england journal of medicine*, **80**, 263-73. DOI: [10.1056/NEJMra1807873](https://doi.org/10.1056/NEJMra1807873)
- Haines, A., Kovats, R.S., Lendrum, D.C. & Corvalan, C. (2005).** Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health*, **120**, 585-596. DOI: [10.1016/j.puhe.2006.01.002](https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002)
- Hiatt, R.A. & Beyeler, N. (2020).** Cancer and climate change. *Lancet Oncol*, **21**, 519-527. DOI: [10.1016/S14702045\(20\)30448-4](https://doi.org/10.1016/S14702045(20)30448-4)
- Hrabok, M., Delorme, A. & Agyapong, V.I.O. (2020).** Threats to Mental Health and Well-Being Associated with Climate Change. *Journal of Anxiety Disorders*, **76**, 102295. DOI: [10.1016/j.janxdis.2020.102295](https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102295)
- Hughes, J., Heays, K.J., Olesson, E. & Bell, R. (2020).** Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective. *Climate Risk Management*, **S2212-0963(20)**, 30052-8. DOI: [10.1016/j.crm.2020.100262](https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100262)
- IEA (International Energy Agency). (2016).** Energy Policies of IEA Countries Turkey.
- IEA. (2020).** International Energy Agency. Explore energy data by category: World Total final consumption. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables/country>. (21.12.2020).
- IEA. (2020a).** International Energy Agency (IEA). Explore energy data by category: Turkey Total final consumption. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables/country>. 21.12.2020).
- IEA. (2020b).** International Energy Agency (IEA). Total energy supply (TES) by source, Turkey 1990-2018. <https://www.iea.org/data-and-statistics/country>. (21.12.2020).
- IPCC. (2014).** Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2019).** Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Global warming of 1,5°C.
- Johansen, S. (1988).** Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economics Dynamic and Control*, **12** (2-3), 231-254. DOI: [10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
- Jóhannesson, E.S., Heinonen, J. & Davíðsdóttir, B. (2020).** Data accuracy in Ecological Footprint’s carbon footprint. *Ecological Indicators*, **111**, 105983. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.105983](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105983)
- Khan, I., Hou, F. & Le, H.P. (2021).** The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, **754**, 142222. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142222](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222)
- Kober, T., Schiffer, H.W., Densing, M. & Panos, E. (2020).** Global energy perspectives to 2060 – WEC’s World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, **31**, 100523. DOI: [10.1016/j.esr.2020.100523](https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100523)
- Kocabıyık, T. (2016).** Johansen Eşbütünleşme Testinde Karar Aşamalarının Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, CİEP Özel Sayısı.
- Koomson, D., Vollum, K.T.S. & Raha, D. (2020).** Characterising the vulnerability of fishing households to climate and environmental change: Insights from Ghana. *Marine Policy*, **120**, 104142. DOI: [10.1016/j.marpol.2020.104142](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104142)
- Kowalski, M.F., Rovenskaya, E., Krausmann, F., Pallua, I. & Neill, J.R.M. (2019).** Energy transitions and social revolutions. *Technological Forecasting & Social Change*, **138**, 69-77. DOI: [10.1016/j.techfore.2018.08.010](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.010)
- Lidicker, W.Z. (2020).** A Scientist’s Warning to humanity on human population growth. *Global Ecology and Conservation*, **24**, 01232. DOI: [10.1016/j.gecco.2020.e01232](https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01232)
- Martins, F., Felgueiras, C. & Smitková, M. (2018).** Fossil fuel energy consumption in European

- countries. *Energy Procedia*, **153**, 107-111. DOI: [10.1016/j.egypro.2018.10.050](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.050)
- MGM. (2017).** Meteoroloji Genel Müdürlüğü: İklim Değişikliği ve Mevcut Durum. <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx>. (22.12.2020).
- Monserate, A.Z., Ruano, M.A., Candelario, V.O. & Loor, D.A.S. (2020).** Global ecological footprint and spatial dependence between countries. *Journal of Environmental Management*, **272**, 111069. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.111069](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111069)
- Nicholas, P.K., Breakey, S., McKinnon, S., Eddy, E.Z., Fanuele, J. & Starodub, R. (2020).** A climate: a tool for assessment of Climate-change-related health. *Emergency Nurses Association*, **20**, 1-11. DOI: [10.1016/j.jen.2020.10.002](https://doi.org/10.1016/j.jen.2020.10.002)
- Nicholas, P.K., Breakey, S., Tagliareni, E., Simmonds, K. & Sabo, K.K. (2020).** Climate Change and Population Health: Incorporating Stages of Nursing's Political Development. *Nursing Outlook*, **69**(1), 1-9. DOI: [10.1016/j.outlook.2020.08.001](https://doi.org/10.1016/j.outlook.2020.08.001)
- Özgül, S., Koçar, G. & Eryaşar, A. (2020).** The progress, challenges, and opportunities of renewable energy cooperatives in Turkey. *Energy for Sustainable Development*, **59**, 107-119. DOI: [10.1016/j.esd.2020.09.005](https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.09.005)
- Paramati, S.R., Apergis, N. & Ummalla, M. (2017).** Dynamics of renewable energy consumption and economic activities across the agriculture, industry, and service sectors: evidence in the perspective of sustainable development. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 1375-1387. DOI: [10.1007/s11356-017-0552-7](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0552-7)
- Petrov, O., Bi, X. & Lau, A. (2017).** Impact assessment of biomass-based district heating systems in densely populated communities. Part II: Would the replacement of fossil fuels improve ambient air quality and human health?. *Atmospheric Environment*, **161**, 191-199. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2017.05.001](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.001)
- Phillips, P.C.B. & Perron, P. (1988).** Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika (Printed Gt. Britain)*, **75**, 335-346. DOI: [10.2307/2336182](https://doi.org/10.2307/2336182)
- Qayyum, U., Anjum, S. & Sabir, S. (2021).** Armed conflict, militarization and ecological footprint: Empirical evidence from South Asia. *Journal of Cleaner Production*, **281**, 125299. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.125299](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125299)
- Qin, P., Xu, H., Liu, M., Xiao, C., Forrest, K.E., Samuelsen, S. & Tarroja, B. (2020).** Assessing concurrent effects of climate change on hydropower supply, electricity demand, and greenhouse gas emissions in the Upper Yangtze River Basin of China. *Applied Energy*, **279**, 115694. DOI: [10.1016/j.apenergy.2020.115694](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115694)
- Rauf, A., Liu, X., Amin, W., Rehman, O.U., Li, J., Ahmad, F. & Bekun, F.V. (2020).** Does sustainable growth, energy consumption and environment challenges matter for Belt and Road Initiative feat? A novel empirical investigation. *Journal of Cleaner Production*, **262**, 121344. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.121344](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121344)
- Rees, W.E. (1992).** Ecological Footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, **4**(2), 121-130. DOI: [10.1177/2455747117699722](https://doi.org/10.1177/2455747117699722)
- Salvia, A.L., Filho, W.L., Brandli, L.L. & Griebeler, J.S. (2019).** Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: local and global issues. *Journal of Cleaner Production*, **208**, 841-849. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.09.242](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242)
- Schachtel, A., Dyer, J.A. & Boos, M.D. (2020).** Climate change and pediatric skin health. *International Journal of Women's Dermatology*, **1**, 85-90. DOI: [10.1016/j.ijwd.2020.07.006](https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.07.006)
- Sintayehu, D.W., Dalle, G. & Bobasa, A.F. (2020).** Impacts of climate change on current and future invasion of *Prosopis juliflora* in Ethiopia: environmental and socio-economic implications. *Heliyon*, **6**, e04596. DOI: [10.1016/j.heliyon.2020.e04596](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04596)
- TUİK. (2020).** Türkiye İstatistik Kurumu; Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2018. <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33624>. (21.12.2020).
- UN. (1987).** United Nations (UN), Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- UN. (1992).** United Nations (UN) Framework Convention on Climate Change.
- UN. (2015).** United Nations (UN), Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
- UN. (2019).** United Nations (UN), 2019 Revision of World Population Prospects.
- WWF. (2012).** World Wide Fund for Nature (WWF), Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu.