

YÜKSELEN EKONOMİLERDE YÜK KAPASİTE EĞRİSİ HİPOTEZİ: TÜRKİYE VE BREZİLYA ÖRNEĞİ

Cihat KARADEMİR¹

Gönderim tarihi: 12.07.2025

Kabul tarihi: 13.02.2026

Özet

Bu çalışma, Yük Kapasitesi Eğrisi (LCC) hipotezinin geçerliliğini, iki önemli yükselen ekonomi olan Türkiye ve Brezilya için 1965-2023 dönemini kapsayan verilerle karşılaştırmalı olarak test etmektedir. Biyolojik kapasitenin ekolojik ayak izine oranı olarak tanımlanan Yük Kapasitesi Faktörü (LCF) ile kişi başına gelir arasındaki ilişki, sahte regresyon riskini en aza indiren Genişletilmiş ARDL (A-ARDL) yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Ampirik bulgular, iki ülke için çarpıcı bir ayrışma ortaya koymaktadır: Türkiye için LCC hipotezini doğrulayan bir "U" ilişkisi tespit edilirken, Brezilya için hipotez reddedilmiş ve "Ters-U" şeklinde bir patika gözlemlenmiştir. Ayrıca, Türkiye’de yenilenebilir enerji LCF’yi pozitif etkilerken, Brezilya’da kentleşmenin negatif, dışa açıklığın ise pozitif etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Bu farklılaşan sonuçlar, ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik ilişkisinin evrensel bir kanun olmadığını, ülkelerin başlangıç ekolojik kapasiteleri ve yapısal özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Çalışma, her ülke için bu bulgulara dayalı özgün politika önerileri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yük Kapasite Eğrisi (LCC), Ekonomik Büyüme, Çevresel Sürdürülebilirlik

Jel Kodları: Q56, O44, Q01

THE LOAD CAPACITY CURVE HYPOTHESIS IN EMERGING ECONOMIES: EVIDENCE FROM TURKIYE AND BRAZIL

Abstract

This study comparatively tests the validity of the Load Capacity Curve (LCC) hypothesis for two major emerging economies, Türkiye and Brazil, using data spanning the period 1965-2023. The relationship between the Load Capacity Factor (LCF)—defined as the ratio of biocapacity to ecological footprint—and per capita income is analyzed using the Augmented ARDL (A-ARDL) cointegration approach, which minimizes the risk of spurious regression. The empirical findings reveal a striking divergence between the two countries: while a U-shaped relationship is identified for Türkiye, thus supporting the LCC hypothesis, an inverted U-shaped path is observed for Brazil, refuting the hypothesis for this country. Furthermore, while renewable energy is found to positively affect the LCF in Türkiye, urbanization has a negative effect, and trade openness has a positive effect in Brazil. These diverging results indicate that the relationship between economic growth and environmental sustainability is not a universal law but rather depends on country-specific initial ecological capacities and structural features. The study concludes by presenting unique policy recommendations for each country based on these findings.

Keywords: Load Capacity Curve (LCC), Economic Growth, Environmental Sustainability.

Jel Codes: Q56, O44, Q01

¹ Dr. Öğr. Üyesi Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonomi Bölümü, cihatk@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9074-0915

1. Giriş

İklim değişikliği ve çevresel bozulma, küresel sürdürülebilirlik ve refah için günümüzde tartışılan en önemli tehditlerden birisi haline gelmiştir. Artan doğal kaynak talebi, küresel ısınma, biyoçeşitlilikteki azalma, su, toprak ve hava kirliliği en başta olmak üzere çok sayıda çevresel sorunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Rockstörn vd. (2009), ileri sürdüğü “gezegenin sınırları” önerisi, özellikle son yıllarda daha çok hissedilen iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve arazi kullanımı gibi çevresel sorunlarda kritik eşiğin aşılmasının, insanlığın güvenli faaliyet alanını tehdit ettiğini ifade etmektedir. Çünkü küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu gıda güvenliği, biyolojik çeşitlilik ve toplumsal yaşamı direkt olarak etkilemektedir (Sinha ve Schneider, 2024). Bu durum, geleneksel ekonomi anlayışının yerini, ekonomik faaliyetleri doğanın yenilenme kapasitesiyle uyumlu bir çerçevede yeniden tanımlayan sürdürülebilir politikalara bırakma zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

Ekonomik faaliyetler ve ekolojik denge arasındaki bu gerilim, ülkeleri çevresel sürdürülebilirliği öncelikli bir hedef olarak benimseyip sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda küresel ölçekte iş birliği yapmaya teşvik etmiştir. Küresel çapta ilk gelişme 1972 yılında Roma Kulübü tarafından hazırlanan “büyümenin sınırları” adlı çalışma olmuştur. Bu çalışma, enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yenilenemez kaynak kullanımının sürdürülebilir büyümenin önündeki en önemli tehdit olduğunu ortaya koymuştur (Sinha ve Schneider, 2024). Devam eden süreçte özellikle Birleşmiş Milletler bünyesinde yapılan toplantılarda “sürdürülebilir kalkınma” kavramı tanımlanmış, çevresel sürdürülebilirliğin üzerinde durulmuştur. Bu girişimlerin uluslararası boyut kazanmasıyla birlikte, ozon tabakasını incelten maddelerin kademeli olarak ortadan kaldırılmasına odaklanan 1989 Montreal Protokolü, sera gazı emisyonlarını azaltmak için 1997 yılında Kyoto Protokolü ve son olarak çevre sorunlarını kontrol etmek için tasarlanan 2015 Paris İklim Anlaşması imzalanmıştır. Meydana gelen bu gelişmeler, ülkelerin ortak politikalar uygulayarak birlikte hareket etme motivasyonlarının artmasına neden olmuş, sera gazı emisyonlarını kontrol altına almak adına farkındalığın oluşmasına katkıda bulunmuştur (Ahmed vd., 2016).

Sürdürülebilir bir çevre sağlamak için araştırmacılar, karbon emisyonları ve sera gazı emisyonları gibi çevresel bozulmayı temsil eden değişkenleri kullanarak çeşitli teorik ve ampirik modeller geliştirmiştir. Bu modellerden ilki ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ters-U şeklinde bir ilişkiyi öngören Çevresel Kuznets Eğrisi (Environmental Kuznets Curve, EKC) hipotezidir (Grossman ve Krueger, 1991). EKC hipotezine göre, iktisadi

gelişmenin ilk aşamasında artan kirlilik, kişi başı düşen gelirin belirli bir eşik değeri aşmasından sonra teknolojik gelişmeler, yapısal dönüşüm ve artan çevresel hassasiyet nedeniyle azalmaktadır. Ancak EKC hipotezi, çevre kirliliğini genellikle tek bir emisyon göstergesine indirgemekte ve ekosistemlerin çevresel baskıyı karşılama kapasitesini gösteren arz yönünü analiz dışında bırakması nedeniyle yoğun eleştirilere maruz kalmaktadır (Stern, 2004; Altıntaş ve Kassouri, 2020; Pata ve Kartal, 2023). Bu eleştirilerden Solarin ve Bello (2018), çevresel bozulmayı analiz etmede sadece hava kirliliğini ölçen CO₂ emisyonlarını kullanmanın yetersiz olduğunu, çevresel bozulmanın su, hava ve toprak kirliliği olmak üzere üç temel unsur olarak incelenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Bu sınırlılıkları aşmak amacıyla Wackernagel ve Rees (1996), tarafından geliştirilen ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite kavramları, daha bütüncül bir sürdürülebilirlik muhasebesi sunmaktadır. Ekolojik ayak izi kavramı, her bireyin üretim faaliyetinin, bölgenin ve çeşitli süreçlerin gezegen üzerindeki etkisini gösteren ve çevre kirliliğinin talep tarafını temsil eden bir kavramdır. Ekolojik ayak izi, toplumun bir yılda tüketeceği kaynak miktarını matematiksel olarak tahmin etmeyi mümkün kılması ve arazi şeklinde tanımlanması nedeniyle son dönemlerde çevre tartışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Zhao vd., 2005). Tarım arazisi, otlak, orman, balıkçılık alanı, yerleşim alanı ve karbon emilimi bileşenleri kullanılarak hesaplanan ekolojik ayak izi, görece olarak daha geniş bir perspektif sunması nedeniyle çevresel kirlilik çalışmalarında önemli bir yer edinmiştir (Wackernagel vd., 1999). Ancak çevresel sürdürülebilirliğin sadece talep yönünü ifade etmesi sebebiyle yalnızca ekolojik ayak izi verilerinin kullanıldığı çalışmalar eksik kalmaktadır (Pata ve Tanrıöver, 2023).

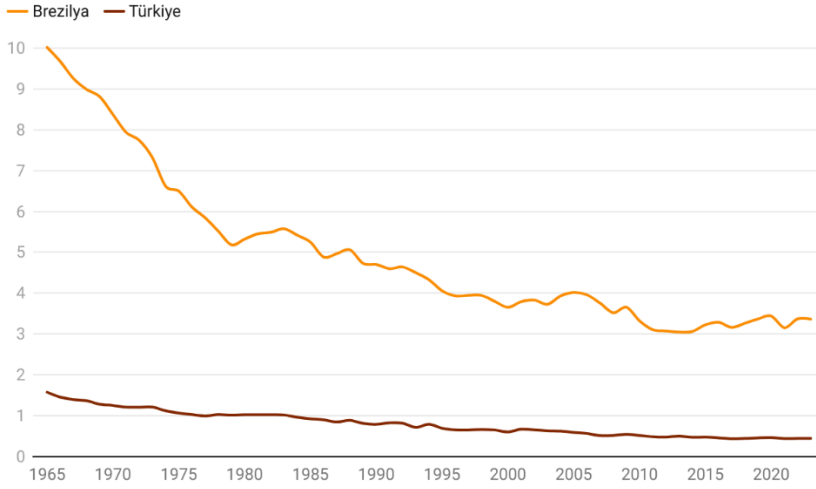
Biyolojik kapasite ise, insanlığın tükettiği ekolojik kaynakları sağlamak için biyolojik olarak üretken kara ve deniz alanlarının bir ölçüsü olarak tanımlanmakta ve çevresel sürdürülebilirliğin arz yönünü göstermektedir (Borucke vd., 2013). Doğada var olan kaynakların kendini yenileme sürecinin bir göstergesi olarak kullanılan biyolojik kapasite kavramı, inşa edilmiş arazi, tarım arazisi, balıkçılık alanı, orman arazileri ve otlakların talebini karşılamak için yenilenme kapasitesi alt bileşenleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Siche vd., 2010; Pereira ve Ortega, 2012; Gabbi vd., 2021).

Ekolojik ayak izi ile biyolojik kapasite arasındaki ilişki ekolojik açık ve ekolojik fazla terimleri kullanılarak açıklanabilmektedir. Eğer ekolojik ayak izi biyolojik kapasiteden büyük ise ülkede ekolojik açık olduğu söylenir. Bu durumda ülke kendi ekosisteminin taşıyacağından daha fazla kaynak talebinde bulunduğu için daha fazla atık üretmektedir. Ters durum olan ekolojik fazla da ise ülkenin sınırları içerisinde sürdürülebilir bir şekilde yaşam

sürdüğü sonucuna ulaşılmaktadır (Galli vd., 2020). Bu iki çevre göstergesi arasındaki denge veya dengesizlik durumu, politika yapıcılar açısından kritik bir izleme aracı olarak değerlendirilmektedir.

Bu iki temel göstereyi birleştiren Siche vd. (2010), Pereira ve Ortega (2012) ve Sarkodie (2021) tarafından tanımlanan Yük Kapasite Faktörü (Load Capacity Factor, LCF) bir ülkenin biyolojik kapasitesinin ekolojik ayak izine oranı olarak hesaplanmaktadır. LCF, ekolojik açık ya da ekolojik fazlanın temel göstergesi olarak dikkate alınmış ve ekolojik sürdürülebilirliğin dinamik bir ölçütünü sunması sebebiyle araştırmacıların ilgi odağı olmuştur (Sinha ve Schneider, 2024). LCF'nin 1'in üzerinde olması ekolojik fazlayı, 1'in altında olması ise ekolojik açığı ifade etmektedir. LCF'den yola çıkılarak geliştirilen Yük Kapasite Eğrisi (Load Capacity Curve, LCC) hipotezi, kişi başı gelir ile LCF arasında U-şeklinde bir ilişki olduğunu iddia etmektedir (Pata ve Işık, 2021). Bu hipotez çerçevesinde, iktisadi büyümenin ilk aşamasında zayıf çevre hassasiyeti ve doğal kaynak yoğun üretim yapısı nedeniyle biyolojik kapasite üzerindeki baskı artar, ekolojik ayak izi yükselir ve LCF düşer. Ancak, gelir seviyesi belli bir dönüm noktasından sonra teknolojik ilerleme, yapısal değişim ve artan çevre bilinci, biyolojik kapasitenin korunmasına ve hatta artmasına yol açarak LCF'nin yükselmesini sağlar.

Bu çalışmanın amacı, LCC hipotezinin geçerliliğini, küresel ekonomide önemli roller üstlenen ancak farklı ekolojik ve ekonomik yapıya sahip iki yükselen ekonomi olan Türkiye ve Brezilya özelinde test etmektir. Bu ikilinin seçimi, LCC hipotezinin farklı bağlamlarda geçerliliğini ve duyarlılığını sınamak için ideal bir zemin sunmaktadır. İlgili ülkelere ait LCF serilerinin 1965-2023 dönemi içerisindeki seyri Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1: Türkiye ve Brezilya'nın LCF Eğilimleri (1965-2023)

Kaynak: Global Footprint Network

Türkiye ve Brezilya'nın 1965-2023 dönemi için hesaplanan LCF patikaları, her iki ülkenin de ekolojik sürdürülebilirliklerinde zaman içerisinde yaşanan bozulmayı çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır. Başlangıçta LCF değerinin 10'a yakın olmasıyla önemli bir ekolojik alacaklı konumunda olan Brezilya'nın çevresel sürdürülebilirliği arka plana atan politikalar nedeniyle bu ekolojik rezervinin zamanla ciddi şekilde aşıldığı gözlemlenmektedir. Diğer yandan Türkiye, daha kırılgan bir dengeyle başladığı bu süreçte LCF=1 kritik eşiğinin altına düşerek 1970'lerin sonundan itibaren net bir şekilde ekolojik borçlu konumuna geçmiştir. Bu bağlamda, her iki ülkede de ekonomik büyüme süreçleriyle paralel ilerleyen bu aşağı yönlü LCF eğilimleri, çevre-büyüme ilişkisinin ardındaki karmaşık dinamikleri ve potansiyel dönüm noktalarını araştırmayı hedefleyen bu çalışma için kritik bir motivasyon ve çıkış kaynağı teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye ve Brezilya için LCC hipotezinin ampirik analizi, Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL modelinin yakın zamanda geliştirilmiş ve daha güçlü bir versiyonu olan Augmented ARDL yaklaşımı ile gerçekleştirilecektir. McNown vd. (2018) ve Sam vd. (2019) tarafından önerilen A-ARDL modeli, bağımlı değişkenin $I(1)$ olma zorunluluğu yerine, bağımsız değişkenlerin gecikmeli değerlerini bir bütün halinde anlamlılığına dayanan ilave bir sağlamlık testi (F_{lv}) önererek, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin sahte bir regresyon olmadığını teyit ederek eşbütünleşme kanıtlarını sağlamlaştırmak-

tadır. Dolayısıyla A-ARDL modelinin kullanılması, elde edilecek bulguların güvenilirliğini ve sağlamlığını artırarak, çevre-büyüme literatürüne daha kesin ve istatistiksel olarak daha güçlü sonuçlar sunma potansiyeli taşımaktadır.

Bu hedefler doğrultusunda çalışma beş bölüm halinde yapılandırılmıştır. Giriş bölümünü takiben, çalışmanın ikinci bölümünde çevre-ekonomik büyüme ilişkisini ele alan LCC hipotezine ait ampirik literatür özetlenecektir. Üçüncü bölüm, çalışmanın ekonometrik metodolojisine ayrılmıştır. Bu kısımda, veri seti, değişkenler ve A-ARDL modeli tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde, model tahminlerinden elde edilen ampirik bulgular sunulacak ve yorumlanacaktır. Son olarak, beşinci bölüm olan sonuç kısmında, çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılarak, elde edilen bulgular ışığında politika önerileri geliştirilecek ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.

2. Literatür Özeti

LCC hipotezinin teorik altyapısını ve ampirik geçerliliğini ortaya koymak amacıyla, ilgili literatürün sistematik bir şekilde incelenmesi bu bölümün temel amacını oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, LCF'nin belirleyicilerini ve LCC hipotezinin geçerliliğini farklı ülke grupları ve zaman dilimleri için test eden ampirik çalışmalara odaklanılacaktır. Bu kapsamda, LCC literatüründeki mevcut eğilimler, metodolojik yaklaşımlar ve bulgulardaki farklılıklar ortaya konularak bu çalışmanın literatürde doldurmayı hedeflediği özgün katkı daha net bir şekilde tanımlanacaktır.

Literatürde LCF'yi etkileyen dinamikler üzerine yapılan çalışmalar, LCF'nin karmaşık ve çok yönlü bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, kullanılan değişkenlere ve ekonometrik yöntemlere göre farklılık gösterse de temel olarak enerji kaynaklarının etkisi, ekonomik ve finansal faktörlerin rolü, teknolojik ve kurumsal dinamikler olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilmektedir.

LCF literatürünün merkezinde, enerji tüketiminin türü ve yoğunluğu yer almaktadır. Beklendiği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı LCF üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğu genel bir kabul görmektedir. Örneğin, Pata (2021) Japonya ve ABD'de, Güloğlu vd. (2023) 26 OECD ülkesinde, Ullah vd. (2023) BRICS-T ülkelerinde, Pata vd. (2023) Latin Amerika ülkelerinde, Altıntaş vd. (2023) MENAT ülkelerinde ve Feng vd. (2024) E-7 ülkelerinde yenilenebilir enerjinin LCF'yi artırdığını bulmuşlardır. Benzer şekilde Kartal vd. (2023) ABD için hem yenilenebilir enerjinin hem de nükleer enerjinin ekolojik bozulmayı

azalttığını ifade etmiştir. Kinnunen vd. (2025), Finlandiya için ekonomik büyüme, nükleer enerji ve verimlilik ile LCF arasındaki ilişkiyi ARDL yaklaşımını kullanarak analiz etmiştir. Elde ettikleri bulgu, nükleer enerjinin LCF üzerinde pozitif bir etki yaptığı yönündedir. Diğer taraftan Akadiri vd. (2022) Hindistan’da, Xu vd. (2022) Brezilya’da yenilenebilir enerji tüketiminin LCF’yi azalttığını raporlarken, Pata ve Kartal (2023) Güney Kore’de nükleer enerjinin çevre kalitesini artırırken yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi üzerinde bir etkisinin olmadığı, Uçar vd. (2025) BRICS ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi ile LCF arasında bir ilişki bulunmadığı sonucuna ulaşmıştır. Bu çelişkili bulgular, yenilenebilir enerji sistemlerinin ilk kurulum aşamasında yarattığı çevresel etkiler, arazi kullanımı ve tahribatı veya ülke özelindeki enerji politikalarının farklılığı LCF üzerindeki net etkiyi değiştirebileceğini göstermektedir. Öte yandan, enerji yoğunluğunun (Pata ve Işık, 2021) ve genel enerji tüketiminin (Akhayere vd. 2022) LCF üzerinde olumsuz etkiler bıraktığı konusunda literatürde daha güçlü bir fikir birliği bulunmaktadır. ASEAN-5 ülkelerinin analiz edildiği bir çalışmada ise Kurniawati vd. (2025), enerji yoğunluğu, ticaret ve finansal kapsayıcılığın LCF üzerindeki etkileri incelenmiş, LCC hipotezinin geçerli olmadığı yönünde sonuçlar elde edilmiştir.

Ampirik çalışmaların büyük bir bölümü, ekonomik büyümenin Yük Kapasitesi Faktörünü (LCF) istatistiksel olarak anlamlı ve olumsuz yönde etkilediği bulgusuna ulaşmıştır (Pata, 2021; Ni vd., 2022; Xu vd., 2022; Pata vd., 2023, Uçar vd., 2025). Diğer yandan Feng vd. (2024) ekonomik büyümenin ilk aşamalarda çevre kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu ancak eşik seviyesine ulaştıktan sonra büyümenin çevre kalitesini artırmaya yardımcı olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla bu çalışma LCC hipotezinin geçerli olduğu yönünde kanıtlar sunmaktadır. Benzer şekilde, BRICS ülkelerini analiz eden Wang vd. (2024), ekonomik büyüme ile LCF arasında U-şeklinde bir ilişki tespit etmiştir.

LCF’nin belirleyicilerini konu eden çalışmalarda finansal küreselleşme ve ticari açıklık gibi faktörlerin etkisi daha belirsizdir. Xu vd. (2022) Brezilya’da finansal küreselleşmenin LCF’yi artırdığını bulurken Pata vd. (2023) Latin Amerika ülkelerinde küreselleşmenin olumsuz etkilerini işaret etmiştir. Benzer şekilde Huilan vd. (2022) Meksika’da ticari açıklığın pozitif etki yarattığını bulurken, Akhayere vd. (2022) Türkiye için negatif bir ilişki saptamıştır. Çin için yapılan bir çalışmada ise ekonomik büyüme ile doğrudan yabancı yatırımların çoğu modelde çevresel hassasiyeti azaltıcı etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır (Güler vd., 2025). Türkiye ekonomisi için ise tarımsal verimlilik ve küreselleşmenin tek başına çevresel bozulmayı azalttığı belirlenmiştir (Özbek ve Şahin, 2025). Bu bulgular, ekonomik ve finansal faktörlerin, ülkenin kurumsal yapısı, kaynak yönetimi ve büyüme yapısına bağlı olarak farklı etkiler yarattığını göstermektedir.

Ampirik literatürde teknolojik, sosyal ve kurumsal ilerlemenin LCF üzerindeki etkisi genellikle benzer sonuçları göstermektedir. Beşeri sermaye ve teknoloji (Pata ve Işık, 2021; Güloğlu vd., 2023; Feng vd., 2024), kurumsal gelişme (Ni vd., 2022) ve dijitalleşme (Ni vd., 2022; Ren vd., 2022) gibi faktörlerin LCF'yi artırdığı ve çevresel kaliteye katkı sağladığı yönünde güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Kentleşme değişkeninin etkisi ise belirsiz bir durumu ifade etmektedir. Güloğlu vd. (2023), Fang vd. (2024), Çağlar vd. (2024) ve Çamkaya (2024) olumsuz etkiler bulurken, Sun vd. (2024) pozitif yönlü ilişki saptamıştır. Bu sonuç, kentleşmenin sürdürülebilir bir şekilde yönetilip yönetilmemesinin sonuçları etkilediğini göstermektedir.

Ampirik literatür çerçevesinde, çalışmanın odaklandığı Türkiye ve Brezilya'ya ait bulgular önem kazanmaktadır. Akhayere vd. (2022) Türkiye için ticari açıklık, enerji tüketimi ve finansal gelişmenin LCF'yi olumsuz etkilediğini, Altıntaş vd. (2023) fosil enerji kullanımının LCF'yi negatif yönde etkilediğini ancak genel olarak LCC hipotezinin geçersiz olduğunu, Feng vd. (2024) ve Çamkaya (2024) ise LCC hipotezinin geçerli olduğunu ifade etmiştir. Xu vd., (2022), Brezilya için ekonomik büyümenin, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerjinin LCF'yi azalttığını kentleşmenin ise hiçbir etkisinin olmadığını ortaya koyarken Feng vd. (2024) ve Çağlar vd. (2024) LCC hipotezinin geçerli olduğunu, Uçar vd. (2025) ise hipotezin geçersiz olduğunu raporlamıştır. Her iki ülkeye ait bulgular literatürdeki sonuçlarla benzer olmakla birlikte, özellikle ekonomik büyüme ile LCF arasındaki ilişki dolayısıyla LCC hipotezinin geçerliliği konusundaki karmaşık sonuçlar, LCC hipotezinin daha sağlam ve güncel ekonometrik yöntemlerle yeniden incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Literatür özetinin de gösterdiği gibi, LCC hipotezinin Türkiye ve Brezilya için geçerliliği konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Her iki ülke için de hipotezi destekleyen çalışmaların yanı sıra reddeden çalışmaların da olması, bu ilişkinin hassasiyetini ve daha derinlemesine incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Literatürdeki bu temel boşluklardan hareketle, bu çalışma iki önemli ve özgün katkı sunmayı hedeflemektedir:

- Literatürdeki çelişkili bulguların olası bir nedeni, önceki çalışmalarda kullanılan farklı ekonometrik yöntemlerin potansiyel zayıflıklarıdır. Bu çalışma, sahte eşbütünleşme riskini en aza indiren Genişletilmiş ARDL (A-ARDL) gibi sağlam ve güncel bir yöntemi uygulayarak, literatürdeki bu metodolojik belirsizliği azaltmayı ve daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır.

- Mevcut çalışmalar her bir ülkeyi genellikle kendi içinde ele almaktadır. Ancak Türkiye ve Brezilya gibi benzer gelir düzeylerine sahipken, ekolojik göstergeleri tamamen zıt iki önemli yükselen ekonomiyi aynı metodolojik çerçevede ve aynı dönem için doğrudan karşılaştıran bir çalışma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma, bu iki ülkenin neden farklı çevresel sürdürülebilirlik patikaları izlediğine dair özgün bir bakış açısı sunarak bu karşılaştırmalı analiz boşluğunu doldurmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışma, hem daha sağlam bir yöntem kullanarak mevcut sonuçları test etmesi hem de iki kilit yükselen ekonomi ülkesini doğrudan karşılaştırarak yeni bir perspektif sunması açısından literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

3. Veri ve yöntem

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Türkiye ve Brezilya için LCC hipotezinin geçerliliğini test etmek amacıyla 1965-2023 dönemini kapsayan yıllık frekandaki veriler kullanılmıştır. Analizde kullanılan tüm değişkenlere ait tanımlar, semboller ve verilerin derlendiği kuruluşlar Tablo 1’de özetlenmektedir.

Tablo 1: Değişkenlere Ait Bilgiler

Sembol	Kategori	Tanım ve Ölçüm	Kaynak
LCF	Bağımlı Değişken	Biyo Kapasite/Ekolojik Ayak İzi (kişi başına gha)	Global Footprint Network (2025)
GDP	Bağımsız Değişken	Kişi Başına Düşen Gelir (constant 2015 USD)	World Bank (2025)
GDP2	Bağımsız Değişken	Kişi Başına Düşen Gelirin Karesi (constant 2015 USD)	World Bank (2025)
URB	Bağımsız Değişken	Kentleşme (toplam nüfusa göre %)	World Bank (2025)
TO	Bağımsız Değişken	Dışa Açıklık (İhracat+İthalat/GSYH, %)	World Bank (2025)
REN	Bağımsız Değişken	Yenilenebilir Enerji (ej)	Energy Institute (2025)

LCC hipotezi, ekolojik sürdürülebilirliğin hem arz hem de talep yönünü gösteren LCF ile kişi başına düşen gelir arasında U-şeklinde bir ilişki öngördüğü için, modelin temel açıklayıcı değişkeni olarak çalışmada kişi başına düşen gelir ve bu değişkenin karesel terimi kullanılmıştır. Modelin temel değişkenlerine ek olarak, LCF üzerindeki etkileri literatürde yaygın

olarak kabul görmüş bir dizi kontrol değişkeni de açıklama gücünü artırmak ve ihmal edilmiş değişken sapmasını önlemek amacıyla analize dahil edilmiştir. Bu değişkenler, kentleşme oranı, dış açıklık oranı ve yenilenebilir enerji tüketimi olarak belirlenmiştir. Söz konusu değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

Türkiye	LCF	GDP	GDP2	URB	TO	REN
Ortalama	0.803560	6515.600	52693155	58.2092	36.80109	1.338364
Medyan	0.715627	5541.747	30710960	61.5900	37.66492	1.487363
Max.	1.576915	14713.57	2.16E+08	77.4630	81.17013	2.139668
Min.	0.436791	2692.142	7247630.	34.2270	8.333333	0.357744
Std.						
Sapma	0.305377	3227.485	52675882	13.7346	18.45857	0.513589
Skew.	0.617122	0.938209	1.483515	-0.31042	0.029259	-0.40528
Kurt.	2.397690	2.788757	4.260600	1.68878	2.148567	2.200787
J-B	4.636748	8.765356	25.54793	5.17413	1.790557	3.185447
Brezilya	LCF	GDP	GDP2	URB	TO	URB
Ortalama	4.943170	6619.096	46989843	74.0055	21.19215	2.287992
Medyan	4.331265	6591.609	43449307	76.9030	20.15541	2.394615
Max.	10.01708	9366.739	87735806	87.7880	38.81607	2.800357
Min.	3.048667	2772.672	7687709	51.0370	11.35438	1.406796
Std.						
Sapma	1.867325	1797.831	22916067	11.3195	6.379601	0.389494
Skew.	1.233829	-0.37429	0.180304	-0.53787	0.691835	-0.85565
Kurt.	3.574985	2.538489	2.119689	1.96227	2.976788	2.646346
J-B	15.78236	1.901202	2.224758	5.492154	4.707908	7.506818

Tablo 2’de yer alan bilgiler incelendiğinde, iki ülkenin ortalama kişi başı düşen gelir seviyelerinin (Türkiye için 6515, Brezilya için 6619) dönem boyunca birbirine oldukça yakın seyrettiği görülürken ekolojik sürdürülebilirliğin göstergesi olan LCF değerlerinde önemli bir farklılık göze çarpmaktadır. Brezilya, ilgili dönem içerisinde ortalama 4,94 LCF değeri ile ekolojik fazlaya sahipken, Türkiye ortalama 0,80 LCF değeri ile ekolojik açık veren bir ülke konumundadır. Bu durum, benzer gelir düzeylerine sahip iki ülke arasında kaynak kullanımını açısından önemli bir ayrım olduğunu göstermektedir. Ayrıca LCF değerlerinin standart sapması Türkiye’de (0,30) Brezilya’ya (1,86) kıyasla oldukça düşüktür. Bu da Brezilya’nın ekolojik rezervlerinde daha büyük bir dalgalanma yaşandığını işaret etmektedir. Çalışmada kullanılan diğer değişkenler incelendiğinde ise Brezilya ortalama daha yüksek bir kentleşme oranı ve yenilenebilir enerji tüketimine sahipken, Türkiye’nin daha yüksek bir dışa açıklık oranına sahip olduğu görülmektedir. Son olarak, çoğu değişken için Jarque-Bera (J-B) test istatistiklerinin yüksek olması, serilerin normal dağılım varsayımını karşılamadığını

göstermektedir. Bu bulgu, analizde kullanılacak ekonometrik yöntemin bu özelliğe karşı sağlam olmasının önemini ortaya koymaktadır.

3.2. Model Yapısı

Çalışmada, Türkiye ve Brezilya için LCC hipotezinin geçerliliğini test etmek amacıyla kurulan ekonometrik modele ait fonksiyon şu şekildedir:

$$LCF_{TR} = \beta_{10} + \beta_{11}GDP_{TR,t} + \beta_{12}GDP_{TR,t}^2 + \beta_{13}URB_{TR,t} + \beta_{14}TO_{TR,t} + \beta_{15}REN_{TR,t} + \varepsilon_{1,t} \quad (1)$$

$$LCF_{BR} = \beta_{20} + \beta_{21}GDP_{BR,t} + \beta_{22}GDP_{BR,t}^2 + \beta_{23}URB_{BR,t} + \beta_{24}TO_{BR,t} + \beta_{25}REN_{BR,t} + \varepsilon_{2,t} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'de t ile 1965-2023 örneklem dönemi belirtilmektedir. LCC hipotezini test etmek için kurulan her iki modelde de β_{10} ve β_{20} sabit terimleri ifade ederken $\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}$, ve β_{15} Türkiye'ye ait değişkenlerin, $\beta_{21}, \beta_{22}, \beta_{23}, \beta_{24}$ ve β_{25} ise Brezilya'ya ait değişkenlerin (GDP , GDP^2 , URB , TO ve REN) katsayılarını temsil etmektedir.

Kurulan model çerçevesinde, LCF ile kişi başına düşen gelir arasındaki ilişkinin şekli, istatistiksel olarak anlamlı bulunan GDP ve GDP^2 katsayılarının işaretlerine göre belirlenir. GDP için negatif ve GDP^2 için pozitif bir katsayı "U" şeklinde bir LCC hipotezini desteklerken, GDP için pozitif ve GDP^2 için negatif bir katsayı "Ters-U" şeklinde bir ilişkiye işaret eder. LCC hipotezine göre, ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevresel bozulmayı göstermesi için GDP değişkenine ait katsayının negatif olması, eğrinin dönüm noktasından itibaren yukarı doğru dönerek çevresel kalitedeki iyileşmeyi temsil etmesi için GDP^2 değişkenine ait katsayının pozitif olması beklenmektedir. Bu sebeple, GDP ve GDP^2 değişkenlerine ait katsayıların sırasıyla negatif ve pozitif olarak tespit edilmesi, LCC hipotezinin geçerli olduğu sonucunu veren temel bulgu olacaktır.

Ampirik literatürde çevresel bozulma ile kişi başına düşen gelir arasındaki ilişkiyi ele alan çalışmalarda N-şeklindeki kübik formlar da incelenmekle birlikte, bu çalışmada temel odak noktası LCC hipotezinin öngördüğü U-formu ve bunun tersi olan Ters-U formu test edilmektedir. Kübik terimlerin modele dahil edilmesi, mevcut örneklem büyüklüğü dikkate alındığında modelin serbestlik derecesini kısıtlayabileceği sorununu ortaya çıkardığı için analiz, literatürdeki yaygın yaklaşım olan karesel spesifikasyon ile sınırlandırılmıştır.

3.3. Ekonometrik Yöntem

Çalışmada kullanılan değişkenlerin durağanlık özelliklerini belirlemek ve sahte regresyon sorununu önlemek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan Augmented Dickey-Fuller (ADF) ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) birim kök testleri uygulanmıştır.

ADF birim kök testi, serinin birim kök içerdiği şeklindeki boş hipotezi (H_0) test etmektedir. Bu test aşağıda yer alan denklemin tahminine dayanmaktadır:

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 t + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Denklem (3)'te Δ fark operatörünü, t trendi ve ε hata terimini temsil etmektedir. ADF testi, δ katsayısının istatistiksel olarak sıfırdan farklı olup olmadığını incelemektedir ve eğer δ katsayısı anlamlı ve negatif ise serinin birim kök içermediği dolayısıyla durağan olduğu sonucuna varılmaktadır.

KPSS testi, ADF testinin bir tamamlayıcısı olarak kullanılmakta ve zıt bir hipotezi test etmektedir. KPSS testi boş hipotezi (H_0), serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. Bu test, ADF testinin düşük güce sahip olduğu durumlarda daha güvenilir sonuçlar elde etmek ve durağanlık analizinin sağlamasını yapmak için kullanılmaktadır. ADF ve KPSS testlerinin birlikte kullanımı serilerin durağanlık derecesi hakkında daha sağlam kanıtlar sunmaktadır. Serilerin durağanlık düzeyleri belirlendikten sonra, uzun dönemli ilişkiyi analiz etmek için uygun ekonometrik yöntem seçilmektedir.

McNown vd. (2018) ve Sam vd. (2019), Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ve literatürde sıklıkla kullanılan ARDL sınır testi modelinden hareketle A-ARDL sınır testi yaklaşımını geliştirmişlerdir. A-ARDL modeli ARDL modeline benzer şekilde Engle-Granger (1987) ve Johansen-Jesulius (1990) eş bütünleşme testlerinden farklı olarak hem küçük örneklemelerde daha tutarlı sonuçlar vermekte hem de kısa ve uzun döneme ait dinamiklerin incelenmesine olanak tanımaktadır. ARDL modeli, geleneksel eş bütünleşme testlerinden farklı olarak bağımlı değişken $I(1)$ olmak koşuluyla bağımsız değişkenlerin $I(0)$ veya $I(1)$ olmalarına izin verirken A-ARDL modeli bağımlı değişkenin $I(0)$ olma durumunu da içermektedir (Sam vd., 2019).

McNown vd. (2018) ve Sam vd. (2019) tarafından önerilen A-ARDL modeli, Pesaran vd. (2001) tarafından sunulan ARDL sınır testinin, bazı durumlarda dejenere olarak adlandırılan yanıltıcı eş bütünleşme sonuçları verebilme riskini ele almaktadır. Bu dejenere durumlar,

bağımlı değişkenin veya bağımsız değişkenlerin gecikmeli düzeylerinin modelde anlamsız olmasından kaynaklanabilmektedir. Bu durum da sahte bir uzun dönem ilişkisi olarak yorumlanabilmektedir. Bu sorunu çözmek adına A-ARDL modeli, üçlü bir test mekanizması önermektedir. Bu testler, tüm gecikmeli değişkenler üzerindeki genel F-testi (F_{ov}), gecikmeli bağımlı değişken üzerindeki t-testi (t_{DV}) ve yalnızca gecikmeli değişkenler üzerindeki F-testi (F_{iv})'dir. A-ARDL modeline göre güvenilir bir eş bütünleşme ilişkisinin varlığı bu üç testin de aynı anda istatistiksel olarak anlamlı olması şartına bağlıdır. Eş bütünleşme ilişkisine ait olumlu karar hesaplanan test istatistiklerinin Sam vd. (2019) tarafından A-ARDL modeli için özel olarak oluşturulan kritik değerleri aşması durumunda verilebilmektedir. Bu testlerden herhangi birinin anlamsız çıkması, dejenere bir duruma işaret ederek değişkenler arasında anlamlı bir uzun dönem ilişkisinin varlığını kabul etmemek anlamına gelmektedir. Bu üçlü doğrulama mekanizması, A-ARDL modelinin standart ARDL yaklaşımından daha güvenli kılmaktadır (Mcnown vd., 2018; Sam vd., 2019). A-ARDL modeli denklem (4) aracılığı ile ifade edilebilmektedir.

$$\Delta y_t = a_0 + b_{yy}y_{t-1} + b_{yx,x}x_{t-1} + \sum_{i=1}^p \theta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \omega_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Denklem (4)'te yer alan p ve q optimum gecikme uzunluklarını göstermektedir. Bu çalışmada, her iki ülke için kurulan modellerde optimum gecikme uzunlukları Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılarak belirlenmiştir.

A-ARDL yaklaşımında değişkenler arasında eş bütünleşme yoktur şeklindeki boş hipotez (H_0), üç aşamalı bir sınama sürecinden geçirilir. Bu süreç, aşağıdaki testlerin hipotezlerini içermektedir:

- Genel F-testi (F_{ov}): Tüm gecikmeli değişkenlerin katsayılarının ortaklaşa anlamsız olduğu boş hipotezi test eder.
- Bağımlı Değişken t-testi (t_{DV}): Yalnızca gecikmeli bağımlı değişkenin katsayısının anlamsız olduğu boş hipotezi sınar.
- Bağımsız Değişkenler F-testi (F_{iv}): A-ARDL modelinin katkısı olup yalnızca bağımsız değişkenlerin katsayılarının ortaklaşa anlamsız olduğu boş hipotezi test eder.

A-ARDL modeline göre güvenilir bir eş bütünleşme ilişkisinin varlığı bu üç testin de boş hipotezi reddetmesi halinde geçerlidir. Bu testlerden herhangi birinin geçersiz olması dejenere duruma işaret etmektedir.

4. Bulgular

Bu bölümde Türkiye ve Brezilya için LCC hipotezinin geçerliliğine yönelik ampirik test sonuçlarına yer verilmektedir. İlk olarak çalışmada kullanılan değişkenlerin durağanlık özellikleri ADF ve KPSS birim kök testleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Birim Kök Test Sonuçları

TÜRKİYE		ADF		KPSS	
		Düzy	Birinci Fark	Düzy	Birinci Fark
Sabitli Model	LCF	-1,6022	-7,4401***	0,9448***	0,2297
	GDP	0,6560	-7,4086***	0,9426***	0,1581
	GDP2	1,0246	-7,2598***	0,9382***	0,2309
	URB	-1,3751	-2,4573	0,9327***	0,2891
	TO	-0,4860	-7,3023***	0,9331***	0,1130
	REN	-1,1399	-8,8650***	0,9110***	0,1383
Sabitli ve Trendli Model	LCF	-3,9783**	-7,6261***	0,1121	0,0540
	GDP	-1,4883	-7,5347***	0,2340***	0,0697
	GDP2	-1,1143	-7,4941***	0,2557***	0,0717
	URB	-1,3496	-2,7234	0,1961**	0,0929
	TO	-4,2284***	-7,1951***	0,0810	0,1112
	REN	-2,7374	-8,8253***	0,1845**	0,0788
BREZİLYA		ADF		KPSS	
		Düzy	Birinci Fark	Düzy	Birinci Fark
Sabitli Model	LCF	-3,0953**	-6,5757***	0,8909***	0,5359**
	GDP	-3,0307**	-4,6305***	0,8407***	0,3935*
	GDP2	-2,8539*	-4,7619***	0,8483***	0,3652*
	URB	-2,5063	-0,3545	0,9219***	0,8809***
	TO	-1,0764	-2,5419	0,9288***	0,0666
	REN	-4,8001***	-5,2527***	0,8877***	0,6230**
Sabitli ve Trendli Model	LCF	-1,4626	-7,3135***	0,2186***	0,0426
	GDP	-3,9365**	-5,0493***	0,1511**	0,1299*
	GDP2	-3,7939**	-5,1387***	0,1458*	0,1219*
	URB	-1,2867	-2,1223	0,2473***	0,1265
	TO	-3,1822*	-2,6826	0,0968	0,0441
	REN	-2,2129	-6,4027***	0,2216***	0,1547**

Not: *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir. ADF Testi için kritik değerler (H₀: Seride birim kök vardır): **Sabitli Model:** %1: -3,55, %5: -2,91, %10: -2,59 **Sabitli ve Trendli Model:** %1: -4,12, %5: -3,49, %10: -3,17. **KPSS Testi için Kritik Değerler** (H₀: Seri durağandır) **Sabitli Model:** %1: 0,7390, %5: 0,4630, %10: 0,3470 **Sabitli ve Trendli Model:** %1: 0,2160, %5: 0,1460, %10: 0,1190.

Tablo 3'ün yorumlanmasında, ADF testi için hesaplanan istatistiğin kritik değerlerden mutlak değer olarak daha büyük olması, zıt bir boş hipotez test eden KPSS testi için ise daha büyük olması kuralı temel alınmıştır. Bu doğrultuda yapılan değerlendirme sonucunda iki

testin sonuçları genel olarak birbirleriyle uyumlu olup serilerin büyük çoğunluğunun düzey değerlerinde birim kök içerdiği, ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldiği görülmektedir. Serilerin ağırlıklı olarak $I(0)$ ve $I(1)$ olması, aralarında uzun dönemli bir denge ilişkisi, yani eş bütünleşme ilişkisini test etmek için A-ARDL yaklaşımının kullanılmasının uygun olduğunu teyit etmektedir. Bu doğrultuda değişkenler arasındaki uzun dönemli bir ilişkinin varlığı A-ARDL sınır testi ile araştırılmıştır. Bu test kapsamında, eş bütünleşme ilişkisinin varlığı genel F-testi (F_{ov}), bağımlı değişken t-testi (t_{DV}) ve bağımsız değişkenler F-testi (F_{iv}) istatistikleri aracılığıyla incelenmiştir.

Eş bütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinden sonra, modelin güvenilirliği ve tutarlılığını sınamak için bir dizi tanısal test gerçekleştirilmiştir. Bu testler kapsamında otokorelasyon sorunu olup olmadığı Breusch-Godfrey LM testi, değişen varyans sorunu için Breusch-Pagan-Godfrey testi ve model kurma hatası olup olmadığı Ramsey-RESET testi ile incelenmiştir. Ayrıca hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğu Jarque-Bera normallik testi ile sınanmıştır. Son olarak model katsayılarının istikrarlı olup olmadığını değerlendirmek için ise CUSUM ve CUSUMQ testleri uygulanmıştır. Tüm bu testlere ait sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: A-ARDL Eş Bütünleşme Sonuçları

Türkiye	k	Test Statistics	I(1) Critical Values		
			%1	%5	%10
AARDL(1,4,4,3,1,2)	5	F_{ov} 4,5236**	5,40	4,16	3,58
		t_{DV} -4,8895***	-4,79	-4,19	-3,86
		F_{iv} 4,5885**	5,63	4,18	3,55
Diagnostic Tests		Test Statistics	Probability Values		
Breusch-Godfrey		0,0430	0,9579		
Breusch-Pagan-Godfrey		1,2077	0,3059		
Ramsey RESET		1,9732	0,1385		
Jarque-Bera		0,9568	0,6197		
CUSUM			İstikrarlı		
CUSUMQ			İstikrarlı		

Tablo 4: A-ARDL Eş Bütünleşme Sonuçları (DEVAM)

Brezilya	k	Test Statistics	I(1) Critical Values		
			%1	%5	%10
AARDL(1,2,1,1,1)	5	F_{ov} 9,7579***	5,40	4,16	3,58
		t_{DV} -6,9599***	-4,79	-4,19	-3,86
		F_{iv} 5,3776**	5,63	4,18	3,55
Diagnostic Tests		Test Statistics	Probability Values		
Breusch-Godfrey		0,7175	0,4964		
Breusch-Pagan-Godfrey		1,5326	0,1327		
Ramsey RESET		1,2697	0,2139		
Jarque-Bera		3,2278	0,1991		
CUSUM			İstikrarlı		
CUSUMQ			İstikrarlı		

Tablo 4, LCC hipotezinin Türkiye ve Brezilya için geçerliliğine ilişkin A-ARDL sınır testi yaklaşımıyla elde edilen sonuçlarını göstermektedir. Hem Türkiye hem de Brezilya için hesaplanan F_{ov} , t_{DV} ve F_{iv} istatistikleri sırasıyla Narayan (2005), Pesaran vd. (2001) ve Sam vd. (2019) tarafından üretilen kritik değerler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen test istatistikleri eğer $I(1)$ üst sınır değerinin üzerinde ise eş bütünleşmenin varlığı tespit edilmektedir. İlgili test istatistikleri kritik değerlerden büyük olduğu için hem Türkiye hem de Brezilya modelleri eş bütünleşme ilişkisinin varlığını ortaya koymaktadır. Modellerin ekonometrik geçerliliğini sınamak amacıyla gerçekleştirilen Breusch-Godfrey LM, Breusch-Pagan-Godfrey ve Ramsey-RESET testleri modellerde otokorelasyon, değişen varyans ve spesifikasyon hatası sorunlarının bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca Jarque-Bera test sonuçları hata terimlerinin normal dağıldığını, CUSUM ve CUSUMQ testleri de tahmin edilen katsayıların istikrarlı olduğunu doğrulamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, kurulan modelin istatistiksel olarak sağlam ve güvenilir olduğunu, dolayısıyla uzun dönem katsayılarının yorumlanması için uygun bir zemin oluşturduğunu teyit etmektedir. Her iki modele ait uzun dönem katsayıları Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5: Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Değişkenler	A-ARDL (Türkiye)			
	Coeff.	Std. Error	t-Statistic	P-value
GDP	-7,9780***	1,5394	-5,1823	0,0000
GDP ²	0,9360***	0,1893	4,9431	0,0000
URB	-0,1254	0,1840	-0,6812	0,5003
TO	-0,0087	0,0678	-0,1289	0,8982
REN	0,0517*	0,0263	1,9624	0,0579
C	11,5542***	3,0284	3,8153	0,0005

Değişkenler	A-ARDL (Brezilya)			
	Coeff.	Std. Error	t-Statistic	P-value
GDP	5,8662***	1,6147	3,6329	0,0010
GDP ²	-0,9151***	0,2128	-4,3000	0,0002
URB	-2,7673***	0,2693	-10,2761	0,0000
TO	0,1262**	0,0591	2,1332	0,0409
REN	0,6003***	0,0961	6,2432	0,0000
C	-7,3722**	2,8962	-2,5454	0,0161

Tablo 5’te yer alan uzun dönem sonuçları incelendiğinde iki ülke için oldukça farklı dinamiklerin var olduğu ve LCC hipotezi geçerliliğinin ülkeden ülkeye değişebileceği görülmektedir. Türkiye için edilen sonuçlar, çalışmanın temel hipotezi olan LCC hipotezini güçlü bir şekilde desteklemektedir. GDP’nin LCF üzerindeki uzun dönem katsayısı -7,9780 olarak tahmin edilmiş ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu sonuç, ekonomik büyümenin, ilk aşamada çevre kalitesi üzerinde bir baskı yaratarak LCF’yi azalttığını göstermektedir. GDP² katsayısı ise teorik beklentiye uyumlu olarak pozitif (0,9360) ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu da belirli bir kişi başı gelir eşiği olan dönüm noktasından sonra çevresel kalitenin iyileşmeye başladığına işaret etmektedir. Dolayısıyla bu iki katsayının sırasıyla negatif ve pozitif olması Türkiye’de kişi başına gelir ile LCF arasında U-şeklinde bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Modeldeki kontrol değişkenleri incelendiğinde yenilenebilir enerji tüketiminin (REN) %10 anlamlılık düzeyinde LCF’yi pozitif yönde etkilediği, kentleşme (URB) ve dışa açıklık (TO) değişkenlerinin uzun dönemde LCF üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yaratmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Brezilya için elde edilen sonuçlar ise Türkiye’den çarpıcı bir şekilde farklılaşmakta ve LCC hipotezini desteklememektedir. Aksine, GDP’nin katsayısının pozitif (5,8662), GDP²’nin katsayısının ise negatif (-0,9151) ve her ikisinin de istatistiksel olarak anlamlı olması, LCF ile gelir arasında ters-U şeklinde bir ilişkinin varlığını işaret etmektedir. Bu bulgu, Brezilya’da gelir artışının ilk aşamada LCF’yi olumlu etkilediği, belirli bir dönüm noktasından sonra ise ilişkinin olumsuz yöne döndüğünü göstermektedir. Bu durum, Brezilya’da

biyolojik kapasitenin başlangıçta büyümeyi tolere edebildiği ancak bir eşikten sonra bu kapasitenin erimeye başladığı şeklinde yorumlanabilir. Kontrol değişkenleri incelendiğinde ise değişkenlerin tamamının istatistiksel olarak anlamlı olduğu, yenilenebilir enerji tüketimi (REN) ve dışa açıklığın (TO) LCF'yi pozitif yönde, kentleşmenin (URB) negatif yönde etkilediği saptanmıştır.

Çalışmada ayrıca uzun dönemli ilişkilere ek olarak modellerin istikrarı, hata düzeltme terimi (ECT) aracılığıyla incelenmiştir. Hata düzeltme katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, şok sonrası ortaya çıkan sapmaların uzun dönemli dengeye doğru yakınsadığını teyit etmektedir. Türkiye ve Brezilya için tahmin edilen ECT katsayısı sırasıyla -0,69 ve -0,97 olarak bulunmuş ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bu sonuç, her iki ülke için de hata düzeltme mekanizmasının beklendiği gibi çalıştığını, kurulan eş bütünleşme ilişkisinin sağlam ve istikrarlı olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye'de LCC hipotezi geçerliiyken, Brezilya'da ters-U şeklinde bir yapının var olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ülkelerin başlangıçtaki ekolojik kapasitelerinin, ekonomik yapılarının ve politikalarının, büyüme-çevre ilişkisinin yörüngesini belirlemede ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye ve Brezilya ekonomileri için 1965-2023 döneminde LCC hipotezinin geçerliliği A-ARDL yaklaşımı kullanılarak test edilmiştir. Çalışma, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkinin, ülkelerin ekolojik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı yörüngeler izleyip izlemediğini ortaya koymayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analiz sonuçları, Türkiye için U-şeklinde bir ilişkinin varlığını işaret ederek LCC hipotezinin geçerli olduğunu gösterirken, Brezilya için ters-U şeklinde bir ilişki tespit edilerek LCC hipotezi reddedilmiştir. Bu bulgular, iki ülke için birbirinden ayrışan sonuçlara işaret ederek, çevre-ekonomik büyüme ilişkisinde tek bir reçete olmadığını göstermiştir.

Çalışmada elde edilen ampirik bulgular, ilgili literatürdeki sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde Türkiye için LCC hipotezinin geçerli olduğu yönündeki bulgu Feng vd. (2024) ve Çamkaya (2024) gibi çalışmalarla örtüşürken, hipotezin geçersiz olduğunu raporlayan Altıntaş vd. (2023) çalışmasından ayrışmaktadır. Benzer şekilde, Brezilya için LCC hipotezinin geçersiz olduğu yönündeki bulgu, Uçar vd. (2025) ile benzerlik gösterirken, Feng vd. (2024) ve Çağlar vd. (2024) gibi hipotezin geçerli olduğunu ifade eden çalışmalardan

farklılaşmaktadır. Bu karmaşık sonuçlar, LCC hipotezi geçerliliğinin ülke, dönem ve yöntemle son derece duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda çalışma, A-ARDL gibi sağlam bir yöntemle ve iki ülkeyi doğrudan karşılaştırmasıyla bu tartışmaya netlik kazandırmayı amaçlamıştır.

Bu farklılaşan bulgular, her iki ülke için de özgün politika çıkarımlarını beraberinde getirmektedir. Türkiye için politika yapıcılarının öncelikli hedefi U-şeklindeki eğrinin iyileşme koluna geçişini hızlandırmak olmalıdır. Bu doğrultuda, Avrupa Yeşil Mutabakatı sürecine uyum sağlanmalı ve ulusal Emisyon Ticaret Sistemi'nin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, çalışmada pozitif etkisi kanıtlanan yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların artması, enerji verimliliğinin teşvik edilmesi ve sanayide yeşil dönüşümün desteklenmesi kritik önem taşımaktadır. Brezilya için ters-U şeklindeki eğilim acil bir uyarı niteliği taşımaktadır. Ekonomik büyümenin ekolojik sürdürülebilirliği önemli ölçüde tehdit ettiği bir eşiğe geldiği için bu bulgu, büyümeyi çevresel bozulmadan ayırtıran politikaların hayata geçirilmesini vurgulamaktadır. Kentleşmenin çevresel etkilerinin yönetilmesi, ormansızlaşmayla mücadele kapsamında Amazon havzasındaki yasal denetimlerin sıklaştırılması, sürdürülebilir tarım ve sanayi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve enerji üretim yapısının biyokütle ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çeşitlendirmesi Brezilya'nın ekolojik geleceği için oldukça büyük bir önem taşımaktadır.

Son olarak bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan makro ekonomik veriler bölgesel farklılıkları gizleyebilmekte ve modele dahil edilmeyen sosyo-ekonomik faktörler sonuçları etkileyebilmektedir. Bu sebeple, gelecek çalışmaların analizleri bölgesel verilerle desteklemesi ve kurumsal kalite gibi diğer faktörleri modele dahil etmesi faydalı olacaktır. Ek olarak, çalışmada LCC hipotezinin "U" ve "ters-U" şeklindeki formlarına odaklanılsa da bu ilişki daha karmaşık bir süreç izleyebilir. Bu bağlamda, gelecek çalışmalar için Dinda'nın (2004) Çevresel Kuznets Eğrisi literatürünü derlediği çalışmasında tartışılan yedi farklı potansiyel fonksiyonel formun LCF üzerinde test edilmesi önerilmektedir. Bu tür bir yaklaşım, ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkinin karmaşık doğasına daha kapsamlı bir bakış açısı sunma potansiyeli taşımaktadır.

Kaynakça

- 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>.
- Akadiri, S. S., Adebayo, T. S., Riti, J. S., Awosusi, A. A., & Inusa, E. M. (2022). “The effect of financial globalization and natural resource rent on load capacity factor in India: an analysis using the dual adjustment approach.” *Environmental Science and Pollution Research*, 29(59), 89045-89062. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22012-0>.
- Akhayere, 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. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23639-9>.
- Altıntaş, N., Açıkgöz, F., & Yenyurt, M. (2025). Investigating the LCC hypothesis in the middle East, North Africa, and Turkey (Menat): evidence from second-generation panel techniques. *Environment, Development and Sustainability*, 27(3), 7681-7700. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04216-7>.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., ... & Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological indicators*, 24, 518-533. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>.
- Caglar, A. E., Avci, S. B., Ahmed, Z., & Gökçe, N. (2024). Assessing the role of green investments and green innovation in ecological sustainability: From a climate action perspective on European countries. *Science of the Total Environment*, 928, 1725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172527>.
- Çamkaya, S. (2024). LCC Hipotezi Çerçevesinde Çevresel Kalite ve Kentleşme Arasındaki İlişki: Türkiye’den Ampirik Kanıtlar. *Fiscaoconomia*, 8(2), 739-760. Doi: 10.25295/fsecon.1435550.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1057-1072. <https://doi.org/10.2307/1912517>.
- Energy Institute, (2025), “Data”, <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads> (02/07/2025).

- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>.
- Fang, Z., Wang, T., & Yang, C. (2024). “Nexus among natural resources, environmental sustainability, and political risk: Testing the load capacity factor curve hypothesis”. *Resources Policy*, 90, 104791. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104791>.
- Feng, Z., Durani, F., Anwar, A., Ahmad, P., Syed, Q.R., Abbas, A., 2024. From brown to green: are emerging countries moving in right direction? Testing the validity of LCC hypothesis. *Energy & Environment*. 0958305X241228519. <https://doi.org/10.1177/0958305X241228519>.
- Gabbi, G., Matthias, M., Patrizi, N., Pulselli, F. M., & Bastianoni, S. (2021). The biocapacity adjusted economic growth. Developing a new indicator. *Ecological Indicators*, 122, 107318. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107318>.
- Galli, A., Iha, K., Pires, S. M., Mancini, M. S., Alves, A., Zokai, G., ... & Wackernagel, M. (2020). Assessing the ecological footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities*, 96, 102442. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102442>.
- Global Footprint Network, (2025), “Data”, <https://www.footprintnetwork.org/> (02.07.2025).
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.02.013>.
- Güler, İ., M. Naimoğlu, O. Şimşek, Z. Adalı, and S. Özbek. 2025. “Analyzing the Impact of Economic Growth and FDI on Sustainable Development Goals in China: Insights From Ecological Footprints and Load Capacity Factors.” *Frontiers in Environmental Science* 13: 1513158. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1513158>.
- Huilan, W., Akadiri, S. S., Haouas, I., Awosusi, A. A., & Odu, A. T. (2022). “Impact of trade liberalization and renewable energy on load capacity factor: Evidence from novel dual adjustment approach”. *Energy & Environment*, 35(2), 795-814. <https://doi.org/10.1177/0958305X221137559>.
- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 52(2), 169-210.

- Kartal, M. T., Samour, A., Adebayo, T. S., & Depren, S. K. (2023). “Do nuclear energy and renewable energy surge environmental quality in the United States? New insights from novel bootstrap Fourier Granger causality in quantiles approach”. *Progress in Nuclear Energy*, 155, 104509. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104509>.
- Kinnunen, J., Georgescu, I., & Nica, I. (2025). An evaluation of the load capacity curve hypothesis for Finland: An ARDL approach with frequency domain analysis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 36(5), 1233–1260. <https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2024-0265>.
- Kurniawati, T., Rahmiza, M., Ridwan, M., Aspy, N. N., Mahjabin, T., Eleais, M., & Ridzuan, A. R. (2025). Reassessing the load capacity curve hypothesis in ASEAN-5: Exploring energy intensity, trade, and financial inclusion with advanced econometric techniques. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), 195–208. <https://doi.org/10.32479/ijeep.17328>.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of econometrics*, 54(1-3), 159-178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).
- McNown, R., Sam, C. Y., & Goh, S. K. (2018). Bootstrapping the autoregressive distributed lag test for cointegration. *Applied Economics*, 50(13), 1509-1521. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366643>.
- Narayan, P. K. (2005). The saving and investment nexus for China: evidence from cointegration tests. *Applied Economics*, 37(17), 1979-1990. <https://doi.org/10.1080/00036840500278103>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103068>.
- Özbek, S., & Şahin, S. (2025). Moderating role of globalization in agriculture–environment nexus: Insights from the inverted load capacity factor. *Agricultural and Food Economics*, 13, 73. <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00412-3>.
- 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), <https://doi.org/10.1007/s10198-021-01321-0>.

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102313>.
- Pata, U. K., & Kartal, M. T. (2023). "Impact of nuclear and renewable energy sources on environment quality: Testing the EKC and LCC hypotheses for South Korea. *Nuclear Engineering and Technology*, 55(2), 587-594." <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.10.027>.
- Pata, U. K., & Tanriover, B. (2023). Is the load capacity curve hypothesis valid for the top ten tourism destinations?. *Sustainability*, 15(2), 960. <https://doi.org/10.3390/su15020960>.
- Pata, U. K., Kartal, M. T., Dam, M. M., & Kaya, F. (2023). "Navigating the impact of renewable energy, trade openness, income, and globalization on load capacity factor: the case of Latin American and Caribbean (LAC) countries". *International Journal of Energy Research*, 2023(1), 6828781. <https://doi.org/10.1155/2023/6828781>.
- Pereira, L., & Ortega, E. (2012). A modified footprint method: The case study of Brazil. *Ecological Indicators*, 16, 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.016>.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- Ren, S., Hao, Y., Wu, H., (2022). Digitalization and environment governance: does internet development reduce environmental pollution? *J. Environ. Plann. Manag.* <https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2033959>.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Sam, Y. C., Mcnown, R., & Goh, S. K. (2019). An augmented autoregressive distributed lag bounds test for cointegration. *Economic Modelling*, 80, 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.11.001>.
- Sarkodie, S. A. (2021). "Environmental performance, biocapacity, carbon & ecological footprint of nations: Drivers, trends and mitigation options." *Science of the Total Environment*, 751, 141912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141912>.

- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10), 3182-3192. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.10.027>.
- Sinha, A., & Schneider, N. (2024). "Stationarity and convergence of LCF series". *Gondwana Research*, 129, 425-440. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.08.009>.
- Solarin, S. A., & Bello, M. O. (2018). Persistence of policy shocks to an environmental degradation index: the case of ecological footprint in 128 developed and developing countries. *Ecological indicators*, 89, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.064>.
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.05.018>.
- Uçar, M., Ülger, M., & Atamer, M. A. (2025). Effects of economic growth and energy consumptions on environmental degradation within the framework of LCC hypothesis in BRICS countries. *Scientific Annals of Economics and Business*, 72(1), 1-19. <https://doi.org/10.47743/saeb-2025-0002>.
- Ullah, S., Luo, R., Adebayo, T.S. *et al.* Paving the ways toward sustainable development: the asymmetric effect of economic complexity, renewable electricity, and foreign direct investment on the environmental sustainability in BRICS-T. *Environ Dev Sustain* **26**, 9115–9139 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03085-4>.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). "Our ecological footprint: reducing human impact on the earth". (Vol. 9). New society publishers.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A. C., Falfán, I. S. L., García, J. M., ... & Guerrero, M. G. S. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological economics*, 29(3), 375-390.

- Wang, S., Zafar, M. W., Vasbieva, D. G., & Yurtkuran, S. (2023). Economic growth, nuclear energy, renewable energy, and environmental quality: Investigating the environmental Kuznets curve and load capacity curve hypothesis. *Gondwana Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.06.009>.
- World Bank (2025), “Data”, available at: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (02.07.2025).
- Xu, D., Salem, S., Awosusi, A. A., Abdurakhmanova, G., Altuntaş, M., Oluwajana, 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. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.823185>.
- Zhao, S., Li, Z., & Li, W. (2005). A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling*, 185(1), 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.11.016>.