



Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Kentleşme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ile Yük Kapasitesi Faktörü İlişkisi

The Relationship between Economic Growth, Urbanization, Renewable Energy Consumption in Turkey and Load Capacity Factor

Mücahit ÜLGER¹ Mert Anıl ATAMER² Mehmet UÇAR³

Öz

Son yıllarda ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada büyük önem taşımaktadır. Bu dinamiklerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu çalışma, Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasındaki nedensellik etkilerini bir arada incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada 1990-2020 yılları arasındaki veri setleri kullanılarak ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasındaki nedensellik ilişkisinin araştırılmasına yönelik Toda-Yamamoto Nedensellik Analizi yapılmıştır. Nedensellik ile yapılan analizden elde edilen bulgular, kentleşme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik, yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik olduğunu göstermektedir. Bunun yanında ekonomik büyümeden yük kapasitesi faktörüne ve yük kapasitesi faktöründen ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik tespit edilememiştir. Bu durum, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketiminin bu dinamikler içindeki yerini ve önemini vurgulamaktadır. Elde edilen bulgular, politika yapıcılar ve çevre yönetimi stratejileri açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Kentleşme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Yük Kapasitesi Faktörü, Toda-Yamamoto Nedensellik Analizi

ABSTRACT

In recent years, economic growth, urbanization, and renewable energy consumption have become crucial in achieving sustainable development goals. The impacts of these dynamics on environmental sustainability are gaining increasing attention, particularly in developing countries. This study aims to examine the causality effects between economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and load capacity factor in the Turkey economy. Using the data sets from 1990 and 2020, the study conducts a Toda-Yamamoto Causality Analysis to investigate the causality relationship between economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and the load capacity factor. The findings from the causality analysis show that there is a bidirectional causality between urbanization and the load capacity factor, and a bidirectional causality between renewable energy consumption and the load capacity factor. Additionally, no causality was found from economic growth to the load capacity factor and from the load capacity factor to economic growth. This highlights the significance and role of urbanization and renewable energy consumption within these dynamics. These findings offer important implications for policymakers and environmental management strategies.

Keywords: Economic Growth, Urbanization, Renewable Energy Consumption, Load Capacity Factor, Toda-Yamamoto Causality Analysis

¹ Corresponding Author: Öğr. Gör. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, mucahit.ulger@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0300-099X

² Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, mertatamer@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1238-9020

³ Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, mehmet.ucar@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6078-7536



GİRİŞ:

Günümüz dünyasında çevresel bozulma, hızlı kentleşme ve sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsizce tüketilmesi ve iklim değişikliği gibi nedenlerle giderek daha ciddi bir tehdit haline gelmektedir. İnsan faaliyetleri, ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin azalmasına, su ve hava kalitesinin düşmesine ve toprak erozyonuna neden olmaktadır. Bu bozulmalar doğayı, insan sağlığını, gıda güvenliğini ve ekonomik istikrarı tehdit etmektedir. Hem günümüzün hem de geleceğin en önemli gereksinimlerinden biri, çevresel bozulmanın nedenlerini araştırmak ve etkili çözümler üretmektir.

Bunun için şimdiye kadar çevresel sorunları ampirik olarak değerlendiren çalışmalarda çevresel bozulma göstergesi olarak genelde karbon emisyonu, ekolojik ayak izi gibi diğer benzer göstergelerin kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda, çevresel bozulmayı daha iyi analiz etmek için Siche, Pereira, Agostinho ve Ortega (2010) tarafından Yük Kapasitesi Faktörü (LCF-Load Capacity Factor) göstergesi önerilmiştir. Yük kapasitesi faktörü, bir bölgenin veya ülkenin mevcut yaşam tarzına göre nüfusu destekleme gücünü göstermektedir. Yük kapasitesi faktörü, belirli bir ekolojik eşiği takip ederek biyolojik kapasite ile ekolojik ayak izini karşılaştırır. Bu, çevresel bozulmayı kapsamlı bir şekilde araştırmaya imkan sağlamaktadır (Pata ve Isik, 2021).

Biyolojik kapasite ve ekolojik ayak izi, yük kapasitesi faktörü hesaplama yöntemleridir. Yük kapasitesi faktörü, biyolojik kapasitenin ekolojik ayak izine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Çevresel bozulma göstergesi olarak kullanılan yük kapasitesi faktörünün azalması çevresel bozulmanın artacağı anlamına gelmektedir. Biyolojik kapasite ve ekolojik ayak izinin kombinasyonu, hava, su ve toprak kirliliğinin ve kalitesinin aynı anda değerlendirilmesini sağlamaktadır. Böylece yük kapasitesi faktörü, bir ülke veya topluluğun çevreye yüklediği yükü ve çevresel mallara olan talebin ne kadar karşılandığını göstererek çok daha kapsamlı bir çevresel değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır (Pata ve Balsalobre-Lorente, 2022). Bu nedenle, yük kapasitesi faktörünün hem arz hem de talep açısından çevresel varlıkları gösterdiği için diğer çevresel bozulma göstergelerinden daha kapsamlı bir gösterge olduğu açıktır.

Yük kapasitesi faktörünün çevresel bozulmayı derinlemesine değerlendirme yeteneği, kentleşmenin çevresel ve sosyal etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Kentleşmenin olumsuz etkileri, tarım arazileri ve ormanların şehirleşmeye açılmasıyla biyolojik çeşitliliğin azalmasına, artan atık üretimi ise çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca, kentsel yapılar ısı adası etkisi yaratır ve daha fazla enerji tüketir, bu da doğal kaynakların aşırı kullanımı nedeniyle ekosistemleri bozar. Yeşil alanların korunması, enerji verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve atık yönetiminin iyileştirilmesi bu sorunları çözmek için gereklidir. Türkiye’de kentleşme (toplam nüfusun yüzdesi) hızla artmaya devam etmektedir. 1990 yılında %59,2 olan bu oran, 2020 yılına gelindiğinde %76,1 olarak kayıtlara geçmiştir. Bu gelişme endişe vericidir. Çünkü bu durum çevresel bozulmanın yanında şehirlerdeki nüfus yoğunluğunun artması, trafik sıkışıklığı, konut yetersizliği ve sosyal hizmetlerin yetersizliği gibi kentsel problemleri derinleşmesine neden olacaktır.

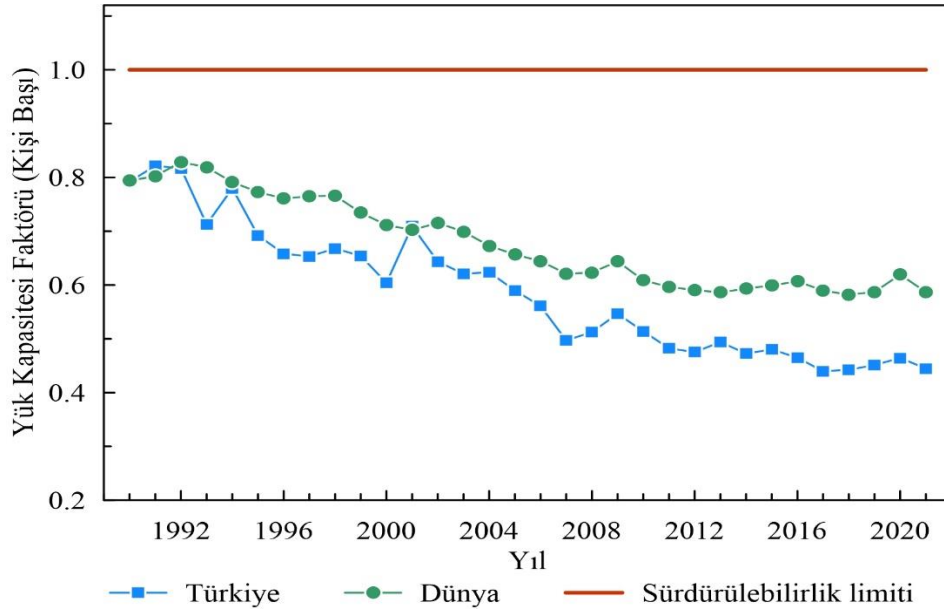
Bu gelişme, ekonomik büyüme hedefiyle birleştğinde, çevresel ve sosyal sorunların daha da karmaşık hale gelmesine yol açmaktadır. Ülkelerin refah seviyelerini ve yaşam standartlarını iyileştirmek için birincil hedef ekonomik büyümenin sağlanmasıdır. Bununla birlikte, ekonomik büyüme çevrenin en önemli belirleyicilerinden birisidir. Bu büyümenin hem faydaları hem de çevresel bozulma gibi tehlikeli yan etkileri de vardır. Doğal kaynakların tükenmesi, biyoçeşitliliğin azalması ve ekosistemlerin zarar görmesi, sanayileşme, kentleşme ve artan tüketimin bir sonucudur. İklim değişikliği, toprak erozyonu ve hava/su kirliliği gibi çevresel sorunlar, doğal yaşamı ve insan sağlığını tehdit etmektedir.

Ekonomik büyüme ile çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi açıklamak için en sık kullanılan teorilerden biri Çevresel Kuznets Eğrisi'dir (EKC-Environmental Kuznets Curve). Gelir ile çevre kalitesi arasındaki ilişki, Grossman ve Krueger (1991)'in önerdiği EKC çerçevesinde açıklanmaktadır. EKC hipotezi, gelir ile çevresel bozulma arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu öne sürmektedir (Pata ve Ertuğrul, 2023). Bu teori, artan ekonomik faaliyetler nedeniyle bir ülke ekonomik olarak geliştikçe çevre kalitesinin başlangıçta azalacağını varsaymaktadır (Awan, Sadiq, Hassan, Khan ve Khan, 2022). Ancak belirli bir gelir düzeyinin üzerinde çevresel duyarlılık ve yeşil teknolojilerin geliştirilmesiyle çevre kalitesinin arttığını göstermektedir. Ekonomik büyüme ile yük kapasitesi faktörü arasındaki ilişkiyi açıklamak için ise Yük Kapasitesi Eğrisi (LCC-Load Capacity Curve) kullanılmaktadır. LCC hipotezi, EKC hipotezinin aksine gelir ile çevresel bozulma arasında U şeklinde bir ilişki olduğunu öne sürmektedir (Pata ve Ertuğrul, 2023). Gelir arttığında, başlangıçta çevreye duyarsız üretim yapan toplumlarda ekolojik kalite ve dolayısıyla yük kapasitesi faktörü düşebilir. Ancak, ülkeler belirli bir gelir seviyesini aştığında, daha temiz üretim teknolojilerinin kullanımı ve artan çevre bilinci sayesinde ekonomik büyüme, çevre kalitesini ve yük kapasitesi faktörünü iyileştirebilir. Bu teori, ekonomik büyüme ile çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi açıklayarak, ekonomik büyümenin çevre kalitesini belirli bir noktaya kadar olumlu yönde etkilediğini belirtmektedir. Bu noktaya gelindiğinde ise daha fazla ekonomik büyüme çevre kalitesini düşürecektir (Pata ve Tanriover, 2023). Bu bağlamda, EKC ve LCC hipotezleri, ekonomik büyümenin çevresel etkilerinin incelenmesi açısından önemli teorik çerçeveler sunmakta ve ülkelerin çevresel politikalarının geliştirilmesine ışık tutmaktadır.

Bu bağlamda enerji talebi ise ekonomik büyüme hedeflerinin bir sonucu olarak artmaktadır. Bununla birlikte, yaşam standartlarını iyileştirmek için çevre dışı arayışlar da enerji talebinin ve tüketiminin artmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Bu eğilimler, temiz enerji teknolojilerinden yoksun fosil yakıtların tükenmesiyle birleştiğinde, önemli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır (Caglar, Pata, Ulug ve Zafar, 2023). Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin ana odak noktası, iklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadelede yenilenebilir enerji tüketimini teşvik etmektir (Pata, Wang, Kartal ve Sharif, 2024). Yenilenemeyen enerji kaynaklarının aksine, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları faydalıdır. Ancak faydalarını elde etmek için önemli miktarda yatırım gerekmektedir. Sürdürülebilir büyüme için en önemli adımlardan biri, hidroelektrik, jeotermal, dalga, güneş ışığı, biyokütle ve rüzgar enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasıdır (Sun, Usman, Radulescu, Pata ve Balsalobre-Lorente, 2024). Günümüzde, fosil yakıtların çevresel etkileri ve artan enerji talebi nedeniyle sürdürülebilir enerji çözümlerine olan ilgi giderek artmaktadır. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynakları, iklim değişikliği ve enerji güvenliği sorunlarına bir çözüm olarak görülmektedir (Doğan, Driha, Balsalobre Lorente ve Shahzad, 2021).

Grafik 1, Dünya'nın ve Türkiye'nin 1990-2020 yılları arasında yük kapasitesi faktörünü (kişi başı) vermektedir. Grafikte Dünya'nın ve Türkiye'nin yük kapasitesi faktörünün yıldan yıla azaldığı görülmektedir. Dünya'da yük kapasitesi faktörünü 1990'dan 1992 yılına kadar artış göstermiş olmasına rağmen daha sonra düşme eğilimine girmiştir. Türkiye'de ise bazı dönemlerde düşüş eğilimi gösterirken artmıştır. Bu dönemlerin özellikle 1991, 1994, 2001 ve 2009 yıllarında olduğu görülmektedir. Bunun yanında grafikte bir de sürdürülebilirlik limiti yer almaktadır. Bu noktada sürdürülebilirlik limiti 1'e eşittir. Burada yer alan yük kapasitesi faktörü değerinin 1'den küçük olması mevcut çevresel koşulların sürdürülemez olduğunu, 1'den büyük olması ise sistemin sürdürülebilir olduğunu göstermektedir (Siche vd., 2010). Hem Dünya'da hem de Türkiye'de yük kapasitesi faktörünün bu limite referans dönemin ilk yıllarında yaklaştığı ancak bu limite ulaşmadığı görülmektedir. Türkiye'de 1990 yılında 0,79 olan yük kapasitesi faktörü 2020 yılında 0,46'ya düşmüştür. Dünya'da da bu durum pek farklı değildir. Dünya'da 1990 yılında 0,79 olan yük kapasitesi faktörü 2020 yılında 0,61'e düşmüştür. Türkiye'de yük kapasitesi faktörünün Dünya'da yük kapasitesi faktörüne göre daha fazla düştüğü görülmektedir.

Bu sayıların sürekli olarak azalmasının nedeni ekolojik ayak izlerinin biyolojik kapasiteden daha fazla olmasıdır. Bu da doğal ortamlarının kalitesinin düştüğünü göstermektedir. Ayrıca yük kapasitesi faktörünün düşmesi doğal ekosistemlerin ve çevresel kaynakların taşıyabileceği veya işleyebileceği yükün azalması anlamına gelmektedir. Bu durum, çevresel bozulmayı artıran ve ekosistemlerin sağlığını tehlikeye atan çeşitli olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Bu yüzden yük kapasitesi faktörünün düşmesi, çevresel bozulmayı hızlandıran ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehlikeye atan kritik bir faktördür. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı zorlaştıran bu durum hem çevresel hem de insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır.



Grafik 1. Dünya’da ve Türkiye’de Yük Kapasitesi Faktörü (Kişi Başı)

Çalışmanın temel amacı, Türkiye ekonomisinde 1990-2020 döneminde ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmaktır. Son yıllarda hızlı ekonomik büyüme, kentleşme süreçleri, stratejik coğrafi konumu ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları nedeniyle Türkiye ekonomisi tercih edilmektedir. Ayrıca, Türkiye’nin enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği önem ve bu alandaki yatırımları, çalışmanın konusuyla doğrudan ilişkilidir.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın temel hipotezleri aşağıdaki gibidir:

H₁: Ekonomik büyüme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.

H₂: Kentleşme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.

H₃: Yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.

Bu çalışma literatüre iki şekilde katkı sağlamaktadır. Öncelikle Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi göstergeleri ile yük kapasitesi faktörü arasındaki nedensellik etkisini bir arada belirlemede ilk çalışmadır. Bu özgün yaklaşım, Türkiye özelinde bu değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkilerini analiz etmek için yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Bu yaklaşım, mevcut literatüre yeni bir boyut kazandırmakta ve çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi politikalarına yönelik daha etkili stratejiler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. İkinci olarak, çalışma ilk kez yük kapasitesi faktörü olarak bilinen kapsamlı bir çevre kalitesi göstergesiyle incelenmiştir. Literatürde çevresel bozulmayı ölçmek

için genellikle karbon emisyonları ve ekolojik ayak izi gibi göstergeler kullanılırken, bu çalışmada yük kapasitesi faktörü kullanılarak Türkiye bağlamında kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Böylelikle çalışma çevresel sorunları arz ve talep yönleriyle ele almaktadır. Bu gösterge sürdürülebilir çevre tartışmalarına farklı bir boyut kazandırmaktadır. Bu yüzden Türkiye ekonomisi çerçevesinde az olan mevcut literatürün genişletilmesi açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bunun yanında çalışmanın bir de kısıtı bulunmaktadır. Bu da Türkiye ekonomisinde yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi) 1990 yılı öncesi ve 2020 yılı sonrası verilerinin olmaması referans döneminin 1990-2020 yılları arasında sınırlı kalmasına neden olmuştur.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde oluşturulmuştur. Bir sonraki bölümde farklı göstergelerin çevresel bozulma arasındaki bağlantıya ilişkin bir literatür taraması sunulmaktadır. Sonraki bölümlerde veri seti, model ve ampirik bulgular verilmektedir. Diğer bölümde elde edilen bulgular doğrultusunda bazı politika çıkarımlarında bulunulmuştur. Son bölüm de ise makalenin sonuç kısmı yer almaktadır.

LİTERATÜR:

Literatüre bakıldığında yapılan çalışmalarda yöntem olarak sıklıkla ARDL analizinin kullanıldığı gözükmemektedir. Yapılan çalışmalar birçok farklı değişkeni kullanarak yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkileri analiz etmiştir. Bu çalışmada kullanılan değişkenlerden kentleşme ve ekonomik büyümenin olduğu sınırlı sayıda çalışma vardır. Yapılan çalışmaların çoğu ekonomik büyüme ve kentleşme gibi göstergeleri kullanarak yük kapasitesi faktörünü azalttığını ve bunun da çevresel bozulmayı tetiklediği sonucuna ulaşmıştır (Abdulmagid Basheer Agila, Khalifa, Saint Akadiri, Adebayo ve Altuntaş, 2022; Guloglu, Caglar ve Pata, 2023; Ni, Yang ve Razzaq, 2022; Pata ve Balsalobre-Lorente, 2022; Shang, Razzaq, Chupradit, An ve Abdul-Samad, 2022; Sun vd., 2024). Nadir olan çalışmalardan Xu vd. (2022) ekonomik büyümenin yük kapasitesi faktörü üzerinde herhangi bir etkide bulunmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada olduğu gibi Türkiye ekonomisi için yük kapasitesi faktörünü inceleyen sınırlı sayıda çalışmalar mevcuttur. Türkiye üzerinde yapılan çalışmaların da genellikle ARDL yöntemiyle yapıldığı gözükmemektedir. Yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkiler incelenirken yine farklı değişkenler kullanılmıştır. Türkiye’de gelen turistler, enerji tüketimi, ekonomik büyüme, enerji kullanımı, ticari açıklık, finansal gelişme, beşerî sermaye, doğal kaynaklar, işsizlik ve doğal kaynak kiralari gibi değişkenler kullanılarak yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yük kapasitesi faktörü üzerine etkilerini inceleyen çalışmalardan bazılarını Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Literatür Tablosu

Yazar (Yıl)	Ülke/Ülke Grubu / Çalışma Dönemi	Yöntem	Sonuç
Pata ve Isik (2021)	Çin / 1981-2016	ARDL	Gelir, enerji yoğunluğu ve kaynak kirasındaki artış yük kapasitesini azaltır.
Fareed, Salem, Adebayo, Pata ve Shahzad (2021)	Endonezya / 1965:Q1- 2014:Q4	Fourier testi	Yenilenebilir enerji ve ihracat çeşitlendirmesi yük kapasitesi faktörünü artırarak çevre kalitesinin artmasına neden olmaktadır.
Pata (2021)	ABD ve Japonya / 1982-2016	ARDL	ABD’de yenilenebilir enerji ve sağlık harcamaları çevre kalitesini iyileştirmektedir. Japonya’da ise yenilenebilir enerji yük kapasitesi faktörünü olumlu etkilemektedir fakat bu etki önemsiz bir etkidir.

Pata ve Samour (2022)	Fransa / 1977-2017	Fourier Testi	Nükleer enerji karbon emisyonunu azaltırken yük kapasitesini artırmaktadır.
Xu vd. (2022)	Brezilya / 1970-2017	ARDL	Ekonomik büyüme, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji yük faktörü kapasitesini azaltırken, kentleşmenin yük faktörü kapasitesi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.
Pata ve Balsalobre-Lorente (2022)	Türkiye / 1965-2017	ARDL	Gelen turistler, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme yük kapasitesi faktörünü uzun dönemde olumsuz yönde etkilemektedir.
Abdulmagid Basheer Agila vd. (2022)	Güney Kore / 1970-2018	Kantil regresyon yaklaşımı	Büyüme, yapısal değişim, yenilenebilir ve yenilenemez enerji ve ticaretin küreselleşmesi yük kapasitesi faktörünü azaltmaktadır.
Ni vd. (2022)	Yüksek oranda kaynak tüketen 11 ülke / 1996-2019	ARDL	Doğal kaynaklara bağımlılık ve ekonomik büyüme yük kapasitesi faktörünü azaltırken; dijitalleşme ve iyi yönetim ise yük faktörü kapasitesi faktörünü artırmaktadır.
Shang vd. (2022)	ASEAN ülkeleri / 1980-2018	ARDL	Yenilenebilir enerji tüketimi ve sağlık harcamaları yük kapasitesi faktörünü iyileştirirken ekonomik büyümenin ise yük kapasitesi faktörü üzerinde olumsuz etkileri vardır.
Liu vd. (2022)	Güney Kore / 1990-2018	ARDL	Ekonomik genişleme ve yenilenemeyen enerji yük kapasitesi faktörünü azaltırken, yeşil enerji ve teknolojik yenilikler ise artırmaktadır.
Yavuz, Kilic ve Caglar (2023)	Türkiye / 1982-2022	A-ARDL	İşsizlik çevresel kaliteyi artırırken, GSYH, doğal kaynak kiralari ve birincil enerji tüketimi çevresel bozulmayı hızlandırmaktadır.
Zhao, Samour, Yi ve Al-Faryan (2023)	BRICS-T / 1990-2018	CS ARDL	Doğal kaynaklar ve borsa gelişimi yük kapasitesi faktörünü azaltırken doğal kaynaklar ve yenilenebilir enerji ise artırmaktadır.
Raihan, Rashid, Voumik, Akter ve Esquivias (2023)	Meksika / 1970-2018	ARDL	Ekonomik büyüme, fosil yakıt kullanımı ve kentleşme yük kapasitesi faktörünü azaltırken yenilenebilir enerji ve finansal küreselleşme ise artırmaktadır.
Akhayere, Kartal, Adebayo ve Kavaz (2023)	Türkiye / 1965-2018	QQR	Enerji kullanımı, ticari açıklık ve finansal gelişme yük kapasitesi faktörünü olumsuz etkilemektedir.
Alola, Özkan ve Usman (2023)	Hindistan / 1965-2018	DyARDL	Yenilenebilir enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı yük kapasitesi faktörünü artırırken, finansal gelişme ve ticaretin etkileri ise azaltmaktadır. Ayrıca gelir ile yük kapasitesi faktörü arasındaki ilişki ters U şeklindedir.
Güneysu (2023)	Türkiye / 1970-2018	Fourier ADF birim kök	Ekonomik büyüme ve yük kapasitesi faktörü arasında U şeklinde bir ilişki vardır.

		testi, FMOLS, DOLS	Küreselleşme ve finansal gelişme çevre kalitesini azaltırken, sanayileşme artırmaktadır.
Guloglu vd. (2023)	26 OECD ülkesi / 1980-2018	QMG tahmincisi	İnsan sermayesi, kaynak kirası ve yenilenebilir enerji faktörü yük kapasitesi faktörünü iyileştirirken, kentleşme çevre kalitesini olumsuz etkilemektedir.
Li, Sun, Dai ve Mehmood (2023)	N 11 ülkeleri (İran ve Mısır hariç) / 1990-2018	ARDL	Doğal kaynaklara bağımlılık, küreselleşme ve ekonomik büyüme yük kapasitesi faktörünü azaltırken, dijital kaynakların ise yük kapasitesi faktörünü artırmaktadır.
Dai, Ahmed, Alvarado ve Ahmad (2024)	ASEAN ülkeleri / 1986-2018	ARDL	Yüksek gelir, insan sermayesi ve yeşil enerji yük kapasitesi faktörünü artırırken, nüfus yoğunluğu ve ekonomik küreselleşme ise azaltmaktadır.
Adebayo ve Samour (2024)	BRICS / 1990-2018	ARDL	Ekonomik genişleme ve yenilenemez enerji yük kapasitesi faktörünü azaltırken yenilenebilir enerji ise artırmaktadır.
Çağlar, Destek ve Manga (2024)	Türkiye / 1986-2022	ARDL	Beşeri sermaye çevre kalitesini artırırken, doğal kaynaklar ise çevre kirliliğine neden olmaktadır. Gelir ise belirli bir seviyeden sonra çevre kalitesini desteklemektedir.
Pata, Wang, Kartal ve Sharif (2024)	ABD / 1961-2018	FTY nedensellik	Yenilenebilir enerji tüketimi ile LCF arasında çift yönlü nedensellik belirlenmiştir.
Li, Tauni, Afshan, Dong ve Abbas (2024)	BRICS / 1990-2018	Dumitrescu Hurlin Granger nedensellik	Ekonomik büyüme ile LCF arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur.
Bekun, Uzuner, Meo ve Yadav (2024)	MINT / 1990-2018	Panel VAR Granger nedensellik	Ekonomik büyüme ile LCF arasında nedensellik ilişkisi olmadığı sonucuna ulaşmıştır.
Sun, Usman, Radulescu, Pata ve Balsalobre-Lorente (2024)	APEC / 1990-2019	Dumitrescu Hurlin panel nedensellik	Kentleşme ile LCF arasında çift yönlü nedensellik belirlenmiştir.

ANALİZ:

Bu çalışmada 1990-2020 dönemine ilişkin Türkiye’de yük kapasitesi faktörü ile kişi başına GSYH (Sabit, 2015 ABD Doları) olarak hesaplanan ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. Çevresel bozulma göstergesi olarak yük kapasitesi faktörünün kullanılmasının nedeni, karbon emisyonu ve ekolojik ayak izi göstergelerinden daha kapsamlı bir gösterge olmasıdır. Çünkü doğal kaynakların hem talebini hem de arzını içermektedir. Bu açıdan bize daha iyi bir çevresel değerlendirme sağlamaktadır (Adebayo, Pata ve Akadiri, 2024). Bu amaçla çalışmada kullanılan değişkenler, açıklamaları ve veri kaynakları Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Değişkenler Tablosu

Değişkenler	Sembol	Açıklama	Kaynak
Yük Kapasitesi Faktörü	LCF	Biyokapasite/ekolojik ayak izi (kişi başı gha)	Küresel Ayak İzi Ağı (GFN-Global Footprint Network)
Ekonomik Büyüme	GDP	Kişi başı gayrisafi yurtiçi hasıla (Sabit, 2015 ABD Doları)	Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI-World Development Indicators)
Kentleşme	URB	Kent nüfusunu toplam nüfus içindeki payı, yüzde	WDI
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	REC	Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içindeki payı, yüzde	WDI

Çalışmada nedensellik ilişkisinin araştırılmasına yönelik Toda-Yamamoto Nedensellik analizi yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle çalışmada kullanılan değişkenleri durağanlık seviyeleri belirlenmiş ve sonrasında Toda-Yamamoto Nedensellik Testi için uygun gecikme sayısı VAR modelleri kullanılarak belirlenmiş ve nedensellik analizi gerçekleştirilmiştir.

Yöntem:

Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) Testi: Dickey ve Fuller (1979) tarafından yayımlanan makalesinde yer alan birim kök testinin temel dayanağı, verilerin oluşturulma sürecinin otoregresif bir süreç olduğu varsayımdır.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Denklem yeniden düzenlenerek denklem 2’de gösterilebilir.

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Burada $H_0: \delta=0$ boş hipotezinin reddedilmeme durumunda serinin birim köke sahip olacağı söylenebilir. Veri oluşturma sürecine sabit terim ve/veya trend de eklenebilir. Test daha yüksek dereceden otoregresif süreçlere uygulanmak istendiğinde modeller şu şekilde oluşturulabilir.

Sabitsiz ve trendsiz model:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Sabitli ve trendsiz model:

$$\Delta Y_t = \mu + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Sabitli ve trendli model:

$$\Delta Y_t = \mu + \beta T + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Burada k gecikme sayısı ise bilgi kriterlerine göre seçilebilir.

Toda-Yamamoto Nedensellik Testi: Granger nedensellik testinde kullanılan F istatistiği değişkenler arasında eşbütünleşme olduğu durumlarda normal dağılım özelliklerini yitirmektedir. Bu sorunu çözmek amacıyla Toda ve Yamamoto (1995), VAR modelini kullanarak, serilerin durağanlık derecesi ve eşbütünleşme ilişkisini göz ardı eden, değişkenlerin seviye değerleri üzerinden nedensellik ilişkisini Wald testi ile değerlendiren Toda-Yamamoto nedensellik yöntemini geliştirmişlerdir (Toda ve Yamamoto, 1995). Bu yöntemde, modelde yer alan serilerin eşbütünleşme durumlarından bağımsız olarak nedensellik analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Yuan, Xu ve Zhang (2014), aynı seviyede entegre olmayan seriler için Toda-Yamamoto nedensellik analizinin daha uygun bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Bu analizde öncelikle serilerin durağanlık dereceleri belirlenir. Daha sonra VAR modeli kurularak uygun gecikme sayısı elde edilir. Nedensellik analizi için uygun gecikme sayısı ise en yüksek durağanlık derecesine sahip değişkenin durağanlık derecesi ile VAR modelinden elde edilen uygun gecikme sayısının toplamı olarak alınır. Son olarak tahmin edilen denklemlerden katsayılarının birlikte anlamlılığına bakılarak değişkenler arası nedensellik ilişkisi belirlenebilir.

BULGULAR:

Toda-Yamamoto Nedensellik Analizinin gerçekleştirilmesi için öncelikle çalışmada kullanılan serilerin durağanlık dereceleri belirlenmiştir. Bu amaçla sabitsiz-trendsiz, sabitli ve sabitli-trendli ADF testleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. ADF Test Sonuçları

Değişken	Sabitli ve Trendsiz		Sabitli		Sabitli ve Trendli	
	t istatistiği	p-değeri	t istatistiği	p-değeri	t istatistiği	p-değeri
LCF	-3.57	0.00	-1.45	0.54	-3.66	0.04
GDP	3.43	1.00	0.10	0.96	-2.49	0.33
D_GDP	-3.98	0.00	-5.42	0.00	-5.33	0.00
URB	-0.93	0.31	-0.14	0.94	-1.34	0.86
D_URB	-0.50	0.49	-0.53	0.87	-4.23	0.01
REC	-1.93	0.05	-1.61	0.47	-1.43	0.83

Tablo 3'te yer alan ADF test sonuçlarına göre LCF ve REC değişkenlerin birim köke sahip olduğu boş hipotezi %90 güven aralığında reddedilerek bu değişkenlerin düzeyde durağan olduklarına karar verilmiştir. Diğer taraftan GDP ve URB değişkenleri ise birinci seviye entegre bulunarak bu değişkenlerin farkları alınarak (sırasıyla D_GDP ve D_URB) analize devam edilmiştir.

Tablo 4. VAR Modeli Uygun Gecikme Sayısı

Gecikme Sayısı	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	3.36	NA	0.00	0.05	0.24	0.10
1	191.63	309.29	0.00	-12.26	-11.31	-11.97
2	222.93	42.47*	2.05e-11*	-13.35	-11.64*	-12.83*
3	240.40	18.72	0.00	-13.45701*	-10.98	-12.70

Toda-Yamamoto Nedensellik analizi için kullanılacak maksimum entegrasyon seviyesinin 1 olarak belirlenmesi sonrası VAR modeli kurularak uygun gecikme sayısı elde edilmiştir. Bu amaçla 3 gecikmeye kadar sınamalar yapılmış ve uygun gecikme sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4’te VAR modelinin uygun gecikme sayısı 2 ve modelde yer alan değişkenlerin en yüksek entegrasyon seviyesi 1 olarak belirlendiğinden Toda-Yamamoto Nedensellik analizi için uygun gecikme sayısı bunların toplamı olan 3 olarak belirlenmiştir. Dört değişken için elde edilen dört eşitliğin ilgili katsayıların birlikte 0’a eşitliği Wald testi ile test edilerek değişkenler arası nedensellik ilişkilerine karar verilmiştir.

Tablo 5. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Boş Hipotez	Test İstatistiği	p-değeri	Karar
GDP'den LCF'ye nedensellik yoktur	2.64	0.27	GDP'den LCF'ye nedensellik yoktur
URB'dan LCF'ye nedensellik yoktur	8.20	0.02	URB'dan LCF'ye nedensellik vardır
REC'den LCF'ye nedensellik yoktur	6.88	0.03	REC'den LCF'ye nedensellik vardır
LCF'den GDP'ye nedensellik yoktur	2.49	0.29	LCF'den GDP'ye nedensellik yoktur
URB'dan GDP'ye nedensellik yoktur	23.81	0.00	URB'dan GDP'ye nedensellik vardır
REC'den GDP'ye nedensellik yoktur	7.08	0.03	REC'den GDP'ye nedensellik vardır
LCF'den URB'a nedensellik yoktur	8.88	0.01	LCF'den URB'a nedensellik vardır
GDP'den URB'a nedensellik yoktur	14.82	0.00	GDP'den URB'a nedensellik vardır
REC'den URB'a nedensellik yoktur	42887.97	0.00	REC'den URB'a nedensellik vardır
LCF'den REC'e nedensellik yoktur	15.46	0.00	LCF'den REC'e nedensellik vardır
GDP'den REC'e nedensellik vardır	10.10	0.01	GDP'den REC'e nedensellik vardır
URB'dan REC'e nedensellik vardır	19.92	0.00	URB'dan REC'e nedensellik vardır

Tablo 5'te yer alan nedensellik analiz sonuçlarına göre kentleşme ile LCF arasında ve yenilenebilir enerji tüketimi ile LCF arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğuna karar verilmiştir. Bu sonuçlar, kentleşme ile LCF arasında çift yönlü nedensellik belirleyen Sun, Usman, Radulescu, Pata ve Balsalobre-Lorente (2024)'nin ve yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulun Pata, Wang, Kartal ve Sharif (2024)'in çalışmalarıyla örtüşmektedir. Bu bulgular, kentleşmenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel yük kapasitesi faktörünü nasıl şekillendirdiğini anlamada önemli bulgular sunmaktadır. Özellikle kentleşme süreci, altyapı yatırımları, sanayileşme ve enerji tüketimi ile doğrudan bağlantılıdır. Kentleşmenin artmasıyla birlikte doğal kaynak kullanımı ve çevresel yükler de artmakta, ancak aynı zamanda çevresel farkındalık ve yeşil altyapı yatırımları da yaygınlaşmaktadır. Bu süreç, çift yönlü nedenselliği açıklamaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi açısından ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının çevresel baskıyı azaltabileceği, ancak enerji üretim ve tüketim dinamiklerinin de LCF üzerinde geri besleme etkisi oluşturabileceği görülmektedir. Bu durumda ve yenilenebilir enerji tüketimi ile LCF arasında çift yönlü nedenselliği açıklamaktadır.

Bu bulguların aksine ekonomik büyümeden yük kapasitesi faktörüne doğru ve yük kapasitesi faktöründen ekonomik büyümeye doğru bir nedenselliğin olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, ekonomik büyüme ile LCF arasında nedensellik ilişkisi bulamayan Bekun, Uzuner, Meo ve Yadav (2024)'in çalışması ile benzerken, ekonomik büyüme ile LCF arasında çift yönlü nedensellik belirleyen Li, Tauni, Afshan, Dong ve Abbas (2024)'in çalışmasıyla uyuşmamaktadır. Bu farklılıklar, ülkelerin ekonomik yapılarına, çevresel sürdürülebilirlik stratejilerine ve enerji politikalarına bağlı olarak değişkenlerin etkileşim mekanizmalarının farklılaşabileceğini göstermektedir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümenin çevresel faktörler üzerindeki etkisinin farklılık göstermesi, literatürdeki bulgular arasındaki farklılıkları açıklayan önemli bir unsur olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, çalışmamızda kullanılan metodoloji ve veri seti kapsamı, önceki çalışmaların bulgularıyla olan benzerlik ve farklılıkların anlaşılmasında dikkate alınması gereken bir diğer faktördür.

POLİTİKA ÇIKARIMLARI:

Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda analizde kullanılan göstergeler bazında tasnif edilerek bazı politika çıkarımları sunmak mümkündür. Bu analiz sonuçları doğrultusunda politika çıkarımları şu şekilde olabilir:

Kentleşme Politikaları:

- **Altyapı Geliştirme:** Kentleşme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik olduğu göz önüne alındığında, kentsel altyapının güçlendirilmesi ve genişletilmesi çok önemlidir. Ulaşım, enerji ve su altyapısı gibi kritik alanlardaki yatırımlar, yük kapasitesini artırmak için gereklidir.
- **Sürdürülebilir Kentleşme:** Kentsel politikalar, yük kapasitesini artıracak şekilde sürdürülebilir olmalıdır. Enerji verimliliği yüksek binaların inşası, yeşil alanların korunması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu teşvik edilmelidir.
- **Akıllı Sistemler:** Artan kentleşme, kentsel taşımacılık sistemlerinde yoğunluğa yol açabilir. Bu nedenle, trafik yönetimi ve yük taşımacılığı süreçlerinde koordinasyonu artıracak akıllı sistemlerin kullanımı teşvik edilmelidir.
- **Çevre Dostu Taşımacılık:** Kentleşme sürecinde artan yük taşımacılığı, çevresel etkiler yaratabilir. Bu nedenle çevre dostu taşımacılık modlarının teşvik edilmesi önemlidir.

Yenilenebilir Enerji Politikaları:

- **Yenilenebilir Enerji Yatırımları:** Yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik bulunması nedeniyle, yenilenebilir enerji için daha fazla yatırım yapılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle için teşvikler ve sübvansiyonlar sağlanmalıdır.
- **Enerji Verimliliği:** Politikalar, enerji verimliliğini artırmak için uygulanmalıdır. Bu, enerji tüketimini azaltarak ve yük kapasitesini artırarak çevresel etkilerini azaltabilir.
- **Teşvik ve Vergi İndirimleri:** Yenilenebilir enerji yatırımları için vergi indirimleri ve daha cazip teşvikler sunularak bu alandaki özel sektör yatırımları artırılabilir.
- **Uzun Vadeli Enerji Planlaması:** Yenilenebilir enerji ve yük kapasitesi faktörlerini dikkate alan uzun vadeli enerji planlaması oluşturulmalıdır.

Ekonomik Büyüme ve Yük Kapasitesi:

- **Ekonomik Büyüme Destekleyecek Altyapı:** Yük kapasitesi faktörü ile ekonomik büyüme arasında doğrudan bir nedensellik bulunamamıştır, ancak yük kapasitesini artıracak altyapı yatırımlarının ekonomik büyümeyi dolaylı olarak desteklemesi mümkündür. Bu nedenle, ekonomik kalkınma stratejilerinde altyapı yatırımlarının yer alması çok önemlidir.
- **Sektörel Destekler:** Ekonomik büyümeyi desteklemek için yük kapasitesini artıracak sektörel destek sağlanabilir. Taşımacılık ve lojistik sektörlerine vergi indirimleri veya teşvikler uygulanabilir.

SONUÇ:

Çalışmada Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi gibi faktörler ile yük kapasitesi faktörü arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik olduğu gibi, kentleşme ile yük kapasitesi faktörü arasında da çift yönlü bir nedensellik olduğu bulunmuştur. Ancak, ekonomik büyümeden yük kapasitesi faktörüne ve yük kapasitesi faktöründen ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik bulunamamıştır. Ampirik analizin bulguları iddia edilen hipotezler açısından değerlendirildiğinde “kentleşme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır” ve “yenilenebilir enerji tüketimi ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır” şeklindeki hipotezler doğrulanırken, “ekonomik büyüme ile yük kapasitesi faktörü arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır” hipotezi doğrulanamamıştır.

Bu sonuçlar, Türkiye’de ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi gibi faktörlerin doğal kaynakları nasıl etkilediğini anlamak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için önemli ipuçları sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşmenin yük kapasitesi üzerindeki etkileri, politika yapıcılar ve çevre yönetimi stratejileri için önemli bir yol gösterici niteliktedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşmenin sürdürülebilir bir büyüme modeli oluşturmak için çok önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu sonuçları dikkate alarak, politika yapıcılar çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek için uygun adımlar atmak için altyapı planlaması, enerji politikaları ve kentsel gelişim stratejilerini gözden geçirmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışma, Türkiye ekonomisinde kentsel dönüşüm, ekonomik büyüme ve enerji dönüşümü gibi süreçlerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bir adımdır. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki çevre yönetimi stratejileri ve politika oluşturma süreçleri için önemli bir adımdır.

Analizin sonuçları, gelecekteki araştırmalar için fırsatlar sunulabilir. Örneğin, kentleşme ve yük kapasitesi arasındaki nedensellik ilişkilerini daha iyi anlamak için niteliksel araştırmalar yapılabilir veya farklı ülke/ülke grubunda benzer araştırmalar yapılabilir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazarlar, kendileri ve/veya diğer üçüncü kişi ve kurumlarla çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu makale için etik kurul iznine gerek yoktur. Buna ilişkin ıslak imzalı etik kurul kararı gerekmediğine dair onam formu sistem üzerindeki makale süreci dosyalarına eklenmiştir.

Finansal Destek: Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

KAYNAKÇA:

- Abdulmagid Basheer Agila, T., Khalifa, W. M., Saint Akadiri, S., Adebayo, T. S., & Altuntaş, M. (2022). Determinants of Load Capacity Factor in South Korea: Does Structural Change Matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 29(46), 69932-69948.
- Adebayo, T. S., Pata, U. K., & Akadiri, S. S. (2024). A Comparison of Co2 Emissions, Load Capacity Factor, and Ecological Footprint for Thailand's Environmental Sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 2203-2223.
- Adebayo, T. S., & Samour, A. (2024). Renewable Energy, Fiscal Policy and Load Capacity Factor in BRICS Countries: Novel Findings form Panel Nonlinear ARDL model. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 4365-4389.
- Akhyere, E., Kartal, M. T., Adebayo, T. S., & Kavaz, D. (2023). Role of Energy Consumption and Trade Openness Towards Environmental Sustainability in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 21156-21168.
- Alola, A. A., Özkan, O., & Usman, O. (2023). Role of Non-Renewable Energy Efficiency and Renewable Energy in Driving Environmental Sustainability in India: Evidence from The Load Capacity Factor Hypothesis. *Energies*, 16(6), 2847.
- Awan, A., Sadiq, M., Hassan, S. T., Khan, I., & Khan, N. H. (2022). Combined Nonlinear Effects of Urbanization and Economic Growth On Co2 Emissions in Malaysia. An application of QARDL and KRLS. *Urban Climate*, 46, 101342.
- Bekun, F. V., Uzuner, G., Meo, M. S., & Yadav, A. (2024). Another Look at Energy Consumption and Environmental Sustainability Target Through The Lens of The Load Capacity Factor: Accessing Evidence from Mint Economies. In *Natural Resources Forum*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Caglar, A. E., Destek, M. A., & Manga, M. (2024). Analyzing the load Capacity Curve Hypothesis for The Türkiye: A Perspective for The Sustainable Environment. *Journal of Cleaner Production*, 141232.
- Caglar, A. E., Pata, U. K., Ulug, M., & Zafar, M. W. (2023). Examining the Impact of Clean Environmental Regulations on Load Capacity Factor to Achieve Sustainability: Evidence from Apec Economies. *Journal of Cleaner Production*, 429, 139563.

- Dai, J., Ahmed, Z., Alvarado, R., & Ahmad, M. (2024). Assessing the Nexus between Human Capital, Green Energy, and Load Capacity Factor: Policymaking for Achieving Sustainable Development Goals. *Gondwana Research*, 129, 452-464.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Doğan, B., Driha, O. M., Balsalobre Lorente, D., & Shahzad, U. (2021). The Mitigating Effects of Economic Complexity and Renewable Energy on Carbon Emissions in Developed Countries. *Sustainable Development*, 29(1), 1-12.
- Fareed, Z., Salem, S., Adebayo, T. S., Pata, U. K., & Shahzad, F. (2021). Role of Export Diversification and Renewable Energy on The Load Capacity Factor in Indonesia: A Fourier Quantile Causality Approach. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 770152.
- Guloglu, B., Caglar, A. E., & Pata, U. K. (2023). Analyzing the Determinants of The Load Capacity Factor in OECD Countries: Evidence from Advanced Quantile Panel Data Methods. *Gondwana Research*, 118, 92-104.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. Bureau of Economic Research Working Paper 3914. NBER, Cambridge, MA.
- Güneysu, Y. (2023). Türkiye’de Finansal Gelişme, Küreselleşme ve Sanayileşmenin Yük Kapasite Faktörü Üzerindeki Etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(3), 934-946.
- Li, S., Tauni, M. Z., Afshan, S., Dong, X., & Abbas, S. (2024). Moving Towards a Sustainable Environment in The Brics Economies: What are The Effects of Financial Development, Renewable Energy and Natural Resources Within The Lcc Hypothesis?. *Resources Policy*, 88, 104457.
- Li, X., Sun, Y., Dai, J., & Mehmood, U. (2023). How do Natural Resources and Economic Growth Impact Load Capacity Factor in Selected Next-11 Countries? Assessing the Role of Digitalization and Government Stability. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(36), 85670-85684.
- Liu, X., Olanrewaju, V. O., Agyekum, E. B., El-Naggar, M. F., Alrashed, M. M., & Kamel, S. (2022). Determinants of Load Capacity Factor in an Emerging Economy: The Role of Green Energy Consumption and Technological Innovation. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1028161.
- Ni, Z., Yang, J., & Razzaq, A. (2022). How do Natural Resources, Digitalization, and Institutional Governance Contribute to Ecological Sustainability Through Load Capacity Factors in Highly Resource-Consuming Economies? *Resources Policy*, 79, 103068.
- Pata, U. K. (2021). Do Renewable Energy and Health Expenditures Improve Load Capacity Factor in the usa and Japan? A New Approach to Environmental Issues. *The European Journal of Health Economics*, 22(9), 1427-1439.
- Pata, U. K., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). Exploring the Impact of Tourism and Energy Consumption on The Load Capacity Factor in Turkey: A Novel Dynamic ARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 13491-13503.

- Pata, U. K., & Ertugrul, H. M. (2023). Do the Kyoto Protocol, Geopolitical Risks, Human Capital and Natural Resources Affect the Sustainability Limit? A New Environmental Approach Based on the LCC Hypothesis. *Resources policy*, 81, 103352.
- Pata, U. K., & Isik, C. (2021). Determinants of the Load Capacity Factor in China: A Novel Dynamic Ardl Approach for Ecological Footprint Accounting. *Resources Policy*, 74, 102313.
- Pata, U. K., & Samour, A. (2022). Do Renewable and Nuclear Energy Enhance Environmental Quality in France? A New Ekc Approach with The Load Capacity Factor. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104249.
- Pata, U. K., & Tanriover, B. (2023). Is the Load Capacity Curve Hypothesis Valid for the Top Ten Tourism Destinations? *Sustainability*, 15(2), 960.
- Pata, U. K., Wang, Q., Kartal, M. T., & Sharif, A. (2024). The Role of Disaggregated Renewable Energy Consumption on Income and Load Capacity Factor: A Novel Inclusive Sustainable Growth Approach. *Geoscience Frontiers*, 15(1), 101693.
- Raihan, A., Rashid, M., Voumik, L. C., Akter, S., & Esquivias, M. A. (2023). The Dynamic Impacts of Economic Growth, Financial Globalization, Fossil Fuel, Renewable Energy, and Urbanization on Load Capacity Factor in Mexico. *Sustainability*, 15(18), 13462.
- Shang, Y., Razzaq, A., Chupradit, S., An, N. B., & Abdul-Samad, Z. (2022). The Role of Renewable Energy Consumption and Health Expenditures in Improving Load Capacity Factor in Asean Countries: Exploring New Paradigm Using Advance Panel Models. *Renewable Energy*, 191, 715-722.
- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of Ecological Footprint and Emery Analysis as a Sustainability Indicator of Countries: Peru As Case Study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10), 3182-3192.
- Sun, Y., Usman, M., Radulescu, M., Pata, U. K., & Balsalobre-Lorente, D. (2024). New Insights from the STIPART Model on How Environmental-Related Technologies, Natural Resources and The Use of The Renewable Energy Influence Load Capacity Factor. *Gondwana Research*, 129, 398-411.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical Inference in Vector Autoregressions with Possibly Integrated Processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Xu, D., Salem, S., Awosusi, A. A., Abdurakhmanova, G., Altuntaş, M., Oluwajana, D., Kirikkaleli, D., & Ojekemi, O. (2022). Load Capacity Factor and Financial Globalization in Brazil: The Role of Renewable Energy and Urbanization. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 823185.
- Yavuz, E., Kilic, E., & Caglar, A. E. (2023). A New Hypothesis for The Unemployment-Environment Dilemma: Is The Environmental Phillips Curve Valid in The Framework of Load Capacity Factor in Turkiye? *Environment, Development and Sustainability*, 1-18.
- Yuan, J., Xu, Y., & Zhang, X. (2014). Income Growth, Energy Consumption and Carbon Emissions: The Case of China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 50(5), 169-181.
- Zhao, W.-X., Samour, A., Yi, K., & Al-Faryan, M. A. S. (2023). Do Technological Innovation, Natural Resources and Stock Market Development Promote Environmental Sustainability? Novel Evidence Based on the Load Capacity Factor. *Resources Policy*, 82, 103397.

EXTENDED SUMMARY

Research Problem:

The main objective of the study is to investigate the causality relationship between economic growth, urbanization, renewable energy consumption and load capacity factor in the Turkey economy in the period 1990-2020.

Research Questions:

The basic hypotheses of the study are as follows:

H₁: There is a bidirectional causality relationship between economic growth and load capacity factor.

H₂: There is a bidirectional causality relationship between urbanization and load capacity factor.

H₃: There is a bidirectional causality relationship between renewable energy consumption and load capacity factor.

Literature Review:

In today's world, environmental degradation is becoming an increasingly serious threat due to rapid urbanization and industrialization, the reckless consumption of natural resources, and climate change. Human activities are causing a decline in biodiversity in ecosystems, deterioration of water and air quality, and soil erosion. These degradations threaten nature, human health, food security, and economic stability. One of the most important requirements of both the present and the future is to investigate the causes of environmental degradation and to develop effective solutions.

To date, studies empirically evaluating environmental issues have generally used indicators such as carbon emissions and ecological footprints as indicators of environmental degradation. In this context, to better analyze environmental degradation, the Load Capacity Factor (LCF) indicator was proposed by Siche, Pereira, Agostinho, and Ortega (2010). The Load Capacity Factor indicates the capacity of a region or country to support its population based on the current lifestyle. The Load Capacity Factor compares biological capacity with the ecological footprint, following a certain ecological threshold. This allows for a comprehensive investigation of environmental degradation (Pata and Isik, 2021).

One of the most frequently used theories to explain the relationship between economic growth and environmental quality is the Environmental Kuznets Curve (EKC). This theory assumes that as a country develops economically, environmental quality will initially deteriorate due to increased economic activities (Awan, Sadiq, Hassan, Khan, and Khan, 2022). To explain the relationship between economic growth and the load capacity factor, the Load Capacity Curve (LCC) is used. This theory explains the relationship between economic growth and environmental quality, indicating that economic growth positively affects environmental quality up to a certain point. Once this point is reached, further economic growth will decrease environmental quality (Pata and Tanriover, 2023).

The main purpose of this study is to investigate the causality relationship between economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and the load capacity factor in the Turkey economy during the period of 1990-2020. In recent years, the Turkey economy has been chosen due to its rapid economic growth, urbanization processes, strategic geographical location, and environmental sustainability issues. Additionally, Turkey's emphasis on renewable energy sources in its energy policies and investments in this field are directly related to the subject of the study.

This study contributes to the literature in three ways. Firstly, it is the first study to determine the causality effects between economic growth, urbanization, renewable energy consumption indicators, and the load capacity factor in the Turkey economy simultaneously. Secondly, the study examines, for the first time, using a comprehensive environmental quality indicator known as the load capacity factor. Thus, the study addresses

environmental issues from both supply and demand perspectives. This indicator adds a different dimension to discussions on sustainable environment. Therefore, it is believed to contribute to expanding the existing literature, which is limited within the framework of the Turkey economy. The third contribution of the study is that it examines the relationship between economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and the load capacity factor in the Turkey economy solely from the perspective of causality.

Material and Methodology:

In this study, the causality relationship between the load capacity factor and economic growth, calculated as per capita GDP (constant 2015 USD), urbanization, and renewable energy sources in Turkey for the period of 1990-2020 was examined. The reason for using LCF as an indicator of environmental degradation is that it is a more comprehensive indicator than carbon emissions and ecological footprint. This is because it includes both the demand and supply of natural resources, providing a better environmental assessment (Adebayo, Pata, and Akadiri, 2024).

In the study, the Toda-Yamamoto Causality Analysis was conducted to investigate the causality relationship. For this purpose, the stationarity levels of the variables used in the study were first determined, and then the appropriate lag number for the Toda-Yamamoto Causality Test was determined using VAR models, followed by the causality analysis.

Findings and Discussion:

According to the ADF test results, the null hypothesis that the LCF and REC variables have a unit root is rejected at the 90% confidence interval, indicating that these variables are stationary at level.

The findings from the causality analysis reveal a bidirectional causality between urbanization and the load capacity factor, as well as between renewable energy consumption and the load capacity factor. Additionally, no causality was detected from economic growth to the load capacity factor or from the load capacity factor to economic growth.

When the findings of the empirical analysis are evaluated in terms of the proposed hypotheses, the hypotheses stating "there is a bidirectional causality relationship between urbanization and the load capacity factor" and "there is a bidirectional causality relationship between renewable energy consumption and the load capacity factor" are confirmed, while the hypothesis stating "there is a bidirectional causality relationship between economic growth and the load capacity factor" is not confirmed.

Conclusion:

This study examined the causal relationships between economic growth, urbanization, renewable energy consumption and load capacity factor in the Turkey economy and revealed that there is a bidirectional causality between renewable energy consumption and load capacity factor and urbanization and load capacity factor, but no direct causality was detected between economic growth and load capacity factor. The findings are important in terms of sustainable development policies and show that environmentally friendly energy policies should be encouraged and the urbanization process should be managed by taking environmental capacity into account. Since the study focuses on a specific time period (1990-2020) and the Turkish economy, the generalization of the results for different periods or countries may be limited; moreover, additional variables such as policy changes and institutional factors were not taken into account. Future studies can obtain comparative results by performing similar analyses for different countries or country groups.