

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi

Impact Of Digitalization And Innovation On Carbon Footprint: Panel Data Analysis For Selected OECD Countries

Muhammet Karanfil^a
Onur Uzma^b
Burcu Bektaş Dalgacı^c
Dila Erden Değirmenci^d

Özet

Dijitalleşme ve inovasyon, günümüz dünyasında toplum üzerinde derin ve hızlı bir etkiye sahiptir. Dijitalleşmenin temelinde, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler vardır. Teknolojide ilerlemeler, yeni iş modelleri yaratma ve verimli iş süreçlerini de beraberinde getirmektedir. İnovasyon, yeni fikirlerin geliştirilmesi aynı zamanda iş süreçleri anlamında yenilikleri içermektedir. Dijitalleşme ve inovasyon toplumda büyük değişim ve dönüşümleri beraberinde getirmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı dijitalleşme ve inovasyonun karbon ayak izine etkisini incelemektir. Dijitalleşmenin ve inovasyonun karbon ayak izine olan etkisi sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve çevresel etkinlikleri artırmak için önemlidir. Makalede seçilmiş 21 OECD ülkeleri bağlamında 2000-2020 yılları arasında dijitalleşme ve inovasyonun karbon ayak izine olan etkisi incelenmektedir. Dijitalleşme ve inovasyonun karbon ayak izi üzerinde nasıl bir etki yarattığı farklı değişkenler göz önüne alınarak ve analiz yapılarak incelenecektir. Araştırmanın sonuçlarına göre CO2 emisyonu değişkeni ile patent başvuru sayısı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ve sabit telefon aboneliği değişkeni arasında tek yönlü iktisadi olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Diğer taraftan CO2 emisyonu değişkeni ile internet kullanan bireyler ve mobil telefon aboneliği değişkenleri arasında ise nedensellik açısından iktisadi olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, dijitalleşmenin ve inovasyonun karbon ayak izine olan etkisini değerlendirmek için kullanılacak mevcut araştırmaların sonuçları ve politika önerileri değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışma, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için daha iyi bilgi edinmeyi ve etkili stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, İnovasyon, Karbon ayak izi

Başvuru: 01.08.2024

Kabul: 16.12.2024

Abstract

Digitalization and innovation have a profound and rapid impact on society in today's world. Digitalization is based on rapid advances in information and communication technologies. Advances in technology bring about the creation of new business models and efficient business processes. Innovation includes the development of new ideas and also innovations in terms of business processes. Digitalization and innovation bring about major changes and transformations in society. The aim of this study is to increase the density of digitalization and innovation in the carbon footprint. The impact of digitalization and innovation on carbon footprint is important for achieving sustainability goals and increasing environmental efficiencies. The article examines the impact of digitalization and innovation on carbon footprint between 2000-2020 in the context of 21 selected OECD countries. The impact of digitalization and innovation on carbon footprint will be examined by considering and analyzing different variables. According to the results of the research, it is concluded that there is a one-way economically significant relationship between the CO2 emission variable and the number of patent applications, information communication technologies exports and fixed telephone subscription variables. On the other hand, it was concluded that there is no economically significant causal relationship between the CO2 emission variable and the individuals using the internet and mobile phone subscription variables. In the following sections of the study, the results of existing research and policy recommendations that can be used to evaluate the impact of digitalization and innovation on the carbon footprint are evaluated. In addition, this study aims to obtain better information and develop effective strategies to achieve sustainability goals.

Key Words: Digitalization, Innovation, Carbon footprint

^a Dr. Öğretim Üyesi, ÇOMÜ Biga Uygulamalı Bilimler Fakültesi, mkaranfil@comu.edu.tr, ORCID No:0000-0003-4078-2214

^b Doktora Öğrencisi, ÇOMÜ LEE, onuruzma7@gmail.com, ORCID No:0000-0003-3069-611X

^c Doktora Öğrencisi, ÇOMÜ LEE, burcuubektas27@gmail.com, ORCID No:0000-0003-1515-8612

^d Doktora Öğrencisi, ÇOMÜ LEE, erdeendila94@gmail.com, ORCID No: 0000-0003-0826-4564

1.GİRİŞ

Dijitalleşme ve inovasyon, modern toplumun ve ekonominin itici güçleri haline gelmiştir. Bilgi ve İletişim Teknolojileri'nin (BİT) hızla yayılması, yapay zekâ, nesnelerin interneti ve büyük veri analitiği gibi yenilikler, iş yapma biçimlerini köklü bir şekilde dönüştürmüştür. Bu teknolojiler, verimliliği artırmakta, yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına olanak tanımakta ve ekonomik büyümeyi hızlandırmaktadır. Son yıllarda, yeni teknolojilerin toplumsal gelişme ve küreselleşme süreçlerine olan etkisi, ekonomik yapıda köklü değişikliklere yol açmıştır. Bu değişim sürecinde dijitalleşme ve inovasyon modern ekonominin merkezinde yer alarak belirleyici bir rol oynamıştır. Dijitalleşmenin ve yenilikçi teknolojinin ekonomik yapı üzerinde yarattığı dönüşüm hem önemli fırsatlar sunmakta hem de bazı tehditler oluşturmaktadır. Bu hızlı dijital dönüşüm ve inovasyonun, özellikle çevresel sürdürülebilirlik üzerinde de derin etkileri bulunmaktadır.

Dijital ekonomi kavramı, internet, hücresel iletişim ve Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) aracılığıyla gerçekleştirilen ilişkilerin ötesinde bir anlam taşımaktadır. Dijital ekonomi, iş süreçlerini ve etkileşimlerini temelinden değiştiren bir yapıya sahiptir. Dijitalleşme, iş dünyasında geleneksel arabulucu zincirlerini kısaltmakta veya tamamen ortadan kaldırmaktadır. Bu, işlemlerin daha hızlı ve daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Krediler, kiralamalar, satışlar, vergiler ve ödemeler gibi çeşitli işlemler, dijital platformlar aracılığıyla hız kazanmakta ve bu sayede ekonomik faaliyetlerin temposu artmaktadır. Dijital ekonomi, firmalar için pazara giriş engellerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Mekânsal kısıtlamaların ortadan kalkmasıyla birlikte, firmalar küresel piyasalara daha kolay erişim sağlayabilmektedir. Bu durum, ticari faaliyetlerin coğrafi sınırlamalardan bağımsız olarak yürütülmesini mümkün hale getirmektedir. Dijitalleşmenin sunduğu bir diğer avantaj, firmalar açısından maliyetlerin düşürülmesidir. İş süreçlerinin dijital platformlar üzerinden yürütülmesi, operasyonel maliyetleri azaltırken, esnek ekonomiyi ve serbest çalışmayı teşvik eder. Bu da firmalara daha rekabetçi olma ve piyasa dinamiklerine hızlı bir şekilde uyum sağlama imkânı tanır. Dijitalleşmenin ekonomiye olan etkisi, geniş bir yelpazede değerlendirilmelidir. Teknolojik gelişmelerin hızla ilerlediği bu dönemde, dijital ekonomi sadece teknolojik araçların kullanımından ibaret değildir. Aynı zamanda, iş dünyasının dinamiklerini değiştiren, ekonomik faaliyetleri hızlandıran ve maliyetleri düşüren bir dönüşüm sürecini ifade eder. Bu nedenle, dijitalleşmenin sunduğu fırsatları ve karşı karşıya olduğu tehditleri dikkatle analiz etmek, gelecekteki ekonomik stratejiler için kritik öneme sahiptir.

Dünya çapında yaşanan hızlı kentleşme, eğitim, sağlık, ulaşım, altyapı, barınma, istihdam, temiz çevre gibi temel hizmetlerin karşılanmasında sorunlar yaratmaktadır. Öte yandan, artan ekonomik faaliyetlerle birlikte hızlı ve yanlış kentleşme, kaynakların aşırı ve gereksiz kullanımına neden olmak gibi birçok olumsuz dışsallığa ve çevre kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Enerji verimliliğinin ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında teknolojik yenilikler ve Ar-Ge harcamaları da büyük önem taşımaktadır. İleri teknolojik yenilikler ekonomide enerji kullanımını düşürürken, enerji verimliliğinde artışa yol açmakta ve daha düşük enerji miktarı ile daha fazla çıktıya ulaşılmasını sağlamaktadır. Böylece teknolojik yenilik enerji kullanımında verimliliği artırmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmektedir. Teknolojik yeniliğin en önemli göstergelerinden biri olan patent başvuruları veya sayıları da çevre kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. İnovasyonun çevre kalitesini iyileştirmek için enerji tasarrufu sağlayarak ve atıkları azaltarak olumlu etkileri olduğu sıklıkla dile getirilmektedir. İktisadi büyümeden taviz vermeden karbondioksit emisyonlarını azaltmak için inovasyon çok önemlidir.

Dijital teknolojilerin ve yenilikçi uygulamaların artan kullanımı, enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Veri merkezleri, bulut bilişim hizmetleri, telekomünikasyon altyapıları ve elektronik cihazlar, büyük miktarda enerji gerektirmekte ve bu da karbon ayak izinin genişlemesine yol açmaktadır. Bu durum, dijitalleşme ve inovasyonun sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktadan hareketle çalışma çerçevesi genel olarak şu şekilde hazırlanmıştır: 2. bölümde dijitalleşme, inovasyon ve karbon ayak izi kavramsal çerçevesi incelenmiştir. 3. bölümde literatür araştırması, 4. Bölümde ekonometrik analiz yapılmıştır. Ekonometrik sonuçlara dayalı olarak varılan sonuçlar 5. Bölümde yer almaktadır.

2.KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1.Dijitalleşme

Teknolojik ilerlemeler, veri yönetimi ve bilgi işlem süreçlerinde köklü değişikliklere yol açmıştır. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, dijitalleşme bilgiye erişim, depolama ve iletim süreçlerini hızlandırarak daha verimli ve güvenilir hale getirmiştir. Dijitalleşme, modern dünyanın işleyişini köklü bir şekilde değiştiren ve her alana katkı sunan önemli bir teknolojik gelişmedir. Dijital kavramı, kelime, resim ve harf gibi göstergelerin elektronik sistemler aracılığıyla işlenmesini, saklanması ve iletilmesini sağlayan geniş kapsamlı bir süreçtir. Bu süreç, verilerin sayısal kodlar kullanılarak dijital formata dönüştürülmesini ve bu formatta işlenmesini içerir. Dijitalleşme, günümüzde iş dünyasından eğitime, sağlık hizmetlerinden kamu yönetimine kadar her alanda devrim niteliğinde değişiklikler getirmiştir. İşlemleri hızlandıran ve maliyetleri düşüren bu süreç, aynı zamanda daha iyi veri analizi ve karar verme yetkinlikleri sunarak organizasyonların rekabet avantajını

artırmaktadır. Özellikle büyük veri (big data) ve yapay zeka (AI) gibi ileri teknolojilerle birleştiğinde, dijitalleşme çok daha sofistike ve etkili uygulamaların geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Dijitalleşme aynı zamanda toplumsal ve kültürel dinamikleri de etkilemektedir. Dijital teknolojiler, iletişim ve etkileşim biçimlerini değiştirerek bilgiye erişimi demokratikleştirmiştir. Ancak, bu süreç aynı zamanda dijital mahremiyet, veri güvenliği ve dijital uçurum gibi yeni sorunları da gündeme getirmiştir. Bu nedenle, dijitalleşmenin toplumsal etkileri üzerine yapılan araştırmalar, dijital dönüşümün olumlu ve olumsuz yanlarını dengeli bir şekilde ele alarak, bu sürecin yönetilmesine yönelik stratejiler geliştirmektedir (Raja, 2016:3, Ormanlı, 2012: 33).

Dijitalleşme, üretim süreçlerini modernize ederek verimliliği artırmayı ve maliyetleri düşürmeyi amaçlamaktadır. Bu süreçte, makineler ve insanlar arasında karşılıklı faydaya dayalı bir ilişki kurarak çalışma yaşamını desteklemektedir. Ancak, teknolojik yenilikler ve dönüşümler hızla ilerlese bile verimlilikte beklenen artışın dijitalleşmenin hızına yetişmediği gözlemlenmektedir. Her değişimin ekonomik ve sosyal etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için zamana ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda dijitalleşme sürecinin başarılı olabilmesi için öncelikle ülke yönetiminin bu süreci benimsemesi gerekmektedir. Ayrıca, ileri teknolojiye sahip dijital sermaye yoğun şirketlerin pazar payının artırılması ve iş modellerinin dijital teknolojilere uyumlu hale getirilmesi önemlidir. Bu adımlar, verimlilik artışının dijital dönüşüm hızına uyum sağlamasını kolaylaştıracaktır (OECD, 2019).

Dijitalleşme kavramı, bilginin dijital formatta işlenmesi ve depolanması sürecini ifade etmektedir. Bu süreç, verilerin dijitalleştirilerek çeşitli platformlarda yer edinmesini içermektedir. Dijitalleştirme, analog bilgilerin bilgisayar ortamında saklanabilir dijital formatlara dönüştürülmesi anlamına gelir. Dijitalleşme, iş modellerinin dönüşüm sürecine girerek, dijital teknolojilerin yardımıyla yeni değerler üretme imkânı sağlar. Bu kavram, uyumsuz bir bilgi ve iletişim teknolojisi altyapısına sahip olmayı ifade etmez; aksine, mevcut kaynakların işletmeye değer katacak sonuçlara dönüştürülmesi sürecini tanımlar. İşletmelerin dijitalleşme süreci, yeni iş modelleri geliştirmeyi, yeni ürün ve hizmetler yaratmayı ve mevcut kaynakları etkin bir şekilde kullanmayı gerektirir. Bu, teknolojinin işletme faaliyetleriyle uyumlu hale getirilmesi anlamına gelir (Mentsiev vd, 2020: 2960-2961).

Günümüzde insanlık hayatının hemen hemen her alanında gerçekleştirdiği pek çok eyleminde dijital bir dünyaya adım atmaktadır. Gerçekleştirilen bu eylemler tıpkı sanayi toplumunda olduğu bir karbon salınımını meydana getirmektedir. Dijitalleşmenin insanlık içerisinde kapladığı alan giderek artması karbon emisyonunun kaçınılmaz olarak artmasına yol açmaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık olarak 4.66 milyarının aktif birer internet kullanıcı olduğu düşünüldüğünde bunun karşılığı olarak 1,66 milyar ton karbon emisyonu salınmaktadır. Bu durum ilerleyen yıllarda kat kat artacağı da hesap katılması gereken diğer bir önemli konudur (World Favor, 2022). Arama motorları kullanımından akıllı telefon uygulamalarına, çevrim içi müzik ve video akışlarına kadar geniş bir yelpazede dijitalleşme, insanlığın günlük yaşamının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Özellikle salgın dönemiyle hızlanan uzaktan iş ve eğitim süreçleri, bulut depolama çözümleri, dijital oyun ve eğlence platformları ile dijital para ve blok zincir teknolojileri, toplumsal ilişkilerin dijital bir boyut kazanmasına yol açmıştır. Ancak, bu dijital dönüşüm, internet bağımlı veri akışları ve hizmetler sağlamak için gereken yüksek hızlı internet bağlantıları nedeniyle karbon emisyonunun hızla artmasına neden olmaktadır. Dijital teknolojilerin enerji tüketimi ve çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmalar, sürdürülebilir dijital uygulamaların geliştirilmesine yönelik stratejiler arayışını gündeme getirmektedir (Reed, 2018).

2.2.İnovasyon

İnovasyon son dönemlerde önemli kavramlar arasında yer almaktadır. Birçok ülke ve şirketlerde inovasyon ile ilgili destek programlarının bulunması, eğitim ve konferanslara yer verilmesi, inovasyon ile ilgili danışmanlık şirketlerinin piyasa da var olması inovasyonun önemini kanıtlar. İnovasyon sadece ticari amaçlarla değil aynı zamanda enerji alanında temiz ve verimli enerji üretimi ve tüketimi konusunda zemin oluşturmaktadır (Dursun, 2017: 13).

İnovasyon kavramı iktisat literatürüne Schumpeter tarafından kazandırılmış ardından bilim insanları tarafından inovasyona birbirinden farklı tanımlar ve anlamlar yüklenmiştir. Schumpeter inovasyon kavramını beş ayrı başlıkta toplamıştır (Groenewegen ve Langen, 2012:156).

- Tüketiciye bilmediği bir ürünü veya o ürünün yeni bir özelliğini tanıtmak
- Endüstride hiç kullanılmamış yeni bir üretim yönteminin uygulanması
- Daha önce hiç kullanılmamış veya var olmamış yeni bir piyasanın oluşması
- Hammadde ve ara ürünler için yeni kaynakların bulunması
- Herhangi bir işkolu için yeni yönetim biçiminin getirilmesidir.

Avrupa Birliği ve Ekonomik Kalkınma İş birliği Örgütünün hazırladığı Oslo kılavuzundaki tanıma göre inovasyon; organizasyon içi veya organizasyon dışında mal ve hizmet üretiminde yeni pazarlama yöntemlerinin kullanılması olarak tanımlanmaktadır (OECD ve Eurostat,2005:50). Bir diğer tanıma göre inovasyon; mal hizmet veya fikrin yeni olarak düşünülmesi ve uygulamaya konulmasıdır (Rogers, 1983: 161).

İnovasyon tarım, sanayi, hizmet gibi birçok sektörde verimlilik artışı sağlayarak ekonomik gelişmeye katkı sağlamaktadır. Ekonomik gelişmeye etki eden önemli bir diğer faktör ise teknolojidir. Teknolojik gelişme ile inovasyon birbirini tamamlayan kavramlardır. Dolayısıyla inovasyon dünyada ekonomiye yön veren önemli faktörler arasında yer almaktadır (Toparlak,2023:1).

İnovasyonun öncelik verdiği alanlardan biri de temiz enerjidir. Bilindiği üzere son dönemlerde sera gazı emisyonundaki artışa bağlı olarak korunaklı alanların sayısı azalmakta daha temiz ve verimli enerji üretimi ve tüketimi konusunda inovasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde ve kullanımında artışa gereksinim duyulmaktadır. Bu ihtiyaçların sağlanabilmesi ancak teknolojik inovasyonla mümkün olabilmektedir. Yenilenebilir enerji alanında teknolojik inovasyonlara hız kazandırılması yenilenebilir enerji üretim maliyetinin azalmasına katkı sağlarken ayrıca petrol doğalgaz gibi fosil yakıt kullanımının azalmasına zemin hazırlamakta buna ilaveten yenilenebilir enerji verimliliğini artıran inovasyon çalışmaları fosil yakıt tüketimi ile rekabeti mümkün hale getirmektedir. Dolayısıyla teknolojik inovasyon yenilenebilir enerji sistemine geçişte önemli rol üstlenmektedir (Emodi vd,2015: 889).

2.3.Karbon Ayak İzi

Bu kavram, doğrudan bireylerin ve işletmelerin günlük faaliyetleriyle ilgili olarak sera gazları emisyonlarının hesaplamalarında kullanılan ölçüttür. Aynı zamanda (Co2) emisyonu miktarı olarak adlandırılabilir. Karbon ayak izi kavramı iki şekilde incelenebilmektedir. Bunlardan ilki doğrudan(birincil) karbon ayak izidir. Birincil ayak izi ulaşım, barınma ihtiyaçları, fosil yakıtların doğrudan yanmasıyla ortaya çıkmaktadır. İkincisi ise dolaylı karbon ayak izidir. Dolaylı karbon izi kullanılan ürünlerin üretim halinden başlayarak doğada yok olma süresine kadar geçen bütün süreçlerde meydana gelen CO2 emisyonlarını kapsamaktadır (Kırbaç ve Kocakulak 2022: 318, Azazi ve Çakır, 2022: 66).

Karbon ayak izi ; ekolojik ayak izinin bir alt kümesi olarak ifade edilmekle birlikte aynı zamanda insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisi üzerine ölçümler yapmaktadır. Fosil yakıtların yanması karbon salınımını etkileyen önemli faktör olması dolayısıyla serbest kalan karbonun atmosferde sera gazları şeklinde birikmesine neden olmakta ve iklim sistemine bu şekilde etkisi bulunmaktadır (Polák & Cernegova, 2016: 17–18).

Dünyada küreselleşmeyle birlikte üretim ve tüketim alanlarında artış meydana gelmesi sanayi sektörünü hızla geliştirmiştir. Bu bağlamda kentleşme ve çevre sorunları da beraberinde gelmiştir (Kumaş vd 2019: 109). Dünyada iklim değişikliklerinde endişelerin meydana gelmesi belirli bir üründe hizmette veya organizasyonlarda sera gazlarına olan miktarın hesaplanmasına olan ilgiyi artırmıştır. Artan ilgi ise karbon ayak izi kavramını ortaya çıkarmış ve bu kavramın yaygın olarak kullanımını beraberinde getirmiştir. Dünyada birçok iş akışı süreçleri karbon salınımını ortaya çıkarabilmektedir (Laurent et al., 2012:5).

Dünyada teknolojik yeniliklerle beraber çalışma süreleri ve ölçeği teknolojik tesislerin karbon azaltım potansiyelini sınırlandırabilmektedir. Teknolojik yeniliklerde risk açısından bakıldığında zaman büyük ekonomik riskler bulunmaktadır ve söz konusu riskler kullanıcıların işletmeye heveslerini azaltır ve teknolojiyi benimsemeye zorlamaktadır dolayısıyla bu durum da karbon ayak izini azaltmaktadır (Wang vd, 2023: 9). Dünyada nüfus artışı enerji taleplerini pek çok alanda artırmaktadır. Bu bağlamda ilgili talep artışlarına paralel olarak meydana gelen değişim ve dönüşümler ise çevresel problemleri beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla meydana gelen değişiklikler, karbon salınımında etkisi olduğu ifade edilebilmektedir (Durmuş ve Güçyeter 2023: 126).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bakari (2021) çalışmasında internetin önemini dikkat alarak ekonomik büyüme ve inovasyon arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. 1995-2016 yılları arasında farklı coğrafi bölgelerden 76 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeye ait verileri içeren panel ADRL modeli kullanılan çalışmada inovasyon ve internetin kullanımının ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkisi bulunurken ekonomik büyüme ve internetin inovasyon üzerinde de pozitif etkilediğine yönelik sonuçlara ulaşılmıştır.

Tripathi ve Inani (2016), çalışmalarında 1998-2014 dönemi için 42 Sahra Altı Afrika ülkesinde panel ADRL modeli kullanılarak internet kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda uzun vadede

internet kullanımının ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip iken kısa dönemde tam tersi olduğu gözlemlenmiştir.

Choi ve Yi (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 105 ülke örneklemini 1994-2014 arasındaki dönemde panel veri analizi yapılarak internet kullanımının Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki sonuca göre Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyümenin internet kullanımından olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Zhu ve Gao (2019), çalışmada 2005-2015 arası dönemdeki Bir Kuşak Bir Yol projesi üzerinde bulunan 57 ülkenin ulaştırma sektöründeki karbon emisyonu etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir. Panel veri analizi kullanılan çalışmanın sonuçlarına göre kişi başına düşen GSYH, kentleşme düzeyi enerji tüketim yapısı karbon emisyonunu olumlu etkilerken, teknoloji düzeyi ve ticaret açıklığının olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır.

Erdoğan vd. (2019) çalışmasında 1971- 2017 yılları arasında 14 adet G20 ülkesi için inovasyonun karbon emisyonu üzerinde etkisini analiz etmişlerdir. Panel LM eşbütünlük ve CCE ile AMG tahmincileri testlerine göre inovatif faaliyetlerde meydana gelen artışların karbon emisyonunu sanayi sektöründe azaltırken inşaat sektöründe attığını sonucu varmışlardır.

Yıldırım vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada 1997-2018 dönemini kapsayan 32 OECD ülkesi için geniş bir veri seti kullanarak çevresel inovasyonun enerji sektörü bazlı karbon emisyonu üzerindeki etkisini ampirik olarak incelemektedir. Değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi tespit etmek için çalışmada hem eşik seviyesini içsel olarak hem de bir rejimden diğerine geçişin düzgünlüğünü tahmin edebilen PSTR modelini benimsemiştir. Elde edilen bulgular neticesinde çevresel inovasyonun enerji sektöründen kaynaklanan karbon emisyonlarını belirli bir aşamaya kadar azaltıcı etkiye sahip olduğu, inovasyonun belirli bir aşamaya kadar önemsiz olduğu ve bu aşamanın üzerinde çevresel inovasyonun karbon emisyonlarına etkisi bulunduğu ayrıca bununda bir rebound etkisinin olduğunu sonucuna varılmıştır.

Mensah vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada 1990-2014 arası dönemde 28 OECD ülkesinde inovasyonun karbon emisyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. STIRPAT modeli ekonomik-EKC büyüme modeli ve inovasyon-EKC modelini temel alan üç temel model kullanılan çalışmanın sonuçlarına göre pek çok OECD ülkesinde karbon emisyonunun azaltılmasında inovasyonun önemli bir rol oynadığını sonucuna varılmıştır.

Akyol ve Mete (2021) tarafından yapılan çalışmada 2005-2018 yılları arasında 18 OECD ülkesinin çevresel teknolojik inovasyonlarının karbon emisyonu üzerinden etkisi araştırılmıştır.

Azazi ve Çakır (2022) tarafından yapılan çalışmada G-20 üyesi ülkelerde ve Türkiye’de 2000-2018 yılları arasında kişi başına düşen gelir, doğrudan yabancı yatırımlar, yenilenebilir enerji ve ormanlık alan oranının CO2 emisyonları üzerindeki etkisi panel veri yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde bir dönem gecikmeli, yenilenebilir enerji tüketimi, toplam arazi içindeki ormanlık alan yüzdesi, ekonomik büyüme ve yabancı yatırımların CO2 emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, yenilenebilir enerji tüketimi ve ormanlık alan yüzdesinin CO2 emisyonları üzerinde negatif etkiye sahip olduğu ve emisyonları azalttığı, bir dönem gecikmeli CO2 emisyonları, ekonomik büyüme ve yabancı yatırımların ise CO2 emisyonlarını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Ahmad vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada 1980-2010 yılları arasında 24 Avrupa ülkesinde GSYH, patent başvuruları, biyokütle ve karbon emisyonu verileri kullanılarak panel veri analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre uzun vadede karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında bir ilişki olduğu, kısa vadede ise böyle bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Biyokütle enerjisinin karbon emisyonu ile önemsiz derecede bağlantılı olduğunu, patent başvuruları incelenen ülkelerde karbon emisyonlarının azaltılmasını önemli ölçüde kolaylaştırdığı sonucuna varılmıştır.

Bucak ve Saygılı (2022) Türkiye’de ve G7 ülkelerinde dışa açıklık ve ekolojik ayak izi ilişkisini test etmiştir. Söz konusu ülkelerde ekonometrik analizin sonuçları dışa açıklık ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını, yenilenebilir enerji tüketiminin ise ekolojik ayak izini azalttığı ortaya çıkmıştır.

Gülmez vd. (2021)’in yaptığı çalışmada G7 ülkelerinde (Almanya, ABD, İngiltere, Japonya, Fransa, İtalya, Kanada) 1971-2015 yılları arasında dönemde kişi başına GSYH, ticari açıklık ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izine etkileri araştırılmıştır. Panel veri analizi yapılarak çalışma sonucunda ekonomik büyüme, ticari açıklık ve enerji kullanımı gibi değişkenler ekolojik ayak izini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ekolojik ayak izi ile Ar-Ge harcamaları arasındaki ilişki incelemesine Adedoyin ve vd. (2020)’ne ait çalışmada, AB-16 ülkelerinde 1997-2014 yılları arasında elde edilen bulgular, Ar-Ge harcamalarının ekolojik ayak izini azalttığını şeklindedir. Ghita ve vd. (2018)’de yaptığı diğer bir çalışmada ise, Avrupa ülkelerinde inovasyon ve Ar-Ge faaliyetlerinin ekolojik ayak izini pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Gu vd. (2019) 2005-2016 yılları arasında Çine ait verilerle Dauda vd. (2021) 1990-2016 yıllarını kapsayan 9 Afrika ülkesine ait verilerle eş bütünlük ve panel GMM yöntemlerini kullanarak analizler yapmışlardır. Çalışma sonucunda PATENT’le ECO arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu iki çalışmada da ECO’yu ölçmede karbon emisyonunu

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi

dikkate almıştır. Özarslan Doğan (2023)'ın yaptığı başka bir çalışmada da Türkiye'de 1985-2020 yıllarındaki verilerle PATENT'le ECO arasındaki ilişki sınır testi değerlendirilmiş ve PATENT değişkeninin ECO değişkenini artırdığı ifade edilmiştir.

Ganda (2019) tarafından yapılan çalışmada 2000-2014 yılları arasında seçilmiş OECD ülkelerinde inovasyon ve teknoloji yatırımlarının karbon emisyonunu nasıl etkilediği araştırılmıştır. GMM analizi kullanılan çalışmanın sonuçlarına göre dinamik modelin uygulanmasından ve içselliğin kontrol edilmesinden sonra, yenilenebilir enerji tüketiminin ve araştırma ve geliştirme harcamalarının karbon emisyonları ile istatistiksel olarak anlamlı bir negatif ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Patent sayısı, karbon emisyonu ile pozitif ve anlamlı bir ilişkiyi göstermektedir, ancak araştırmacı sayısı söz konusu olduğunda ilişki pozitif ancak anlamlı değildir. Genel olarak bu, seçilen ülkelerde yenilik ve teknoloji yatırımlarının karbon emisyonunu farklı şekilde etkilediğini ve hala çevre kalitesini azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Özpolat ve Özsoy (2022), 1995-2017 yılları arasında seçilmiş OECD ülkeleri üzerinde teknolojik yeniliklerin çevre kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi ve Çevresel Kuznets Eğrisinin belirlenmesini araştırmışlardır. Çalışma sonunda elde edilen bulgulara göre, Çevresel Kuznets Eğrisi seçili OECD ülkelerinde geçerli olmadığı sonucu varılmıştır.

Saia (2023) tarafından yapılan çalışmada 1996-2019 yılları arasında 55 yüksek ve orta gelirli ekonominin çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin kanıtlarını aramakta ve bunu panel yumuşak geçiş regresyonu (PSTR) ile test etmektedir. Çalışmanın bulgularına göre çevresel Kuznets eğrisi hipotezini desteklemekte ve CO2 emisyonlarının dijitalleşme ve gelir düzeyi ile ters U şeklinde bir ilişkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır.

4.EKONOMETRİK ANALİZ

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi isimli bildiri çalışmasında kullanılan değişkenlere yönelik Tablo 1'de genel tanımlayıcı değerler verilmiştir. Toplam altı değişken için ortalama, medyan, maksimum, minimum ve gözlem sayıları gösterilmektedir.

Tablo 1: Değişkenlere Ait Tanımlayıcı Değerler

Değişkenler-İstatistikler	CO2	Patent	Bit	İnternet	Mobil	Sabit
Ortalama	514241.5	37621.2	8.44	68.96	102.4	42.19
Medyan	160488.3	2270.0	6.29	75.34	108.0	43.60
Maksimum	5775807.2	387364.0	34.49	98.04	172.1	72.09
Minimum	27356.5	81.0	0.79	3.76	17.52	4.06
Gözlem sayısı	441	441	441	441	441	441

Kullanılan değişkenler için tanımlayıcı değerler ortaya çıkarıldıktan sonra durağanlık için yatay kesit bağımlılığı ve birim kök analizi yapılmıştır.

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi için oluşturulan model şu şekildedir:

$$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 Patent_{it} + \beta_2 Bit_{it} + \beta_3 İnternet_{it} + \beta_4 Mobil_{it} + \beta_5 Sabit_{it} + u_{it}$$

Oluşturulan modele göre u_{it} hata terimini göstermektedir.

İlgili değişkenlerin analizinde kullanılan panel veri yönteminde ilk olarak yatay kesit bağımlılığı değerlendirmesi ulaşılan sonuçlara göre birim kök araştırması ve panel nedensellik araştırması yapılmıştır.

Tablo 2: Yatay Kesit Bağımlılık Araştırması

İstatistikler	Breusch-Pagan LM İstatistiği	Olasılık Değerleri
---------------	------------------------------	--------------------

C02	2172.136	0.000
Patent	1477.409	0.000
Bit	2665.007	0.000
İnternet	3869.963	0.000
Mobil	3443.890	0.000
Sabit	2277.079	0.000

Tablo 2’den elde edilen bulgulara göre modelde temel hipotez olarak ifade edilen yatay kesit bağımlılığının olmadığı gösteren durum geçerli değildir. Başka bir ifadeyle temel hipotezin red edilmesiyle yatay kesit bağımlılığı vardır şeklinde oluşturulan alternatif hipotez kabul edilerek yatay kesit bağımlılığı olduğu sonucuna varılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı belirlendiğinden birim kök araştırmasında kullanılacak testin yatay kesit bağımlılığını dikkate alması gerekir. Dolayısıyla diğer aşamada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran (2007)’in CİPS ve CADF testleri kullanılmıştır.

Tablo 3: Durağanlık Sonuçları 1

Değişkenler ve CİPS değeri	C02	Patent	Bit	İnternet	Mobil	Sabit	Kritik değer	
							% 1	%10
CİPS değeri	-1.43	-1.79	-2.47	-2.65	-2.34	-1.64	-2.39	-2.10
Fark CİPS	-3.65	-3.33	-	-	-3.03	-2.73	-2.40	-2.10

Fark CİPS birinci farkları göstermektedir.

CİPS durağanlık değerlerine göre %1 anlamlılık düzeyinde panelin genelinde bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ve internet kullanan bireyler değişkeni için temel hipotez red edilmiştir. Dolayısıyla bu serilerin düzey değerlerinde durağan olduğu anlaşılmaktadır. Diğer değişkenlere bakıldığında ise CO2 emisyonu, patent başvuru sayısı, mobil telefon aboneliği ve sabit telefon aboneliği değişkenleri açısından %1 anlamlılık düzeyinde panelin genelinde alternatif hipotez red edilmiştir. Yani ilgili değişkenler düzey değerlerinde durağan değildir. Bu değişkenler birinci dereceden durağan bulunmuştur.

Tablo 4: Durağanlık Sonuçları 2

Ülkeler ve CADF değeri	C02	Patent	Bit	İnternet	Mobil	Sabit	Kritik değer	
							% 1	% 10
Çek	-2.97	-1.42	0.39	-3.58	-3.16	-0.64	-4.32	-3.01
Fransa	-2.11	-0.73	-0.68	-0.82	-1.81	-2.05	-4.32	-3.01
Almanya	-1.48	-0.28	-2.31	-4.99	-2.80	-2.24	-4.32	-3.01
Japonya	-2.38	-1.36	0.01	-2.79	0.27	-0.86	-4.32	-3.01
Hollanda	-3.54	-0.98	-5.74	-2.14	-3.71	0.86	-4.32	-3.01
İsveç	0.75	-2.51	-1.93	-6.47	-2.67	-1.59	-4.32	-3.01
Kore	0.74	0.12	-0.94	-3.53	0.24	-2.41	-4.32	-3.01
Polonya	-4.07	-0.53	-1.98	-2.19	-3.97	-6.02	-4.32	-3.01
Macaristan	-0.56	1.55	-5.61	-2.65	-3.55	-2.66	-4.32	-3.01
ABD	-0.42	-2.04	-1.96	-1.95	-3.11	-0.24	-4.32	-3.01
Finlandiya	-1.50	-2.98	-5.08	-4.21	-1.41	-0.51	-4.32	-3.01

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi

Türkiye	-1.36	-1.74	-3.76	-2.45	-2.34	-1.35	-4.32	-3.01
Avusturya	-2.90	-6.06	-2.59	-1.98	-1.68	-0.41	-4.32	-3.01
Belçika	-1.63	-1.86	-0.02	-3.97	-0.68	-0.25	-4.32	-3.01
İngiltere	-1.58	-2.84	-3.89	-4.78	-0.21	-3.40	-4.32	-3.01
Danimarka	-1.55	-0.88	-1.25	-1.20	-5.31	-2.29	-4.32	-3.01
İspanya	-2.17	-1.05	-0.53	-0.21	-1.50	-1.45	-4.32	-3.01
Kanada	1.11	-5.23	-3.39	-1.09	-2.95	-3.52	-4.32	-3.01
Norveç	0.57	-2.14	-3.68	2.53	-1.74	-0.52	-4.32	-3.01
Portekiz	-2.15	-1.89	-2.30	-2.10	-3.51	-1.38	-4.32	-3.01
İsrail	-0.94	-2.68	-4.56	-5.15	-3.51	-1.50	-4.32	-3.01

Tablo 4'deki değerlendirme bulgularına göre her bir ülke için durağanlık araştırmaları verilmiştir. Bu durağanlık araştırmasında hesaplanan istatistik değerleri ile kritik değerler karşılaştırılarak şu sonuçlar elde edilmiştir. %1 anlamlılık düzeyinde CO2 emisyonu değişkeninde ilgili ülkeler için düzey değerinde durağanlık sağlanamamıştır. Patent başvuru sayısında sadece Avusturya ve Kanada için düzeyde durağanlık görülmektedir. Diğer ülkeler için düzey değerinde durağanlık sağlanamamıştır. Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkeninde Hollanda, Macaristan, Finlandiya ve İsrail'de değişkenin düzey değerinde durağanlık sağlanmışken diğer ülkelerde seviyede durağanlık yakalanamamıştır. İnternet kullanan bireyler değişkeni için de Almanya, İsveç, İngiltere ve İsrail'de düzey değerinde durağanlık sağlanmıştır. Diğer ülkelerde seviyede durağanlık olmadığı görülmektedir. Mobil telefon aboneliği değişkenine bakıldığında ise sadece Danimarka'ya ait seride seviyede durağanlık söz konusu iken diğer ülkelerde seviyede durağanlık olmadığı belirlenmiştir. Sabit telefon aboneliği değişkeni açısından bakıldığında ise sadece Polonya'da seviyede durağanlık yakalanmış iken diğer ülkelerde seviyede durağanlık olmadığı görülmektedir.

Tablo 5: Nedensellik Sonuçları

Değişken	Olasılık	Değişken	Olasılık
Patent CO2	0.7913	CO2..... Patent	0.0512
Bit CO2	0.2455	CO2..... Bit	0.0978
İnternet CO2	0.1400	CO2..... İnternet	0.7947
Mobil CO2	0.7589	CO2..... Mobil	0.5445
Sabit CO2	0.0000	CO2..... Sabit	0.2230
Bit Patent	0.0853	Patent Bit	0.6783
İnternet Patent	0.1074	Patentİnternet	0.5669
Mobil Patent	0.8310	Patent Mobil	0.5543
Sabit Patent	0.8597	Patent Sabit	0.6442
İnternet Bit	0.0000	Bit İnternet	0.0000
Mobil Bit	0.2466	Bit Mobil	0.0000
Sabit Bit	0.8556	Bit Sabit	0.6292
Mobil İnternet	0.9242	İnternet..... Mobil	0.0000
Sabit İnternet	0.8794	İnternet Sabit	0.4702
Sabit Mobil	0.0723	Mobil Sabit	0.5748

Dumitrescu – Hurlin Panel nedensellik testi (2012) sonuçlarına göre %10 anlamlılık düzeyi için CO2 emisyonu, patent değişkeninin nedenidir. Yani CO2 emisyonu değişkeninden patent başvuru sayısı değişkenine doğru bir nedensellik olduğu görülmektedir. Patent başvuru sayısı değişkeninden CO2 emisyonu değişkenine doğru ise bir nedensellik yoktur. Dolayısıyla ilgili değişkeler arasında CO2 emisyonu değişkeninden patent başvuru sayısı değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir.

Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ile CO2 emisyonu değişkeni arasında CO2 emisyonu değişkeninden bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkenine doğru bir nedensellik vardır. Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkeninden CO2 emisyonu değişkenine doğru ise bir nedensellik yoktur. Dolayısıyla ilgili değişkeler arasında CO2 emisyonu değişkeninden bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

İnternet kullanan bireyler değişkeni ile CO2 emisyonu değişkenine bakıldığında ise ilgili değişkenler arasında bir nedensellik ilişkisi olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde mobil telefon aboneliği ile CO2 emisyonu değişkeni arasında da bir nedensellik ilişkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Sabit telefon aboneliği ile CO2 emisyonu değişkeni arasında sabit telefon aboneliği değişkeninden CO2 emisyonu değişkenine doğru bir nedensellik vardır. Ters olarak CO2 emisyonu değişkeninden sabit telefon aboneliğine doğru ise bir nedensellik yoktur. Dolayısıyla ilgili değişkeler için sabit telefon aboneliği değişkeninden CO2 emisyonu değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca elde edilen diğer sonuçlara bakıldığında ise şu şekildedir. Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkeninden patent başvuru sayısı değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır. İnternet kullanan bireyler değişkeni ile patent başvuru sayısı değişkeni arasında bir nedensellik ilişkisi yoktur. Aynı şekilde mobil telefon aboneliği değişkeni ile patent başvuru sayısı değişkeni arasında, sabit telefon aboneliği ile patent başvuru sayısı değişkenleri arasında, sabit telefon aboneliği ile bilgi iletişim teknolojileri ihracatı arasında ve sabit telefon aboneliği ile internet kullanan bireyler değişkeni arasında da bir nedensellik ilişkisi olmadığı görülmektedir.

İnternet kullanan bireyler değişkeni ile bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkeni arasında ise çift yönlü bir nedensellik ilişkisi söz konusudur. Bilgi iletişim teknolojileri ihracatı değişkeninden mobil telefon aboneliği değişkenine doğru, internet kullanan bireyler değişkeninden mobil telefon aboneliği değişkenine doğru ve sabit telefon aboneliği değişkeninden mobil telefon aboneliği değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Bu doğrultuda elde edilen sonuçlara göre dijitalleşme ve inovasyonun karbon ayak izine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada analize dâhil edilen her bir ülke için ve ilgili dönem aralığında CO2 emisyonu değişkeni ile patent başvuru sayısı, bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ve sabit telefon aboneliği değişkeni arasında tek yönlü iktisadi olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Diğer taraftan CO2 emisyonu değişkeni ile internet kullanan bireyler ve mobil telefon aboneliği değişkenleri arasında ise nedensellik açısından iktisadi olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.

5.SONUÇ

Dijital teknolojilerin kullanımındaki artış enerji tüketimini dolayısıyla karbon emisyonunu etkilemektedir. Teknolojik yenilikler enerji tüketiminde artış yaratırken akabinde sera gazı emisyonunun genişlemesine neden olmaktadır. Sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınma, tüm ülkelerin emisyon oranını düşürücü teknolojileri geliştirmelerinde hedef olarak belirlenmektedir. Dolayısıyla tüm ülkeler açısından dijitalleşme ve inovasyon sürdürülebilirlik açısından önem taşıdığı bu çalışma 21 OECD ülkelerinin yer aldığı 2000-2020 yılları arasında ele alınmıştır. Analiz de birim kök araştırması ve panel nedensellik araştırması yapılmıştır. Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran (2007)'ın CİPS ve CADF testleri kullanılmıştır. Akabinde Dumitrescu – Hurlin Panel nedensellik testi (2012) yapılarak değişkenler arasında nedensellik ilişkisi incelenmiştir. İnovasyon değişkeni olarak kullanılan patent başvuru sayısı ve karbon emisyonu arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Sonuca göre CO2 emisyonu değişkeninden patent başvuru sayısı değişkenine doğru bir nedensellik olduğu görülmektedir. CO2 değişkeni ile bilgi iletişim teknolojileri ihracatı ve sabit telefon aboneliği değişkeni arasından da tek yönlü ilişki tespit edilmiş olup internet kullanan bireyler ve mobil telefon aboneliği değişkenleri arasında ise nedensellik açısından iktisadi olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.

Küreselleşmenin hız kazanması, dünya genelindeki ekonomik ve sosyal bağlantıları güçlendirirken, aynı zamanda dünya nüfusundaki artışı da teşvik etmektedir. Bu büyüme, enerji talebinin hızla artmasına yol açmış ve enerji kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi konusunu daha da önemli hale getirmiştir. Günümüzde fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, çevresel sorunların başlıca nedenlerinden biri olarak görülmekte, bu durum küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi ciddi sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırma çabaları giderek önem kazanmaktadır. Ancak, rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı henüz küresel enerji talebini karşılayacak seviyeye ulaşamamıştır. Teknolojik inovasyonlar ve altyapı yatırımları, yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırmak için kilit bir role sahiptir. Bu gelişmeler, yalnızca enerji üretimini daha sürdürülebilir hale getirmekle kalmayıp, aynı zamanda karbon ayak izinin azaltılmasına da önemli katkılar sağlayacaktır. Bu süreç, ekonomik, politik ve

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi

sosyal işbirliklerini gerektiren çok yönlü bir dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Dijitalleşme ve inovasyon, küresel ekonominin dönüşümünde önemli bir rol oynarken, çevresel etkiler üzerinde hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Karbon ayak izini azaltma noktasında dijitalleşme, enerji verimliliğini artıran akıllı sistemler, otomasyon ve uzaktan çalışma gibi olanaklarla önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda kullanılan dijital teknolojiler, enerji üretim ve tüketim süreçlerini optimize ederek çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bunun yanı sıra, nesnelerin interneti (IoT) ve büyük veri analitiği, kaynak tüketimini minimize etme ve atık yönetimini iyileştirme gibi fırsatlar yaratmaktadır.

Ancak, dijitalleşmenin kendisi de enerji yoğun bir süreçtir. Veri merkezlerinin ve dijital cihazların enerji tüketimi, karbon emisyonlarının artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, dijitalleşmenin çevresel etkilerini en aza indirmek için enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının dijital altyapılarda daha yaygın kullanılması ve sürdürülebilir dijital stratejilerin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

İnovasyon ise, sürdürülebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve çevre dostu çözümlerin yaygınlaştırılmasında belirleyici bir etkidir. Özellikle karbon yakalama ve depolama teknolojileri, düşük karbonlu malzeme üretimi ve yeşil enerji projeleri, inovasyonun karbon ayak izini azaltmadaki katkısını göstermektedir. Bununla birlikte, inovasyon süreçlerinde de çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması ve döngüsel ekonomi ilkelerinin entegre edilmesi gereklidir.

Sonuç olarak, dijitalleşme ve inovasyon, karbon ayak izinin azaltılmasında hem fırsatlar hem de sorumluluklar getiren unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojik ilerlemelerin çevreye olan etkisinin sürdürülebilirlik perspektifiyle ele alınması, hem ekolojik dengeyi koruma hem de ekonomik büyümeyi destekleme açısından kritik bir gerekliliktir. Bu bağlamda, hükümetler, özel sektör ve toplum, birlikte hareket ederek dijitalleşme ve inovasyonun çevre üzerindeki olumlu etkilerini artırabilir, olumsuz etkilerini ise minimize edebilir.

EXTENDED SUMMARY

Purpose of the Study: The aim of the study is to examine the impact of digitalization and innovation on the carbon footprint of 21 OECD countries between 2000 and 2020.

Research Questions: Dijitalleşme ve inovasyonun karbon ayak izi üzerinde nasıl bir etki yarattığı farklı değişkenler göz önüne alınarak ve analiz yapılarak incelenecektir.

Method: The study was conducted between 2000-2020, which included 21 OECD countries. Unit root research and panel causality research were conducted in the analysis. Pesaran (2007)'s CIPS and CADF tests, which are second-generation unit root tests that take into account cross-sectional dependency, were used. Then, Dumitrescu - Hurlin Panel causality test (2012) was performed to examine the causality relationship between the variables. A one-way causality relationship was determined between the number of patent applications used as innovation variables and carbon emissions. According to the result, it is seen that there is a causality from the CO2 emission variable to the number of patent applications variable. A one-way relationship was also determined between the CO2 variable and the information communication technologies export and fixed telephone subscription variables, and it was concluded that there was no economically significant relationship in terms of causality between the individuals using the internet and the mobile telephone subscription variables.

Findings: According to the Dumitrescu – Hurlin Panel causality test (2012) results, for a 10% significance level, CO2 emissions are the cause of the patent variable. In other words, there is a causality from the CO2 emissions variable to the patent application number variable. There is no causality from the patent application number variable to the CO2 emissions variable. Therefore, there is a one-way causality relationship between the relevant variables, from the CO2 emissions variable to the patent application number variable.

There is a causality between the ICT export and CO2 emission variable from the CO2 emission variable to the ICT export variable. There is no causality from the ICT export variable to the CO2 emission variable. Therefore, it has been determined that there is a one-way causality relationship between the relevant variables from the CO2 emission variable to the ICT export variable.

When the variable of individuals using the internet and the variable of CO2 emissions are examined, it is seen that there is no causality relationship between the relevant variables. Similarly, it has been concluded that there is no causality relationship between the mobile phone subscription and the variable of CO2 emissions. There is a causality between the fixed phone subscription and the variable of CO2 emissions from the fixed phone subscription variable to the variable of CO2 emissions. Conversely, there is no causality from the variable of CO2 emissions to the fixed phone subscription. Therefore, it has been

determined that there is a one-way causality relationship from the fixed phone subscription variable to the variable of CO2 emissions for the relevant variables.

In addition, when other results are examined, it is as follows. There is a one-way causality relationship from the information communication technologies export variable to the number of patent applications variable. There is no causality relationship between the individuals using the internet variable and the number of patent applications variable. Similarly, there is no causality relationship between the mobile phone subscription variable and the number of patent applications variable, between the fixed phone subscription and the number of patent applications variables, between the fixed phone subscription and the information communication technologies export, and between the fixed phone subscription and the individuals using the internet variable.

There is a bidirectional causality relationship between the variable of individuals using the internet and the variable of information and communication technologies export. It has been determined that there is a unidirectional causality relationship from the variable of information and communication technologies export to the variable of mobile phone subscription, from the variable of individuals using the internet to the variable of mobile phone subscription and from the variable of fixed line phone subscription to the variable of mobile phone subscription.

Conclusions: The increase in the use of digital technologies affects energy consumption and therefore carbon emissions. Technological innovations create an increase in energy consumption and subsequently cause greenhouse gas emissions to expand. Global warming caused by greenhouse gas emissions is determined as a target for all countries to develop technologies that reduce emission rates. Therefore, this study, which is important for all countries in terms of digitalization and innovation sustainability, was conducted between the years 2000-2020, which includes 21 OECD countries. Unit root research and panel causality research were conducted in the analysis. Pesaran (2007) CIPS and CADF tests, which are the second generation unit root tests that take into account cross-sectional dependency, were used. Then, Dumitrescu – Hurlin Panel causality test (2012) was conducted to examine the causality relationship between the variables. A one-way causality relationship was determined between the number of patent applications used as innovation variables and carbon emissions. According to the result, it is seen that there is a causality from the CO2 emission variable to the number of patent applications variable. A one-way relationship was also found between the CO2 variable and the information communication technologies exports and fixed telephone subscription variables, and it was concluded that there was no economically significant relationship in terms of causality between the individuals using the internet and the mobile telephone subscription variables.

KAYNAKÇA.

- Adedoyin, F. F., Alola, A. A., & Bekun, F. V. (2020). An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Science of The Total Environment*, 136726
- Ahmed, A., Uddin, G. S., & Sohag, K. (2016). Biomass energy, technological progress and the environmental Kuznets curve: Evidence from selected European countries. *Biomass and Bioenergy*, 90, 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.04.004>
- Akyol, M., & Mete, E. (2021). Çevresel Teknolojik İnovasyonların CO2 Emisyonu Üzerindeki Etkisi: OECD Ülkeleri Örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Azazi, H., & Çakır, N. Z., (2022). Economic and Natural Determinants of CO2 Emissions: Dynamic Panel Data Analysis of G- 20 Countries. *Digital Transformation And New Approaches İn Trade, Economics, Finance And Banking* (pp.65-80), PETER LANG.
- Bakari, S. (2021). Innovation and economic growth: Does internet matter? *BILTURK, The Journal of Economics and Related Studies*, 3(2), 109-116. <https://doi: 10.47103/bilturk.706165>
- Bucak, Ç., & Saygılı, F. (2022). Türkiye’de ve g7 ülkelerinde dışa açıklık ve ekolojik ayak izi ilişkisi: yatay kesit bağımlılığı altında panel veri analizi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 346-365.
- Choi, C. ve Yi, M. Y. (2018) The Internet, R&D expenditure and economic growth, *Applied Economics Letters*, 25:4, 264-267. <https:// 10.1080/13504851.2017.1316819>
- Dursun, Ömer Osman (2017). İnovasyon Üzerine Kavramsal Bir İnceleme. *International Journal of Management and Administration* 1 (1).

Dijitalleşme ve İnovasyonun Karbon Ayak İzine Etkisi: Seçilmiş OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi

- Durmuş, İ., & Gücüyeter, İ. (2024). Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon kavramlarına yönelik bibliyometrik araştırmalar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 61(1), 113-124.
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D. Ç., & Gedikli, A. (2019). G20 Ülkelerinde İnovasyon ve CO2 Emisyonu. In *International Congress of Energy Economy and Security* (p. 193).
- Emodi, N. V., Shagdarsuren, G., & Tıky, A. Y. (2015). "Influencing Factors Promoting Technological Innovation in Renewable Energy". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(3).
- Ganda, F. (2019). The impact of innovation and technology investments on carbon emissions in selected organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 217, 469-483.
- Ghita, S. I., Saseanu, A. S., Gogonea, R. M., & Huidumac-Petrescu, C. E. (2018). Perspectives of ecological footprint in European context under the impact of information society and sustainable development. *Sustainability*, 10(9), 3224.
- Gu, W., Zhao, X., Yan, X., Wang, C. and Li, Q. (2019). Energy technological progress, energy consumption, and CO2 emissions: empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117666.
- Gülmez, A., Özdilek, E., & Karakaş, D. N. (2021). Ekonomik büyüme, ticari açıklık ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izine etkileri: G7 ülkeleri için panel eşbütünleşme analizi. *Econder International Academic Journal*, 5(2), 329-342.
- Groenewegen, G., & Langen, F. (2012). Critical success factors of the survival of start OECD-Oslo Manual (2005). The Measurement of Scientific and Technological Activities. Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data, Paris.
- Kılınç, E. C. (2021). Ekolojik ayak izi-enerji ar-ge harcamaları ilişkisi: OECD ülkeleri örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 527-541
- Kırbaş, İ. ve Kocakulak, T. (2022). Burdur İli Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24 (70), 317-327.
- Kumaş, K., Akyüz, A. Ö., Zaman, M., & Güngör, A. (2019). Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu örneği. *El-Cezeri*, 6(1), 108-117.
- Laurent, A., Olsen, S. I., & Hauschild, M. Z. (2012). Limitations of carbon footprint as indicator of environmental sustainability. *Environmental science & technology*, 46(7), 4100-4108.
- Mentsiev, A. U., Engel, M. V., Tsamaev, A. M., Abubakarov, M. V., & Yushaeva, R. S. (2020, March). The concept of digitalization and its impact on the modern economy. In *International Scientific Conference "Far East Con"(ISCFEC 2020)* (pp. 2960-2964). Atlantis Press.
- Mensah, C. N., Long, X., Boamah, K. B., Bediako, I. A., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of innovation on CO2 emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29678- 29698. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>
- Ormanlı, O. (2012). Dijitalleşme ve Türk sinemasi. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication*, 2(2), 32-38.
- OECD (2019). Productivity Growth in the Digital Age. Erişim adresi: <https://www.oecd.org/going-digital/productivity-growth-in-the-digital-age.pdf>
- Özpolat, A., & Özsoy, F. (2022). The Effect of Technological Innovations on Environmental Quality in Selected OECD Countries. *Sosyoekonomi*, 30(51), 11-31. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2022.01.01>
- Polák, M., & Cernegova, M. (2016). Carbon footprint and the concept of green economy and social inclusion in Snina town. *Zeszyt Naukowy Wyższej Szkoły Zarządzania i Bankowości w Krakowie*, (39), 12-22.
- Raja, D. S. (2016). Bridging the disability divide through digital technologies. *Background paper for the World Development report*. 1-35
- Reed, T. V. (2018). *Digitized lives: Culture, power and social change in the internet era*. Routledge. <https://core.ac.uk/reader/481901310> (06.07.2024)
- Rogers, Everett M (1983). Diffusion of İnnovations. New York: Free Press. ups with a radical innovation. *Journal of Applied Economics and Business Research*, 2(3), 155-171.

- Saia, A. (2023). Digitalization and CO2 emissions: Dynamics under R&D and technology innovation regimes. *Technology in Society*, 74, 102323.
- Tripathi, M. ve Inani, S.K. (2016). Does internet affect economic growth in sub-Saharan Africa? *Economics Bulletin*, 36(4),1993-2002.
- Toparlak, Ekrem (2023). Teknolojik İnovasyon ve Yenilenebilir Enerji Üretimini Teşvik Etmeye Yönelik Kamu Politikaları: Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi.
- Yıldırım, D. Ç., Esen, Ö., & Yıldırım, S. (2022). The nonlinear effects of environmental innovation on energy sector-based carbon dioxide emissions in OECD countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121800. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121800>
- Zhu, C., & Gao, D. (2019). A research on the factors influencing carbon emission of transportation industry in “the belt and road initiative” countries based on panel data. *Energies*, 12(12), 2405.
- World Favor, (2022). The Growing Carbon Footprint of Digitalization And How to Control It. <https://blog.worldfavor.com/the-growing-carbon-footprint-of-digitalization-and-howto-control-it>, (06.07.2024).
- Wang, C., Chen, Y., Sun, M., & Wu, J. (2023). Potential of technological innovation to reduce the carbon footprint of urban facility agriculture: A food–energy–water–waste nexus perspective. *Journal of Environmental Management*, 339, 117806.