

Enerji Yoğunluğu ve Ekonomik Kompleksitenin Karbon Ayak İzi Üzerindeki Etkisi: Türkiye İçin Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Yeniden Gözden Geçirilmesi

İhsan Oluç¹

Özet

Bu çalışma, enerji yoğunluğu ve ekonomik kompleksitenin Türkiye'nin karbon ayak izi üzerindeki etkisini 1965-2016 dönemi için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın kapsadığı dönem ve bu dönemde Türkiye ekonomisinin yaşamış olduğu yapısal dönüşüm göz önünde bulundurularak değişkenler arası ilişkiler yapısal kırılmalar altında incelenmiştir. Çalışmada öncelikle Carrion-i-Silvestre (2009) çoklu yapısal kırılmalı birim kök testi ardından Maki (2012) yapısal kırılmalı eşbütünlük testi uygulanmıştır. Uzun ve kısa dönem katsayıları dinamik en küçük kareler yöntemiyle (DOLS) ile tahmin edilmiştir. Yapılan analize Hatemi-J asimetrik nedensellik testi ile son verilmiştir. Analiz sonucunda EKC hipotezinin doğrulandığı görülmüştür. Uzun dönem katsayı sonuçlarına göre enerji yoğunluğunun karbon ayak izini azaltırken ekonomik kompleksitenin karbon ayak izini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonuçları, politika yapıcıların ülke ekonomisinde verimliliği arttıracak ve üretimde enerji yoğunluğunu azaltacak ekonomik dönüşüm politikaları geliştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylece üretim faaliyetlerinin çevre üzerinde yarattığı baskı nispeten azaltılmış olacaktır.

1. Giriş

İklim değişikliği ile ilgili yapılan sayısız çalışma, elde edilen muazzam miktarda tarihsel ve bilimsel veri, çeşitli doğal ve beşeri sistemlerin kırılma noktalarını ortaya koymakta, iklim değişikliği konularını sosyal ve

1 Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İİBF İktisat Bölümü, ihsanoluc@mehmetakif.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-5167-1862>

politik gündemin merkezine koymanın aciliyetini ortaya çıkarmaktadır (Seixas & Ferreira, 2021:4). İklim değişikliğinin olumsuz etkileri sadece çevreye ve ekosisteme zarar vermekle kalmayıp az veya çok toplumun her kesimine ve dünya genelinde ekonomik faaliyetlere de zarar vermektedir (Oluc vd., 2022:2). Ekonomik faaliyetlerin sürekliliğinin sağlanabilmesi için doğanın biyokapasitesinin dikkate alınması oldukça önemlidir. İnsan faaliyetleri kaynaklı doğa tahribatı, çevre üzerinde stres oluşturmakta ve doğa bu tahribatı zaman içerisinde tolere etmeye çalışmaktadır.

Doğa tahribatı özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha görünür olmaktadır (Sharif vd., 2020:2). Gelişmekte olan ülkeler çoğunlukla kalkınabilmek için büyümeyi öne çıkarmakta ve sürdürülebilirliği ihmal edebilmektedir. Büyümeyi önceleyen bu tür politikalar sonucunda kullanımı ve tüketimi kolay doğal kaynaklara yönelmektedir. Doğal kaynaklara dayalı büyüme ise zaman içerisinde doğada önce stres sonra baskı oluşturmakta daha sonra da biyokapasitenin azalmasına neden olmaktadır. Çevresel bozulmanın kademeli olarak yükseldiği ekonomilerde ise ekolojik açık ortaya çıkmaktadır.

Çoğunlukla antropojenik faaliyetler nedeniyle ortaya çıkan ekolojik açık sera gazı emisyon salınımlarını yükseltmektedir (Nathaniel, 2021a:64871). Havayı kirleterek iklim değişikliğine neden olan başlıca sera gazı emisyonlarını karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC), perfluorokarbon (PFC) ve kükürt hekzaflorid (SF₆) olarak sıralamak mümkündür (Sinha vd., 2020:4). Başta CO₂ olmak üzere artan sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak amacıyla Stockholm Konferansı, Montreal ve Kyoto Protokolleri, Paris Anlaşması gibi çeşitli uluslararası toplantılarda çeşitli önlem mekanizmaları kurulmuştur (Pata, 2021:846). Bu durum çevre-ekonomi ikame ilişkisini inceleyen araştırmacıların dikkatini çoğunlukla CO₂ emisyonlarına vermesine neden olmuştur. Halbuki diğer sera gazları da küresel ısınmada oldukça olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Örneğin metan gazı karbondioksite oranla 20 kat daha fazla ısı tutmaktadır (Nepal, 2007:63). Dolayısıyla iklim değişikliği ve küresel ısınmaya daha genel bir ifade ile çevresel kirliliğe neden olan antropojenik etkiler araştırıldığında CO₂ emisyonu yerine daha kapsayıcı değişkenlerin kullanılması daha tutarlı sonuçlara ulaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Karbon ayak izi insan faaliyetlerinin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu tüm sera gazı emisyonlarını ayrıca ticarete konu olan mal ve hizmetlerin içerdiği tüm karbondioksit emisyonlarını da içermektedir (Fakher, 2019:10280). İsim benzerliği nedeniyle karbon ayak izi, karbon emisyonları ile zaman zaman karıştırılabiliyor olsa da Kyoto protokolü

kapsamında yer alan altı tür sera gazını içermektedir (Elshimy & El-Aasar, 2020:6986). Dolayısıyla çevresel kirliliği ölçmekte karbon ayak izi en kapsayıcı araçlardan biridir (Hafeez vd., 2019:25207). İnsanoğlunun karşı karşıya kaldığı en büyük ve en acil problem olan küresel ısınma karşısında yapılabilecek yegane şey ise karbon ayak izinin olabildiğince küçültülmesidir (Williston, 2018:45). Karbon ayak izinin küçültülebilmesi için öncelikle karbon ayak izinin belirleyicilerinin ortaya konması gerekmektedir.

Karbon ayak izinin nedenleri üzerinde yapılan çalışmalarda başlıca iki başlık ön plana çıkmaktadır. Bunların ilki ülkelerin enerji tüketimini etkileyen enerji yoğunluğu başta olmak üzere, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketim oranı, enerji verimliliği ve karbon yoğunluğu gibi sebeplerdir (Chen & Yang, 2015; O'Mahony, 2013; Sobrino & Monzon, 2014). Karbon ayak izinin bir diğer nedeni ise ülkelerin ekonomik yapılarıdır (Andreoni & Galmarini, 2016; Chen vd., 2018; Pan vd., 2017).

Enerji yoğunluğunu, bir ekonominin üretim sürecinde birim çıktı üretmek için kullandığı enerji miktarı olarak tanımlamak mümkündür (Hou vd., 2020:345). Genel anlamda enerji yoğunluğu temelinde yapılan ampirik çalışmalarda birim çıktı olarak ülkelerin milli geliri, girdi olarak ise toplam enerji tüketimi kullanılmaktadır. Dolayısıyla aynı miktarda enerji kullanarak daha az milli gelir üreten ekonomilerin daha az verimli ekonomiler olduğu ifade edilebilir. Nitekim enerji yoğunluğu ülke ekonomilerinin verimliliğini ortaya koymak için kullanılabilir önemli bir araçtır (Liao vd., 2007; Roca & Alcántara, 2001). Enerji yoğunluğu yüksek, verimsiz ülke ekonomileri çevresel sürdürülebilirliğe zarar vermektedirler (Amuakwa-Mensah & Adom, 2017:17468). Enerji yoğunluğunun azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması olarak da değerlendirilebilir ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çözümün önemli bir parçası olarak kabul edilebilir (Chu & Le, 2022:2869).

Enerji yoğunluğunun tanımından da anlaşılacağı üzere enerji yoğunluğu enerjinin elde ediliş biçiminden tamamen bağımsızdır. Diğer bir ifadeyle fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin, yenilenebilir enerji ile ikame edilmesi enerji yoğunluğunu değiştirmemektedir. Nitekim yatırım maliyetlerinin nispeten yüksekliği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak ekonomik kalkınmadan fedakârlık yapmak anlamına da gelebilmektedir (Güzel & Oluç, 2021:363). Dolayısıyla enerji yoğunluğu, enerji tüketiminden ziyade ülke ekonomilerinin yapısal dönüşümünü ve teknolojik gelişimini ifade etmek için kullanılmaktadır (Shahbaz vd., 2016:49).

Yapılan birçok çalışmada enerji verimliliğinin artmasında teknolojik ilerlemenin kritik bir rolü olduğu ileri sürülmektedir (Alam & Murad,

2020:383). Enerji verimliliğinde meydana gelen artış beraberinde ekonomide yapısal dönüşümü de getirmektedir. Yani ülkelerin ekonomik yapıları ve teknolojik düzeyi çevre kalitesini etkileyen iki önemli parametredir (Yin vd., 2015:99). Bu nedenle ülkelerin üretim kompozisyonu, ekonomik yapıları ve teknoloji düzeyini ortaya koyan ekonomik kompleksitenin de çevre ve sera gazı emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenmektedir (Doğan vd., 2019:31902).

Hidalgo ve Hausmann (2009) tarafından geliştirilen ekonomik kompleksite endeksi temel olarak ülkelerin ekonomik karmaşıklığını ölçmek için üretken kapasitelerini, ihraç edilen ürünler temelinde ele alarak yorumlamaktadır. Ekonomik kompleksite endeksi üretim süreci sonucunda ortaya çıkan ürünü çok yönlü olarak ele almakta ağ ekonomilerinin yapısal değerlendirmesini, ekonomik verimliliğini, teknoloji yoğun ihracat kapasitesini ortaya koymaktadır (Balsalobre-Lorente vd., 2022:1442). Daha sade bir ifade ile ekonomik kompleksite ülke ekonomilerini başlıca iki boyutta ele almaktadır. Bu boyutlar ihracat ürün çeşitliliği ve ihraç edilen ürünlerin yaygınlığıdır (Romero & Gramkow, 2021:4). Bilgi yoğun, daha sofistike ürün ihraç eden ülke ekonomileri daha kompleks kabul edilmektedir. Ekonomik kompleksitede yaşanan artış tarım ve madencilik gibi birincil üretim alanlarından daha yüksek teknoloji ve üretken bilgi gerektiren kompleks ürün yelpazesine geçiş olarak anlaşılmalıdır (Neagu & Teodoru, 2019:3). Ülkelerin ihraç ürünleri kolaylıkla başka ülkelerce ikame edilemiyorsa ve bu ürünler o ülkenin üretken bilgi kapasitesini yansıtan, katma değer üreten ürünler ise bu ülkeler ekonomik kompleksite sıralamasında yükselmektedirler. Dolayısıyla ülkelerin ihraç ettiği ürünlerin yaygınlığı ve çeşitliliğine bakıldığında ülke ekonomisinin yapısal dönüşümü de izlenebilmektedir (Caglar vd., 2022:2). Ekonomik kompleksitenin artmasıyla birlikte yaşanan yapısal dönüşüm önce mal ve hizmetlerin çeşitlendirilmesine daha sonra uzmanlaşma sürecinin başlamasına ve son olarak çeşitlendirmenin azalması ve yoğunlaşma süreciyle devam etmektedir.

Bu durum ülkelerin kalkınma sürecinde içinde bulunduğu ekonomik karmaşıklık düzeyine göre farklı yoğunluklarda enerji talebi olabileceğini göstermektedir. Karbon emisyonlarının ana sebeplerinden birinin enerji talebi olduğu düşünüldüğünde gelişmekte olan ülkelerin ekonomik karmaşıklık düzeyinin artmasıyla birlikte enerji talebinin önce yükseleceği artan karmaşıklık düzeyine göre karbon yoğun üretimden yenilenebilir enerji kaynaklı üretime geçiş sürecinin başlayacağı öngörülmektedir (Neagu, 2019:3). Doğal olarak kalkınma sürecinin başlarında enerji yoğunluğu nispeten daha az tarımsal üretim veya doğal kaynaklara dayalı üretime odaklanılmakta sanayileşmenin başlaması ve üretimin çeşitlenmesiyle

ekonomi daha kompleks hale gelmekte ve enerji yoğunluğu artmaktadır. Enerji yoğunluğunda artış ve ekonomik kompleksite böylece çevresel bozulmayı hızlıca arttırmaktadır. Son olarak ekonomik kompleksitenin daha da artmasıyla birlikte enerji yoğun sanayileşme yerini bilgi yoğun sanayileşmeye bırakmakta ve dolayısıyla ekonomilerin daha “yeşil” teknolojik dönüşümüyle sonuçlanmaktadır (Swart & Brinkmann, 2020:5). Bu bağlamda ekonomik kompleksitenin çevre kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olması varsayımsal olarak kabul edilebilir (Alvarado vd., 2021:2).

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı enerji yoğunluğu ve ekonomik kompleksite karbon ayak izi ile doğrudan ilişkili olup, karbon ayak izinin küçültülmesinde dikkate alınması gereken parametrelerdir. Bu bağlamda yapılan çalışmanın amacı Türkiye için ekonomik kompleksite ve enerji yoğunluğunun karbon ayak izi üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Ekonomik kompleksite ve enerji yoğunluğu gibi değişkenlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar incelendiğinde yapılan çalışmaların birçoğunun CO₂ emisyonunu kullandığı ve az sayıda çalışmanın da diğer sera gazlarına odaklandığı görülmektedir. Nitekim sera gazı emisyonları çok daha geniş kapsamlı olarak ele alınmalıdır. Yapılan çalışmada tüm sera gazlarını temsil eden karbon ayak izi kullanılmak suretiyle holistik bir bakış açısıyla hareket edilmiştir. Nitekim gözlenebildiği kadarıyla çevre ekonomisi literatüründe karbon ayak izi, enerji yoğunluğu ekonomik kompleksite değişkenleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca Türkiye örneğinde ekonomik kompleksite ve enerji yoğunluğunun bir arada açıklayıcı değişken olarak kullanıldığı bir çalışmaya da rastlanılmamıştır. Dolayısıyla yapılan bu çalışmayla hem ulusal hem de uluslararası literatüre katkı sunulmaktadır. Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki gibi tasarlanmıştır. Öncelikle enerji, ekonomik kompleksite ve çevre kirliliği ilişkisini inceleyen çalışmalar literatürde özetlenmiştir. Daha sonra bu çalışmada kullanılan veriler ve ekonometrik metodoloji sunulmuştur. Son bölüm ise çalışmayı sonuçlandırmakta ve Türkiye için belirli çevresel politikalar önermektedir.

2. Literatür

Enerji-çevresel kirlilik bağlantısını inceleyen çalışmalar son yıllarda oldukça ilgi görmektedir. Bu konu hakkında oldukça genişleyen bir literatür bulunmakta ve ulusal, bölgesel ve küresel ölçekte çalışmalar yapılmaktadır (Chandran & Tang, 2013; Cicea vd., 2014; Herrala & Goel, 2012; Holtz-Eakin & Selden, 1995; Nathaniel, 2021b; Sanches-Pereira vd., 2016). Enerji tüketimini temsilen toplam enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, fosil enerji tüketimi, nükleer enerji, elektrik tüketimi gibi değişkenler yapılan ampirik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Al-Mulali & Ozturk, 2015;

Apergis vd., 2010; Can, Oluc vd., 2022; Charfeddine, 2017; Saboori & Sulaiman, 2013; Salahuddin vd., 2020; Ulucak, 2020; Yang, 2000). Enerjinin tüketiminin kaynakları baz alınarak yapılan çalışmalar olduğu gibi enerjinin kaynağından bağımsız olarak enerji verimliliğini temel alan çalışmalar da bulunmaktadır. Enerji verimliliğinin ölçüsü olarak enerji yoğunluğu ele alınmış sektörel ve ulusal düzeyde enerji yoğunluğunun etkileri de araştırmalara konu olmuştur (Cornillie & Fankhauser, 2004; Díaz vd., 2019; Feng vd., 2009; Proskuryakova & Kovalev, 2015).

Enerji yoğunluğu-çevresel kirlilik arasındaki ilişkiyi ele alan Aydın ve Turan (2020) BRICS ülkeleri örneklemini kullanmışlardır. 1996-2016 verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada çevresel kirliliği temsilen ekolojik ayak izi kullanılmış, eşbütünlük testi ve uzun dönem katsayı tahmini yapılmıştır. Değişkenlerin eşbütünlük olduğu çalışmada enerji yoğunluğunda meydana gelen artışın ekolojik ayak izini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Shahbaz vd. (2015), çevresel kuznets eğrisini seçilmiş Afrika ülkeleri örnekleminde test etmişlerdir. 1980-2012 döneminin ele alındığı bu çalışmada EKC hipotezini test edilmesinde sadece enerji yoğunluğu açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Enerji yoğunluğunun karbon emisyonunu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer biçimde (Namahoro vd., 2021) Afrika ülkeleri için CO2 emisyonlarını etkileyen faktörleri inceledikleri çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji tüketimi ve milli geliri kullanmışlardır. Yenilenebilir enerjinin karbon emisyonlarını azaltmada önemli rol üstlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak enerji yoğunluğunda meydana gelen artışın karbon emisyonlarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Enerji yoğunluğunu ele alan çalışmalarda ülke gruplarının yanı sıra tekil ülke örneklemi de kullanılmıştır. Danish vd., (2020) Amerika Birleşik Devletleri için yaptıkları çalışmada enerji yoğunluğu ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 1985-2017 dönemi ARDL sınır testi yaklaşımıyla test edilmiş ve analiz sonucunda enerji yoğunluğunun artmasının çevresel kirliliği arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak enerji yoğunluğu çevre literatüründe sıkça kullanılan EKC hipotezinin yanında STIRPAT modelinde de kullanılmıştır. Dogan ve Shah (2022), Birleşik Arap Emirlikleri için STIRPAT modelini 1992-2017 yılları için kullanmışlardır. Kurulan modelde çevresel kirlilik için ekolojik ayak izi kullanılmıştır. Analiz sonucunda enerji yoğunluğu ve yenilenebilir enerji artışının ekolojik ayak izini küçültülmesinde olumlu sonuçlar doğurduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Enerji-çevresel kirlilik ilişkisi gibi ticaretin çevre üzerindeki etkileri de literatürde oldukça yoğun ilgi görmektedir. Ticaretin çevre üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda çoğunlukla ticari açıklık kullanılmıştır (Atici,

2009; Sharif Hossain, 2011; Tenaw & Beyene, 2021). Ticari açıklığın sera gazı emisyonlarını arttırdığı, ekolojik ayak izi ve bileşenlerini büyüttüğü kısaca çevresel kirliliğe neden olduğuna dair oldukça fazla çalışma bulunmaktadır (Aşıcı & Acar, 2016; Jayanthakumaran vd., 2012; Li vd., 2016). Bununla birlikte ticari açıklığın çevresel kirliliği azaltıcı etkileri bulunduğunu iddia eden çalışmalar da azımsanmayacak derecede fazladır (Antweiler vd., 2001; Destek & Sinha, 2020; Managi vd., 2009). Birbirine zıt sonuçlara ulaşılmasında şüphesiz ki yapılan çalışmada kullanılan örneklemin büyük payı bulunmaktadır. Nitekim Baek vd. (2009) artan uluslararası ticaretin gelişmekte olan ülkelerde çevresel kirliliği arttırırken gelişmekte olan ülkelere çevresel kirliliği azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

Seçilen ülke örneklemi gibi ticareti temsilen kullanılan değişkenler de farklı sonuçlar bulunmasında etkili olmuştur. Nitekim bu nedenle araştırmacıların ilgisi ticaret hacmini ele alan değişkenlerden ziyade ticaretin kalitesini ortaya koyan ihracat ürün kalitesi, ihracat ürün çeşitliliği, ithalat çeşitlendirmesi gibi değişkenlere kaymıştır.(Can, Ahmed vd., 2022; Jiang vd., 2022; Liu vd., 2018). Nitekim bu tür değişkenlerden ticareti yapılan ürünlerin niteliğini, bilgi ve yetenek yoğunluğunu temsil edebilen ekonomik kompleksite de oldukça yoğun ilgi görmektedir.

Ekonomik Kompleksitenin çevre üzerindeki etkilerini EKC hipotezi yardımıyla araştıran Yilanci ve Pata (2020) bağımlı değişken olarak ekolojik ayak izini kullanmışlardır. Örneklem olarak Çin'in kullanıldığı analizde 1965-2016 dönemi ele alınarak zaman serisi analizlerinden Fourier ARDL yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda ekonomik kompleksitede meydana gelen artışın ekolojik ayak izini büyüten en önemli unsur olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu durumun nedeni olarak düşük enerji verimliliği olduğunu ileri sürmüşlerdir. Can ve Gozgor (2017) ise EKC hipotezini Fransa için test etmiş fakat bağımlı değişken olarak ekolojik ayak izi yerine CO2 emisyonunu kullanmışlardır. EKC hipotezinin doğrulandığı çalışmada uzun dönemde ekonomik kompleksitenin CO2 emisyonlarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Neagu (2020), en kompleks üretim yapan seçilmiş 48 ülke örneğini ele almış ve 1995-2014 dönemini incelemiştir. Açıklayıcı değişken olarak milli gelir ve fosil enerji tüketiminin de kullanıldığı modelde değişkenler arasında uzun dönem eşbütünlük ilişkisinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca Panel FMOLS ve DOLS ile uzun dönem katsayı tahmini yapılmış ve ekonomik kompleksitenin ekolojik ayak izini büyüttüğü sonucuna ulaşmıştır.

Neagu (2019), yaptığı bir başka çalışmada ise ekonomik kompleksitenin çevre üzerindeki etkisine daha farklı bir yorum getirmiştir. EKC hipotezini

modifiye ederek gelir veya ekonomik büyümeyi temsil eden değişkenler yerine ekonomik kompleksiteyi kullanmıştır. Seçilmiş 25 Avrupa ülkesinin örneklem olarak kullanıldığı çalışmada ekonomik kompleksitenin belirli bir eşik düzeyine ulaşıncaya kadar çevresel kirliliği arttıracak bu eşik aşıldıktan sonra ise çevre üzerinde olumlu etkiler oluşacağını iddia etmiştir.

Romero ve Gramkow (2021), ekonomik kompleksite ile sera gazı emisyonları arasındaki ilişkiyi daha farklı bir biçimde ele almışlardır. Yapılan çalışmaya göre kompleks ürün üretiminin kişi başına düşen emisyonların yanı sıra sera gazı emisyon yoğunluğunun azaltılmasında katkı sunacağı ileri sürülmüştür. Bu hipotezin temelinde kompleks ürün üretiminde kullanılan teknoloji ve yaratılan daha yüksek katma değer nedeniyle bu ürünlerin daha düşük emisyon olacağıdır. Nitekim bu varsayım 67 ülke için 1976-2012 dönemi ele alınarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ise ekonomik kompleksitede meydana gelen %0,1'lik artış karbon emisyonlarında %2'lik bir azalmaya yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır. Çağlar vd. (2022) ise ekonomide yapısal dönüşümün daha net görülebileceği ülke örneklemini ve zaman dilimi seçmiştir. 1990-2018 döneminin ele alındığı BRICS ülke örneklemini ele alınmıştır. Karbon emisyonlarının belirleyicilerinin ekonomik kompleksite bağlamında ele alındığı çalışmada ekonomik kompleksite ve karbon emisyonlarının uzun dönemde eşbütünleşik oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Uzun dönem katsayı tahmini sonuçlarında ise ekonomik kompleksitenin uzun dönemde karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol üstlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Chu (2021), ekonomik kompleksiteyi çevresel kalitenin yükseltilmesinde yeni bir itici faktör olarak nitelemiş ve çevresel Kuznets eğrisini ekonomik kompleksite ile modifiye etmiştir. Çevresel Kuznets eğrisinde kullanılan gelir değişkeni yerine ekonomik kompleksiteyi kullanmış ve kurduğu modele ekonomik kompleksitenin karesini de dahil etmiştir. 118 ülkeden oluşan geniş bir panel veri setini kullanarak önceki araştırmaları genişleten Chu'nun elde ettiği sonuçlar tutarlı bir şekilde, üzerinde ekonomik karmaşıklığın CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin pozitiften negatife döndüğü bir eşğin mevcut olduğunu göstermiştir. Ayrıca ekonomik kompleksite ve CO₂ emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Chu'nun (2021) kurmuş olduğu modeli takip eden bir başka çalışma ise Balsalobre-Lorente vd. (2022) tarafından yapılmıştır. Ekonomik kompleksiteye dayalı çevresel Kuznets hipotezini test etmek için PIIGS ülke örnekleminin kullanıldığı çalışmada 1990-2019 dönemi ele alınmıştır. Ampirik sonuçlar ekonomik kompleksite ve CO₂ emisyonları arasında eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca ampirik bulgular ekonomik kompleksite ve CO₂ emisyonları arasında ters U

biçiminde bir ilişkinin dahası N şeklinde bir ilişkinin bulunduğunu da ortaya koymuştur.

Yapılan analiz sonucunda elde edilen uzun dönem katsayıları modifiye edilmiş EKC hipotezini desteklediği sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik kompleksite ve CO2 emisyonları arasında ters U ilişkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim Ikram vd. (2021) bu durumu da göz önünde bulundurarak ekonomik kompleksite sıralamasında 1. sırada yer alan Japonya'yi ele almışlardır. 1965Q1-2017Q4 çeyreklik verileriyle yapılan çalışmada uzun dönemde ekolojik ayak izi ve ekonomik kompleksite arasında eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ekonomik kompleksitenin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif asimetric etkisinin bulunduğu ve bu etkinin zaman içerisinde azaldığını belirtmiştir.

3. Veri Seti ve Metodoloji

3.1. Veri Seti

Karbon ayak izinin bağımlı değişken olarak ele alındığı çalışmada açıklayıcı değişkenler olarak kişi başı milli gelir, enerji yoğunluğu ve ekonomik kompleksite kullanılmıştır. Yapılan çalışmada mevcut verilerin yayınlanmış son halleri kullanılarak en geniş zaman aralığı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan veriler 1965-2016 yıllarını kapsamaktadır. Karbon ayak izi, Küresel Ayak izi Ağı (Global Footprint Network.) sitesinden küresel hektar ölçü birimi cinsinden alınmıştır. Enerji yoğunluğu ise “Our World in Data” sitesinden kilovat saat enerji tüketimi başına Dolar bazında üretilen gayri safi yurt içi hasılayı temsil etmektedir. Kişi başı milli gelir ise 2015 yılı sabit fiyatlarıyla Dolar cinsinden Dünya Bankası veri bankasından (WDI, 2021) temin edilmiştir. Son olarak ekonomik kompleksite ise OEC'den (2022) alınmıştır.

3.2. Model ve Yöntem

Yapılan çalışmada Shahbaz vd. (2016), Aydın ve Turan (2020) ve Shokoohi vd.'nin (2022) kullanmış olduğu model temel alınmış ve önceki çalışmalardan farklı olarak modele ekonomik kompleksite dâhil edilmiştir. Böylece karbon ayak izi ile kişi başı milli gelir, enerji yoğunluğu ve ekonomik kompleksite arasındaki ilişki çevresel Kuznets eğrisi bağlamında aşağıda verildiği biçimde modellenmiştir.

$$CF_t = f(EI_t, Y_t, Y_t^2, ECİ_t) \quad (1)$$

Kurulu modelde CF karbon ayak izini, EI enerji yoğunluğunu, Y kişi başı milli geliri, Y^2 kişi başı milli gelirin karesini, ECİ ekonomik kompleksiteyi

temsil etmektedir. Modelde yer alan tüm değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Dolayısıyla ekonometrik modelin aşağıdaki biçimde ifade edilmesi mümkündür.

$$\ln CF_t = a_0 + a_1 \ln EI_t + a_2 \ln Y_t + a_3 \ln Y_t^2 + a_4 ECI_t + u_t \quad (2)$$

Bu çalışmada değişkenler arasındaki ilişkinin derinlemesine incelenmesi amaçlandığından öncelikle yapısal kırılmalı birim kök testi ve yapısal kırılmalı eşbütünleşme testi yapılmıştır. Eşbütünleşme ilişkisinin araştırılmasından sonra seriler arasında uzun dönem ilişkisi araştırılmış ve son olarak da asimetrik nedensellik testi uygulanarak analiz sonlandırılmıştır.

3.3. Carrion-i-Silvestre Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi

Verilerin durağanlıklarının araştırılmasında Carrion-i-Silvestre vd. (2009) (CS) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalı birim kök testi kullanılmıştır. CS testi gelişmekte olan Türkiye gibi ülkelere ait değişkenlerin durağanlıklarının test edilmesinde oldukça kullanışlıdır. Gelişmekte olan ülkeler ekonomik dönüşüm süreçlerinde rejim değişikliklerine ve ekonomik krizlerden kaynaklanan yapısal kırılmalara sahne olabilmektedir. CS testi yapısal kırılmaları içsel olarak belirleyebilmekte ve beş yapısal kırılmaya kadar izin vermektedir. Dolayısıyla CS testi seçilen örnekleme uyumlu çalışacak bir birim kök testidir. CS testinin H_0 hipotezi “Yapısal kırılmalar altında birim kök vardır” şeklinde iken, H_1 hipotezi “Yapısal kırılmalar altında birim kök yoktur” biçimindedir. Yapılan CS testi sonuçları aşağıda Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Carrion-i-Silvestre (2009) Çoklu Kırılmalı Birim Kök Testi Sonuçları

	P_T	MP_T	MZ_a	MSB	MZ_t	Kırılma Tarihleri
CF	18.62 [8.50]	17.01 [8.50]	-22.20 [-43.68]	0.14 [0.10]	-3.32 [-4.66]	1977, 1993, 2000, 2005, 2011
EI	17.95 [8.54]	17.17 [8.54]	-23.80 [-45.45]	0.14 [0.10]	-3.36 [-4.77]	1973, 1980, 1995, 2003, 2011
Υ	20.31 [9.31]	18.76 [9.31]	-23.47 [-46.71]	0.14 [0.10]	-3.42 [-4.82]	1974, 1979, 1993, 2000, 2007
ECI	16.76 [8.77]	16.33 [8.77]	-24.95 [-45.77]	0.14 [0.10]	-3.51 [-4.77]	1969, 1977, 1983, 2002, 2007
ΔCF	3.87 [5.54]*	3.95 [5.54]*	-23.03 [-17.32]*	0.14 [0.16]*	-3.39 [-2.89]*	-
ΔEI	4.41 [5.54]*	4.55 [5.54]*	-25.06 [-17.32]*	0.13 [0.16]*	-3.38 [-2.89]*	-
$\Delta \Upsilon$	3.95 [5.54]*	3.69 [5.54]*	-24.65 [-17.32]*	0.14 [0.16]*	-3.51 [-2.89]*	-
ΔECI	3.54 [5.54]*	3.58 [5.54]*	-25.42 [-17.32]*	0.14 [0.16]*	-3.56 [-2.89]*	-

Not: “ Δ ” ilgili serinin birinci farkının alındığını göstermektedir. “*”, sembolü serilerin %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 1’de CS testi sonuçlarında hesaplanan test istatistiklerinden parantez içerisinde “[]” gösterilen değerler bootstrap kullanılarak 1000 tekrar sonucu üretilen kritik değerlerdir. Kritik değerler incelendiğinde tüm serilerin düzey değerlerinde hesaplanan test istatistikleri, kritik değerden büyük olduğu dolayısıyla birim kök içerdiği görülürken birinci farkları alındığında tüm test tekniklerine göre durağan hale geldikleri görülmektedir. Tüm serilerin farkta durağan olduğu görüldüğünden seriler arasındaki eşbütünlüşme ilişkisinin araştırılmasında bir engel bulunmamaktadır.

3.4. Maki Yapısal Kırılmalı Eşbütünlüşme Testi

Analize CS yapısal kırılmalı birim kök testinin doğal bir devamı olan Maki (2012) yapısal kırılmalı eşbütünlüşme testi olarak görülebilir. Maki eşbütünlüşme testi de CS testi gibi beş yapısal kırılmaya kadar izin verebilmektedir. Ayrıca sabitte ve eğimde kırılma ve trendin varlığı durumunu da dikkate aldığı dört farklı eşbütünlüşme testi de yapabilmektedir. Maki (2012) testinde analize dahil edilecek değişkenlerin farkta durağan olmaları

gerekmektedir. Maki testinin yapılmasında sabit terim ve eğimde yapısal kırılmaya izin veren test modeli kullanılmış ve test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Maki (2012) Çoklu Yapısal Kırılmalı Eşbütünlüşme Testi

Test İstatistiği	Kritik değer			Yapısal Kırılma Tarihleri	
	%1	%5	%10		
Model 1	-12.53***	-10.08	-9.48	-9.15	1974, 1981, 1989, 1997, 2003

*Not: Kritik değerler, Maki (2012)’nin ilgili makalesinde hazırlanmış olduğu Tablo 1’den alınmıştır. “***”, sembolü %1 önem derecesinde eşbütünlüşmenin varlığını ifade etmektedir.*

Tablo 3’teki sonuçlar incelendiğinde, hesaplanan test istatistiklerinin, kritik değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Maki testinin H_0 hipotezi olan “Yapısal kırılmalar altında eşbütünlüşme yoktur” hipotezinin reddedildiği ve seriler arasında eşbütünlüşme ilişkisinin var olduğu görülmektedir. Eşbütünlüşme ilişkisinin varlığı gösterildiğinden uzun dönem eşbütünlüşme katsayı tahminine geçilebilir.

3.5. Uzun Dönem Eşbütünlüşme Katsayılarının Tahmini

Seriler arasında uzun dönem eşbütünlüşme katsayıları dinamik en küçük kareler yöntemiyle (DOLS) tahmin edilmiştir. DOLS tahmincisi sadece seriler arasında eşbütünlüşme ilişkisinin varlığı durumunda kullanılabilen içsellik ve otokorelasyonun varlığı durumlarında dahi güçlü ve tutarlı sonuçlar üretebilmektedir (Göçer & Peker, 2014:118).

Tablo 3. Uzun Dönem Eşbütünlüşme Katsayıları

Eİ	γ	γ^2	ECİ	C	R^2	DW	F stat.
-0.2681	17.5644	-2.1597	0.0224	-35.407	0.89	1.65	775.35
[-1.94]**	[10.26]***	[-9.62]***	[3.92]***	[-10.88]***			[0.00]***

*Kaynak: Parantez içerisinde yer alan değerler, t istatistikleridir. Tahminlerdeki otokorelasyon ve değişen varyans sorunları, Newey-West yöntemi ile giderilmeye çalışılmıştır. “***” ve “**” sembolleri sırasıyla %5 ve %1 önem derecesinde istatistiki olarak anlamlılığı ifade etmektedir.*

Model için yapılan uzun dönem katsayı tahmininde tüm değişkenlerinin istatistiki olarak anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Uzun dönem katsayı sonuçları incelendiğinde çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin geçerli

olduğu görülmektedir. Enerji yoğunluğunda artışın karbon ayak izini azalttığı görülmektedir. Daha detaylı bakmak gerekirse enerji yoğunluğunda meydana gelen %1'lik artışın karbon ayak izini %0,26 oranında küçülttüğünü göstermektedir. Bulunan bu sonuç Dogan ve Shah (2022) ile Nathaniel vd.'nin (2021) sonuçlarıyla benzeştiği görülmektedir.

Enerji yoğunluğundaki düşüş verimlilik artışına ve teknolojik ilerleme anlamına da gelebilmektedir (Bilgili vd., 2017; Koçak vd., 2020). Dolayısıyla Türkiye'de verimliliğin azalması aynı zamanda potansiyel büyümeyi de azaltabilmekte ve böylece karbon ayak izi de azalabilmektedir. Öte yandan enerji yoğunluğu verileri incelendiğinde 1965 yılında 6 TWh olan yenilenebilir enerji tüketiminin 2020 yılında 316 TWh 'ya yükseldiği görülmektedir (Our World in Data). Enerji yoğunluğunda meydana gelen artışta yenilenebilir enerji tüketiminin oldukça önemli bir payının bulunduğu görülmektedir. Son olarak ekonomik kompleksitede meydana gelen artışın karbon ayak izini arttırdığı görülmektedir.

3.6. Kısa Dönem Analizi: Hata Düzeltme Modeli

Kısa dönemde hata düzeltme modelinde değişkenlerin durağan halleri kullanılarak açıklayıcı değişkenlere hata düzeltme parametresi eklenmektedir. Eşbütünleşme denklemlerinden elde edilen hata terimlerinin bir gecikmeli değeri hata düzeltme terimini göstermektedir (Bozdağlıoğlu, 2007:221). DOLS ile tahmin edilen kısa dönem hata düzeltme modeli ve tahmin sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Kısa Dönem Hata Düzeltme Modeli Tahmin Sonuçları

ECT_{t-1}	$\Delta Eİ$	ΔY	ΔY^2	$\Delta ECİ$	C	R2	DW	F stat.
-0.5430	0.1660	13.1171	1.5477	0.0078	-0.0025	0.69	1.91	24.05
[-3.79]***	[1.17]	[3.19]***	[2.85]***	[1.92]**	[-0.75]			[0.00]***

*Not: Parantez içerisinde yer alan değerler, t istatistikleridir. Tahminlerdeki otokorelasyon ve değişen varyans sorunları, Newey-West yöntemi ile giderilmeye çalışılmıştır. “***” ve “**” sembolleri sırasıyla %5 ve %1 önem derecesinde istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir.*

Kısa dönem hata düzeltme modellerinde üzerinde durulması gereken değişken hata düzeltme değişkenidir. Yapılan tahmin sonucunda hata düzeltme teriminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Öte yandan hata teriminin katsayısı negatif anlamlıdır. $ECT_{(t-1)}$ 'nin negatif katsayıya sahip olması kısa dönem içerisinde yaşanan şokların zaman içerisinde giderildiğini ve serilerin uzun dönemde birbirlerine yakınsadığını

göstermektedir. Bu durum kısa dönemde yaşanan sapmaların uzun dönemde ortadan kalkacağı ve uzun dönemde denge değerine doğru hareket edeceğini göstermektedir.

3.7. Asimetrik Nedensellik Testi

Değişkenler arasındaki ilişki son olarak Hatemi-J (2012), tarafından geliştirilen asimetrik nedensellik testi ile incelenmiştir. Klasik nedensellik testlerinde değişkenlerde meydana gelecek pozitif bir şokun etkisiyle negatif bir şokun etkisinin aynı olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla şoklar arasında bir ayırımı gidilmemektedir. Bu durum nedensellik ilişkisinin araştırılmasında çok kısıtlayıcı bir varsayım olabilmektedir. Çünkü birçok durumda nedensellik ilişkisine asimetrik yapılar etki etmektedir (Hatemi-J, 2012:448). Asimetrik nedensellik testi ile her değişkenin pozitif ve negatif şoklara diğer değişkenlerce verilen negatif ve pozitif şokların nedensel ilişkisi araştırılmaktadır. EKC hipotezi bağlamında çevresel bozulmanın araştırıldığı çalışmalarda değişkenler arasındaki asimetrik ilişkilerin araştırılması oldukça önemlidir (Emek & Özçelebi, 2021:368). Çevresel Kuznets hipotezinin test edilmesinde kullanılan ekonomik büyümenin tüm şoklarından karbon ayak izinin tüm şoklarına doğru nedensellik ilişkisinin ortaya konabilmesinde asimetrik nedensellik oldukça kullanışlı bir araçtır (Mert & Aykan, 2022:247). Bununla birlikte enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi ve buna bağlı olarak karbon ayak izi üzerinde pozitif ve negatif şoklardan oluşan asimetrik etkilere neden olabilmektedir (Warsame & Sarkodie, 2022:23363). Dolayısıyla yapılan çalışmada her bir değişkenin bir diğer değişkene karşın dört farklı nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Dolayısıyla bu durum kırk sekiz farklı nedenselliği araştırılmasına neden olmuştur. Bu durumda bootstrap kritik değerlerine göre istatistiki olarak anlamlı sonuçlar üreten sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Asimetrik Nedensellik Testi Sonuçları (Hatemi-J, 2012)

Nedenselliğin Yönü	MWALD İst.	Olasılık Değeri	Bootstrap Kritik değer		
			%1	%5	%10
CF ⁺ ≠>Eİ ⁻	9.001**	0.003	10.559	5.108	3.467
Y ⁺ ≠>CF ⁻	5.234*	0.073	11.357	7.202	5.170
CF ⁻ ≠>Y ⁻	357.775***	0.000	34.708	16.199	11.748
CF ⁺ ≠>ECİ ⁻	13.467**	0.000	15.749	6.100	3.343
Y ⁺ ≠>Eİ ⁺	5.746**	0.017	9.967	5.673	3.737
Y ⁻ ≠>Eİ ⁻	5.278*	0.022	12.880	5.883	3.047
Eİ ⁺ ≠>Y ⁺	5.398**	0.020	8.036	4.483	3.209
ECİ ⁻ ≠>Eİ ⁺	10.833***	0.001	8.633	5.086	3.273
Eİ ⁻ ≠>ECİ ⁻	26.549**	0.000	28.954	11.954	7.213
ECİ ⁻ ≠>Y ⁻	7.188*	0.027	18.556	8.703	6.281
Y ⁺ ≠>ECİ ⁺	4.207*	0.040	8.994	5.396	3.251
Y ⁺ ≠>ECİ ⁻	68.883***	0.000	35.512	14.536	9.296

Not: “≠>” sembolü nedenselliğin olmadığı yönünde H_0 hipotezini göstermektedir. “**,” “***” ve “****” sembolleri sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyinde H_0 hipotezinin reddedildiğini göstermektedir. Bootstrap sayısı 10.000’dir.

Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi sonuçlarına göre enerji yoğunluğunda yaşanan pozitif bir şok kişi başı milli gelir artışı ile nedensellik ilişkisinin olmadığı yönünde H_0 hipotezi reddedilmektedir. Kişi başı milli gelir artışında yaşanan pozitif şokların ekonomik kompleksite ile hem pozitif hem negatif şoklar arasında nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan karbon ayak izi ile ilgili nedensellik ilişkisi incelendiğinde sonuçların uzun dönem katsayı sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Karbon ayak izinin pozitif şoklarından enerji yoğunluğu ve ekonomik kompleksitenin negatif şoklarına nedensellik ilişkisinin mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum karbon ayak izi pozitif şoklarının enerji yoğunluğunda ve ekonomik kompleksitenin azalmasına neden olduğu biçiminde yorumlanabilir. Son olarak enerji yoğunluğu ve kişi başı milli gelir arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu görülmektedir. Enerji yoğunluğunda artış kişi başı milli gelir artışına neden olurken kişi başı milli gelir artışında meydana gelen artışta enerji yoğunluğunu arttırmaktadır.

4. Sonuç ve Politika Önerileri

Yapılan çalışmada, karbon ayak izi, enerji yoğunluğu ve kişi başına düşen reel milli gelir ve ekonomik kompleksite arasındaki ilişkiler çevresel Kuznets hipotezi kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca değişkenlerin kapsadığı dönem ve bu dönemde Türkiye ekonomisinin yaşamış olduğu ekonomik çalkantılar göz

önünde bulundurularak değişkenler arası ilişkiler yapısal kırılmalar altında incelenmiştir. Maki yapısal kırılmalı eşbütünleşme testi sonuçlarına göre seriler arasında yapısal kırılmalar altında eşbütünleşme ilişkisinin mevcut olduğu görülmüştür. Maki sonuçları tüm bağımsız değişkenlerin karbon ayak izi ile uzun vadeli bir ilişkinin mevcudiyetini göstermektedir. Dinamik en küçük kareler yöntemiyle uzun dönem katsayıları ortaya konmuş ve uzun dönemli katsayılar oldukça önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

Çalışmanın bir başka önemli sonucu da enerji yoğunluğunun Türkiye’de karbon ayak izini azalttığı sonucuna ulaşılmasıdır. Yapılan ampirik çalışmalarda enerji yoğunluğunun çevresel etkileri konusunda ülke gurupları veyahut zaman dilimlerine göre farklı sonuçlar elde edilmiştir. Chu ve Le (2022:2877), Doğan vd. (2019:31907) enerji yoğunluğu ve enerji kullanımının karbon emisyonları üzerindeki etkileri inceledikleri çalışmalarda artan enerji yoğunluğu ve enerji kullanımının karbon emisyonlarını azaltıcı etkilerinin bulunabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır. Koyuncu vd. (2021) Türkiye için yapmış oldukları çalışmada enerji yoğunluğunun ekolojik ayak izini azaltabileceği gibi arttırabileceğini dolayısıyla Türkiye ekonomisinin farklı eşik değerlerde farklı sonuçlar ortaya koyduğunu ifade etmiştir.

Her ne kadar literatürde farklı ülkeler için benzer sonuçlar elde edilmiş ise de bu bulgu oldukça ilgi çekici bir sonuçtur. Enerji yoğunluğunun artması aynı miktarda çıktı üretmek için daha çok enerji tüketmek anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle ekonomideki verimsizliği ortaya koymaktadır. Peki nasıl olur da enerji yoğunluğu arttığı halde karbon ayak izi küçülebilmektedir? Bu durumda iki görüş ortaya koymak mümkündür. Öncelikle verimlilikte meydana gelen düşüş beraberinde ekonomik büyümede de düşüşü getirebilmektedir. Diğer yandan enerji yoğunluğunun ölçümü sadece fosil yakıtları değil aynı zamanda yenilenebilir enerji tüketimini de içermektedir. 1965 yılında enerji tüketiminin çok az bir kısmı hidroelektrik santrallerden elde edilirken ve neredeyse başka hiçbir yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmazken günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları ekonomide önemli bir yer tutmaktadır. Öte yandan 1965 yılında ülke ekonomisinin başlıca enerji kaynağı kömür ve petrol iken günümüzde daha çevreci ve karbon salınımı daha düşük olan doğalgaz da önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla enerji yoğunluğunda artışın karbon ayak izini küçültmesi anlaşılabilir bir durumdur. Bununla birlikte bu durum ülke ekonomisinin verimsizliğini de ortaya koymaktadır.

Ekonomide yapısal dönüşümü sağlayarak katma değeri yüksek enerji yoğunluğu düşük üretim biçimine geçilmesi çevrenin korunmasında ve sürdürülebilir büyümenin sağlanmasında önemli katkı sunacaktır. Nitekim

ekonomik kompleksite sonuçları da benzer sonuçları ortaya koymaktadır. Ekonomik kompleksitede meydana gelen artışın Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde karbon emisyonlarını ve buna bağlı olarak karbon ayak izini arttırmaları sıkça rastlanılan bir durumdur. Bunun temel nedeni kalkınma sürecinin ilk aşamalarında tarımsal üretimden ağır sanayi üretimine geçişle birlikte emek ve karbon yoğun sektörlerde uzmanlaşılması gelmektedir. Doğan vd. (2019:31909). Ülkelerin ekonomik yapılarında yaşanan dönüşümün belirli bir eşik değere ulaşıncaya dek ekonomik kompleksite çevresel bozulmalara neden olacak ve eşik değerin aşılmasıyla birlikte çevreyi ve karbon ayak izini olumlu etkilemeye başlayacaktır (Doğan vd., (2022)). Ters U biçimi olarak değerlendirilebilecek bu ilişkinin benzeri yapılan çalışmada EKC hipotezinin doğrulanmasıyla görülmektedir. Ampirik analiz sonuçlarından hareketle milli gelir atışı ile birlikte çevresel bozulmanın artacağı yeterli miktarda ekonomik büyüme sonrasında ise karbon ayak izinde bir küçülme olabileceği görülmektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmada Türkiye için EKC hipotezinin geçerli olduğu sonucuna da ulaşılmıştır.

Bu ampirik kanıtlar, ekonomik büyüme sürecinde doğal kaynakların aşırı ve verimsiz kullanıldığını da göstermektedir. Doğal kaynakların aşırı tüketimi ve verimsiz kullanımı, Türkiye'nin ekonomik kalkınma modelinin sürdürülebilir olmadığını bir işaretidir. Bu nedenle Türkiye, ekonomik büyümesinin yanı sıra doğal kaynakları korumak ve daha temiz bir çevre sağlamak için çeşitli önlemler almalıdır. Bu doğrultuda doğal kaynakların üretimde daha az kullanılmasını sağlamalıdır. Bunun yerine bilgi ve beceri yoğun ürünlerin yani soyut ürünlerin üretimini yapan şirketlere vergi muafiyeti ve düşük faizli kredi sağlanabileceği gibi verimlilik artışını beraberinde getirecek yeni teknolojilerin verimsiz eski teknolojilerle değiştirilmesini sağlayacak ekonomik kalkınma programları hazırlanmalıdır.

Kaynakça

- Al-Mulali, U. & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, 84, 382–389. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.004>
- Alam, M. M. & Murad, M. W. (2020). The impacts of economic growth, trade openness and technological progress on renewable energy use in organization for economic co-operation and development countries. *Renewable Energy*, 145, 382–390. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.054>
- Alvarado, R., Tillaguango, B., Dagar, V., Ahmad, M., Işık, C., Méndez, P. & Toledo, E. (2021). Ecological footprint, economic complexity and natural resources rents in Latin America: Empirical evidence using quantile regressions. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128585. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128585>
- Amuakwa-Mensah, F. & Adom, P. K. (2017). Quality of institution and the FEG (forest, energy intensity, and globalization) -environment relationships in sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(21), 17455–17473. doi:10.1007/s11356-017-9300-2
- Andreoni, V. & Galmarini, S. (2016). Drivers in CO2 emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries. *Energy*, 103, 27–37. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.096>
- Antweiler, W., Copeland, B. R. & Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *American economic review*, 91(4), 877–908.
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K. & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255–2260.
- Aşıcı, A. A. & Acar, S. (2016). Does income growth relocate ecological footprint? *Ecological Indicators*, 61, 707–714.
- Atici, C. (2009). Carbon emissions in Central and Eastern Europe: environmental Kuznets curve and implications for sustainable development. *Sustainable Development*, 17(3), 155–160. doi:<https://doi.org/10.1002/sd.372>
- Aydin, M. & Turan, Y. E. (2020). The influence of financial openness, trade openness, and energy intensity on ecological footprint: revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis for BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 43233–43245. doi:10.1007/s11356-020-10238-9
- Baek, J., Cho, Y. & Koo, W. W. (2009). The environmental consequences of globalization: A country-specific time-series analysis. *Ecological Economics*, 68(8), 2255–2264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.021>

- Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M. & Shahbaz, M. (2022). The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. *Renewable Energy*, 185, 1441–1455. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.059>
- Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü. & Kuloğlu, A. (2017). The impact of urbanization on energy intensity: Panel data evidence considering cross-sectional dependence and heterogeneity. *Energy*, 133, 242–256.
- Bozdağlıoğlu, E. Y. U. (2007). Türkiye'nin İthalat ve İhracatının Eşbütünleşme Yöntemi İle Analizi (1990-2007). *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 213–224.
- Cağlar, A. E., Zafar, M. W., Bekun, F. V. & Mert, M. (2022). Determinants of CO2 emissions in the BRICS economies: The role of partnerships investment in energy and economic complexity. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101907. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101907>
- Can, M., Ahmed, Z., Ahmad, M., Oluc, I. & Guzel, I. (2022). The Role of Export Quality in Energy–Growth Nexus: Evidence from Newly Industrialized Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 1–19.
- Can, M. & Gozgor, G. (2017). The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16364–16370. doi:[10.1007/s11356-017-9219-7](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9219-7)
- Can, M., Oluc, I., Sturm, B., Guzel, I., Gavurova, B., & Popp, J. (2022). Nexus Between Trading Non-Green Products and Environment: Introducing Non-Green Trade Openness Index. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.950453>
- Carrion-i-Silvestre, J. L., Kim, D. & Perron, P. (2009). GLS-based unit root tests with multiple structural breaks under both the null and the alternative hypotheses. *Econometric theory*, 25(6), 1754–1792.
- Chandran, V. G. R. & Tang, C. F. (2013). The impacts of transport energy consumption, foreign direct investment and income on CO2 emissions in ASEAN-5 economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 445–453.
- Charfeddine, L. (2017). The impact of energy consumption and economic development on Ecological Footprint and CO2 emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model. *Energy Economics*, 65, 355–374. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.009>
- Chen, B., Li, J. S., Zhou, S. L., Yang, Q. & Chen, G. Q. (2018). GHG emissions embodied in Macao's internal energy consumption and external trade: Driving forces via decomposition analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 4100–4106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.063>

- Chen, L. & Yang, Z. (2015). A spatio-temporal decomposition analysis of energy-related CO₂ emission growth in China. *Journal of Cleaner Production*, 103, 49–60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.025>
- Chu, L. K. (2021). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. *Applied Economics Letters*, 28(7), 612–616. doi:10.1080/13504851.2020.1767280
- Chu, L. K. & Le, N. T. M. (2022). Environmental quality and the role of economic policy uncertainty, economic complexity, renewable energy, and energy intensity: the case of G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 2866–2882. doi:10.1007/s11356-021-15666-9
- Cicca, C., Marinescu, C., Popa, I. & Dobrin, C. (2014). Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macroeconomic level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 555–564.
- Cornillie, J. & Fankhauser, S. (2004). The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, 26(3), 283–295.
- Danish, Ulucak, R. & Khan, S.-U.-D. (2020). Relationship between energy intensity and CO₂ emissions: Does economic policy matter? *Sustainable Development*, 28(5), 1457–1464. doi:<https://doi.org/10.1002/sd.2098>
- Destek, M. A. & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118537>
- Díaz, A., Marrero, G. A., Puch, L. A. & Rodríguez, J. (2019). Economic growth, energy intensity and the energy mix. *Energy Economics*, 81, 1056–1077. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.05.022>
- 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101867>
- Doğan, B., Saboori, B. & Can, M. (2019). Does economic complexity matter for environmental degradation? An empirical analysis for different stages of development. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 31900–31912. doi:10.1007/s11356-019-06333-1
- Dogan, E. & Shah, S. F. (2022). Analyzing the Role of Renewable Energy and Energy Intensity in the Ecological Footprint of the United Arab Emirates. *Sustainability*. doi:10.3390/su14010227
- Elshimy, M. & El-Aasar, K. M. (2020). Carbon footprint, renewable energy, non-renewable energy, and livestock: testing the environmental Kuznets curve hypothesis for the Arab world. *Environment, Development and Sustainability*, 22(7), 6985–7012. doi:10.1007/s10668-019-00523-0

- Emek, Ö. F. & Özçelebi, O. (2021). Türkiye’de Çevresel Kuznets Hipotezinin Geçerliliği Bağlamında Karbon Emisyonu (CO₂) ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Hatemi-J ve Zamanla Değişen Nedenlilik. *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 364–386.
- Fakher, H.-A. (2019). Investigating the determinant factors of environmental quality (based on ecological carbon footprint index). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 10276–10291.
- Feng, T., Sun, L. & Zhang, Y. (2009). The relationship between energy consumption structure, economic structure and energy intensity in China. *Energy Policy*, 37(12), 5475–5483.
- Global Footprint Network. (2022). 26 Ocak 2022 tarihinde <https://www.footprintnetwork.org/> adresinden erişildi.
- Göçer, İ. & Peker, O. (2014). Yabancı Doğrudan Yatırımların Verimlilik Etkisi: Türkiye, Çin Ve Hindistan Örneğinde Karşılaştırmalı Çoklu Yapısal Kırılmalı Eşbütünlüşme Analizi. *Verimlilik Dergisi*, (1), 7–40.
- Güzel, I. & Oluç, İ. (2021). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ticari Açıklığın Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 343–369.
- Hafeez, M., Yuan, C., Shahzad, K., Aziz, B., Iqbal, K. & Raza, S. (2019). An empirical evaluation of financial development-carbon footprint nexus in One Belt and Road region. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), 25026–25036. doi:10.1007/s11356-019-05757-z
- Hatemi-j, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical economics*, 43(1), 447–456.
- Herrala, R. & Goel, R. K. (2012). Global CO₂ efficiency: Country-wise estimates using a stochastic cost frontier. *Energy policy*, 45, 762–770.
- Hidalgo, C. A. & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(26), 10570–10575. doi:10.1073/pnas.0900943106
- Holtz-Eakin, D. & Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57(1), 85–101. doi:https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01449-X
- Hou, J., Wang, J., Chen, J. & He, F. (2020). Does urban haze pollution inversely drive down the energy intensity? A perspective from environmental regulation. *Sustainable Development*, 28(1), 343–351. doi:https://doi.org/10.1002/sd.2022
- Ikram, M., Xia, W., Fareed, Z., Shahzad, U. & Rafique, M. Z. (2021). Exploring the nexus between economic complexity, economic growth and ecological footprint: Contextual evidences from Japan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101460. doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101460

- Jayanthakumaran, K., Verma, R. & Liu, Y. (2012). CO2 emissions, energy consumption, trade and income: a comparative analysis of China and India. *Energy Policy*, 42, 450–460.
- Jiang, S., Mentel, G., Shahzadi, I., Jebli, M. Ben & Iqbal, N. (2022). Renewable energy, trade diversification and environmental footprints: Evidence for Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC). *Renewable Energy*.
- Koçak, E., Ulucak, R. & Ulucak, Z. Ş. (2020). The impact of tourism developments on CO2 emissions: An advanced panel data estimation. *Tourism Management Perspectives*, 33, 100611.
- Koyuncu, T., Beşer, M. K. & Alola, A. A. (2021). Environmental sustainability statement of economic regimes with energy intensity and urbanization in Turkey: a threshold regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 42533–42546. doi:10.1007/s11356-021-13686-z
- Li, T., Wang, Y. & Zhao, D. (2016). Environmental Kuznets curve in China: new evidence from dynamic panel analysis. *Energy Policy*, 91, 138–147.
- Liao, H., Fan, Y. & Wei, Y.-M. (2007). What induced China's energy intensity to fluctuate: 1997–2006? *Energy Policy*, 35(9), 4640–4649. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.028
- Liu, H., Kim, H., Liang, S. & Kwon, O.-S. (2018). Export Diversification and Ecological Footprint: A Comparative Study on EKC Theory among Korea, Japan, and China. *Sustainability*. doi:10.3390/su10103657
- Maki, D. (2012). Tests for cointegration allowing for an unknown number of breaks. *Economic Modelling*, 29(5), 2011–2015.
- Managi, S., Hibiki, A. & Tsurumi, T. (2009). Does trade openness improve environmental quality? *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(3), 346–363. doi:https://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.04.008
- Mert, M. & Aykan, H. (2022). Büyüme ve Emisyonlar Arasındaki Asimetrik Nedensellik Analizi: Türkiye Örneği. *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics*, (36), 235–255. doi:10.26650/ekoist.2022.36.1077521
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Zhou, N. & Xue, S. (2021). Impact of energy intensity, renewable energy, and economic growth on CO2 emissions: Evidence from Africa across regions and income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111233. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111233
- Nathaniel, S. P. (2021a). Economic complexity versus ecological footprint in the era of globalization: evidence from ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 64871–64881. doi:10.1007/s11356-021-15360-w
- Nathaniel, S. P. (2021b). Ecological footprint, energy use, trade, and urbanization linkage in Indonesia. *GeoJournal*, 86(5), 2057–2070.

- Nathaniel, S. P., Barua, S. & Ahmed, Z. (2021). What drives ecological footprint in top ten tourist destinations? Evidence from advanced panel techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 38322–38331. doi:10.1007/s11356-021-13389-5
- Neagu, O. (2019). The Link between Economic Complexity and Carbon Emissions in the European Union Countries: A Model Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) Approach. *Sustainability* . doi:10.3390/su11174753
- Neagu, O. (2020). Economic Complexity and Ecological Footprint: Evidence from the Most Complex Economies in the World. *Sustainability* . doi:10.3390/su12219031
- Neagu, O. & Teodoru, M. C. (2019). The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries. *Sustainability* . doi:10.3390/su11020497
- Nepal, A. (2007). Global warming and rice based cropping system. *Journal of Agriculture and Environment*, 8, 62–65.
- O'Mahony, T. (2013). Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: an extended Kaya identity. *Energy Policy*, 59, 573–581.
- OECD Economic Complexity rankings- The Observatory of Economic Complexity. (2022). 2 Nisan 2022 tarihinde <https://oec.world/en/rankings/country/neci/> adresinden erişildi.
- Oluç, I., Ben Jebli, M., Can, M., Guzel, I., & Brusselaers, J. (2022). The productive capacity and environment: evidence from OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22341-0>
- Our World in Data. (2022). Our World in Data. 2 Nisan 2022 tarihinde <https://ourworldindata.org/> adresinden erişildi.
- Pan, C., Peters, G. P., Andrew, R. M., Korsbakken, J. I., Li, S., Zhou, D. & Zhou, P. (2017). Emissions embodied in global trade have plateaued due to structural changes in China. *Earth's Future*, 5(9), 934–946.
- Pata, U. K. (2021). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 846–861. doi:10.1007/s11356-020-10446-3
- Proskuryakova, L. & Kovalev, A. (2015). Measuring energy efficiency: is energy intensity a good evidence base? *Applied energy*, 138, 450–459.
- Roca, J. & Alcántara, V. (2001). Energy intensity, CO2 emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case. *Energy Policy*, 29(7), 553–556. doi:[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00154-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00154-3)

- Romero, J. P. & Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, 139, 105317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>
- Saboori, B. & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892–905. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.099>
- Salahuddin, M., Habib, M. A., Al-Mulali, U., Ozturk, I., Marshall, M. & Ali, M. I. (2020). Renewable energy and environmental quality: A second-generation panel evidence from the Sub Saharan Africa (SSA) countries. *Environmental Research*, 191, 110094.
- Sanches-Pereira, A., Tudeschini, L. G. & Coelho, S. T. (2016). Evolution of the Brazilian residential carbon footprint based on direct energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 184–201.
- Seixas, J. & Ferreira, F. (2021). Carbon Economy and Carbon Footprint BT - Enzymes for Solving Humankind's Problems: Natural and Artificial Systems in Health, Agriculture, Environment and Energy. J. J. G. Moura, I. Moura & L. B. Maia (Ed.), (ss. 3–28). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-58315-6_1
- Shahbaz, M., Jam, F. A., Bibi, S. & Loganathan, N. (2016). Multivariate Granger causality between CO2 emissions, energy intensity and economic growth in Portugal: evidence from cointegration and causality analysis. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(1), 47–74. doi:10.3846/20294913.2014.989932
- Shahbaz, M., Solarin, S. A. & Ozturk, I. (2016). Environmental Kuznets Curve hypothesis and the role of globalization in selected African countries. *Ecological Indicators*, 67, 623–636. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.024>
- Shahbaz, M., Solarin, S. A., Sbia, R. & Bibi, S. (2015). Does energy intensity contribute to CO2 emissions? A trivariate analysis in selected African countries. *Ecological Indicators*, 50, 215–224. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.007>
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I. & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102138>
- Sharif Hossain, M. (2011). Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11), 6991–6999. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.042>

- Shokoohi, Z., Dehbidi, N. K. & Tarazkar, M. H. (2022). Energy intensity, economic growth and environmental quality in populous Middle East countries. *Energy*, 239, 122164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122164>
- Sinha, A., Sengupta, T. & Alvarado, R. (2020). Interplay between technological innovation and environmental quality: Formulating the SDG policies for next 11 economies. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118549. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118549>
- Sobrinho, N. & Monzon, A. (2014). The impact of the economic crisis and policy actions on GHG emissions from road transport in Spain. *Energy Policy*, 74, 486–498. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.020>
- Swart, J. & Brinkmann, L. (2020). Economic Complexity and the Environment: Evidence from Brazil BT - Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030. W. Leal Filho, U. Tortato & F. Frankenberger (Ed.), (ss. 3–45). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-30306-8_1
- Tenaw, D. & Beyene, A. D. (2021). Environmental sustainability and economic development in sub-Saharan Africa: A modified EKC hypothesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110897. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110897>
- Ulucak, R. (2020). How do environmental technologies affect green growth? Evidence from BRICS economies. *Science of the Total Environment*, 712, 136504.
- Warsame, A. A. & Sarkodie, S. A. (2022). Asymmetric impact of energy utilization and economic development on environmental degradation in Somalia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 23361–23373. doi:10.1007/s11356-021-17595-z
- Williston, B. (2018). Climate Change Ethics. D. A. Dellasala & M. I. B. T-E. of the A. Goldstein (Ed.), (ss. 45–52). Oxford: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10495-1>
- World Development Indicators (WDI). (2021). <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> adresinden erişildi.
- Yang, H.-Y. (2000). A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. *Energy economics*, 22(3), 309–317.
- Yilanci, V. & Pata, U. K. (2020). Investigating the EKC hypothesis for China: the role of economic complexity on ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 32683–32694. doi:10.1007/s11356-020-09434-4
- Yin, J., Zheng, M. & Chen, J. (2015). The effects of environmental regulation and technical progress on CO2 Kuznets curve: An evidence from China. *Energy Policy*, 77, 97–108. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.008>