

Dergi ana sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pausbed>

Araştırma Makalesi

Atıf Bilgisi: Orhan, M. A., Eryer, A. & Eren, A. S. (2026). Tarım ve Sanayi sektörleri kaynaklı çevresel kuznets eğrisinin incelenmesi: Türkiye için rals eşbütünleşme testi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 76, 188-204. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1756815> / <https://izlik.org/JA24AR99PK>

TARIM VE SANAYİ SEKTÖRLERİ KAYNAKLI ÇEVRESEL KUZNETS EĞRİSİNİN İNCELENMESİ: TÜRKİYE İÇİN RALS EŞBÜTÜNLEŞME TESTİ

Mehmet Ali ORHAN^{1*}, Ayşe ERYER², Arif Selim EREN³

¹Öğr. Gör. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Lojistik Programı, maliorhan7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7818-0433>

²Dr., Bağımsız Araştırmacı, ayse_zabun46@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6556-1605>

³Doç. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik, arifselimeren@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7274-1113>

Öz

Ekolojik ayak izi, insan faaliyetlerinin doğal ekosistemler üzerindeki kaynak tüketimi ve atık üretimi bağlamında yarattığı toplam talebin nicel olarak ifade edilmesidir. Kentleşme süreçleri ve değişen tüketim alışkanlıkları, üretim ve sanayi faaliyetleriyle ilişkili ekolojik ayak izinde önemli bir artışa yol açmıştır. Bu çalışmada ekolojik ayak izi, ekonomik büyüme, birincil enerji, tüketimi tarımsal katma değer ve sanayi katma değer arasındaki uzun dönemli ilişki incelenmiştir. Türkiye ekonomisi için 1980-2023 dönemi veri seti kapsamında tarım ve sanayi kaynaklı Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin varlığı test edilmiştir. Çalışmada değişkenlere ADF ve RALS ADF birim kök test uygulanmış ve durağanlık düzeyleri belirlenmiştir. Seriler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi, uzun vadeli bir ilişki ortaya koyan RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme testleri kullanılarak belirlenmiştir. Değişkenler arasında uzun dönem ilişki kurulduktan sonra, uzun dönem katsayı tahmin edicileri kullanılmıştır. FMOLS ve DOLS sonuçları benzer sonuçlar vermektedir. Bu testler, tarımsal katma değer ve sanayi katma değer, birincil enerji tüketiminin, GSYİH ve GSYİH2 karesinin ekolojik ayak izini artırdığını göstermektedir. Bu bulgular doğrultusunda, Türkiye ekonomisinde tarım ve sanayi faaliyetleri ile enerji tüketiminin ekonomik büyümenin ilk aşamalarında ekolojik ayak izini artırdığı, ancak GSYİH'nın karesinin negatif etkisi dikkate alındığında belirli bir gelir düzeyinden sonra çevresel baskıların azalmaya başladığı ve dolayısıyla incelenen dönem itibarıyla Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin tarım ve sanayi temelli olarak geçerli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik büyüme, Tarım ve sanayi sektörleri, Ekolojik ayak izi, Eşbütünleşme testi.

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE ORIGINATING FROM AGRICULTURE AND INDUSTRY SECTORS: RALS COINTEGRATION TEST FOR TURKEY

Abstract

Ecological footprint is a quantitative expression of the total demand created by human activities on natural ecosystems in terms of resource consumption and waste production. Urbanization processes and changing consumption habits have led to a significant increase in the ecological footprint associated with production and industrial activities. This study examines the long-term relationship between ecological footprint, economic growth, primary energy consumption, agricultural value added, and industrial value added. The existence of the Environmental Kuznets Curve hypothesis, originating from agriculture and industry, was tested within the scope of a dataset for the Turkish economy covering the period 1980-2023. Unit root tests (ADF) and RALS ADF were applied to the variables, and their stationarity levels were determined. Cointegration relationships between the series were determined using RALS ADL and RALS EG2 cointegration tests, which reveal a long-term relationship. After establishing a long-term relationship between the variables, long-term coefficient estimators were used. FMOLS and DOLS results yielded similar findings. These tests show that agricultural and industrial value added, primary energy consumption, GDP, and the square of GDP² increase the ecological footprint. Based on these

* Sorumlu Yazar: Mehmet Ali ORHAN (maliorhan7@gmail.com)

Yayımlanan makalenin telif hakkı, CC BY 4.0 lisansı kapsamında yazara aittir. Bu lisansın bir kopyasını görmek için şu adresi ziyaret ediniz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

findings, it can be concluded that in the Turkish economy, agricultural and industrial activities and energy consumption increase the ecological footprint in the initial stages of economic growth, but considering the negative effect of the square of GDP, environmental pressures begin to decrease after a certain income level. Therefore, the Environmental Kuznets Curve hypothesis is valid for agriculture and industry-based activities during the period examined.

Keywords: Economic growth, Agriculture and industry sectors, Ecological footprint, Cointegration test.

1. GİRİŞ

Günümüzde yükselen nüfusla birlikte artan üretim ve tüketim temposu, doğal kaynakların tüketimini hızlandırarak çevresel krizleri derinleştirmekte ve ekolojik ayak izi analizlerini her zamankinden daha kritik kılmaktadır. Temelde ekolojik ayak izi, insani faaliyetlerin doğa üzerindeki baskısını ve bu baskının ekosistemin kendini yenileme gücüyle olan bağıını ölçen güçlü bir sürdürülebilirlik metriğidir (Wackernagel & Yount, 1998, s. 511). Kavram aynı zamanda belirli bir coğrafyadaki doğal kaynakların ne derece verimli kullanıldığını da yansıtır. Yani çevresel tahribatı ve nitelik kayıplarını somutlaştırmada başvurulan ana araçlardan biridir. Nitekim bu gösterge, bir ekosistemin sunduğu biyokapasite ile bireylerin tükettiği biyolojik varlıkları ve üretilen atıkların doğa tarafından absorbe edilme yeteneğini kıyaslamak amacıyla kurgulanmıştır (Kitzes vd., 2009, s. 1992). Konunun ampirik boyutunu inceleyen Sahoo vd. (2024, s. 3816), tarımsal katma değerdeki %1'lik bir yükselişin uzun dönemde ekolojik ayak izini yaklaşık 0,094 birim artırdığını, kısa dönemde ise bu artışın 0,509 birimle çok daha belirgin seviyeye ulaştığını saptamıştır. Elde edilen veriler, tarımsal verimlilik artışının ekolojik baskı üzerinde doğrudan ve ölçülebilir bir etki yaratarak göstergeyi yukarı taşıdığını kanıtlar niteliktedir. Tüm bu ampirik bulgular, üretim sektörlerinde yürütülen faaliyetlerin çevresel maliyetlerini önceden öngörmenin ve doğaya verilen zararları henüz ortaya çıkmadan engellemenin hayati önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Ekonomik kalkınmanın temel bileşenleri arasında yer alan tarım ve sanayi sektörleri, üretim süreçlerinde yoğun doğal kaynak ve enerji kullanımı nedeniyle çevre üzerinde belirleyici etkilere sahiptir. Tarım sektörü; arazi kullanımı, su tüketimi ve kimyasal girdiler yoluyla ekolojik dengeyi etkilerken, sanayi sektörü enerji tüketimi, sera gazı emisyonları ve atık üretimi aracılığıyla ekolojik ayak izinin artmasına neden olabilmektedir (Jie, 2023, s. 1). Bu çerçevede, tarım ve sanayi sektörlerinin ekolojik ayak izi ile olan ilişkisinin incelenmesi, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimin anlaşılması ve etkin politika önerilerinin geliştirilmesi açısından çok önemlidir (Udemba vd., 2020, s. 1).

Tarım ve sanayi olmak üzere çeşitli ekonomik sektörlerin uzun vadeli sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri açısından ekolojik ayak izi önemli bir çevresel gösterge niteliğindedir (Hoekstra, 2009, s. 1963). Bu iki sektör, her biri diğerini etkileyen ve diğerinden etkilenen karmaşık bir ilişki içinde iç içe geçmiş durumdadır. Tarım insanlara gıda, hammadde ve istihdam imkânı sağlayarak geçim kaynaklarını destekleme noktasında önemli bir rol oynamaya devam etmektedir. Aynı zamanda sanayi sektörü de tekstil, gıda ürünleri ve biyoyakıtlar gibi temel malzemeler için büyük ölçüde tarımsal çıktılara bağımlı bir sektör olarak bilinmektedir (Sahoo vd., 2024, s. 809).

Sanayi alanında enerji yoğun üretim yöntemleri ve kaynak çıkarımı yoluyla sera gazı emisyonları ile diğer ekolojik hasar biçimlerinin çevreye etkisinin fazla olduğu belirtilmektedir (Cimprich vd., 2019, s. 1344; Olowu vd., 2018, s. 7171). Gelişmekte olan ekonomilerde endüstriyel faaliyetlerin artış göstermesiyle birlikte, enerji tüketimi ve atık üretiminde eş zamanlı bir yükseliş gözlemlenmektedir. Bu durum, ekolojik ayak izinin büyümesine neden olmaktadır. Söz konusu dinamik etkileşim, özellikle düzenleyici mekanizmaların zayıf olduğu ya da etkin bir şekilde uygulanmadığı bölgelerde çevresel baskıların daha da yoğunlaşmasına yol açmaktadır (Ehigiamusoe vd., 2023, s. 1).

Tarım sektörü genellikle sanayileşmenin çevresel sonuçlarına ilk katlanan sektör olup, kentsel genişleme ve endüstriyel arazi kullanımının yoğun baskısıyla karşı karşıyadır (He vd., 2013, s. 961). Tarım için arazi dönüşümü habitat kaybına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve toprak bozulmasına yol açarak iklim değişikliği etkilerini daha da kötüleştirebilir. Bu durum, verimliliği artırırken ekolojik ayak

izini azaltmayı amaçlayan organik tarım ve agroekoloji gibi sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesinin ne kadar etkili olduğunu göstermektedir (Jiang, 2010, s. 832).

Ekolojik ayak izi, enerji verimliliği ile kaynak kullanımındaki yenilikçi uygulamaların artmasıyla birlikte, tarım ve sanayi kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında umut vadeden bir gösterge olarak değerlendirilmektedir (Liu vd., 2022, s. 1). Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi ve döngüsel ekonomi ilkelerinin yaygınlaştırılması, daha sürdürülebilir üretim ve tüketim kalıplarının oluşmasına katkı sağlayabilir (Du vd., 2020, s. 900; He vd., 2023, s. 1). Tarımsal faaliyetlerde yeşil teknolojilerin benimsenmesi ise yalnızca ekolojik ayak izinin azaltılmasına olanak tanımakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik büyümenin desteklenmesine de katkı sunabileceğini ortaya koymaktadır (Zhang vd., 2015, s. 2236).

Bu çalışma, tarım ve sanayi sektörlerinin ekolojik ayak izi üzerindeki uzun dönemli etkilerini Türkiye özelinde, güncel ve geniş bir zaman aralığını (1980–2023) kapsayan verilerle analiz edilmesinden dolayı önem arz etmektedir. Türkiye, bir yandan sanayileşme sürecini hızla sürdüren, diğer yandan tarım sektörünün ekonomik ve istihdam yapısındaki ağırlığını koruyan gelişmekte olan bir ülke olması nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından özgün bir örnek teşkil etmektedir. Ayrıca Türkiye'nin enerji tüketim yapısı, üretim modelleri ve çevre politikalarının gelişmiş ve az gelişmiş ülkelerden farklı dinamikler içermesi, ülkeye özgü bir analiz yapılmasını gerekli kılmaktadır (Günçavdı vd., 2013, s. 1). Bu bağlamda, farklı ülkelerin dâhil edildiği panel analizler yerine, Türkiye'nin yapısal kırılmalara ve içsel şoklara duyarlı ekonomik yapısını daha ayrıntılı biçimde ortaya koyabilmek amacıyla tek ülke odaklı zaman serisi analizi tercih edilmiştir. Böylece elde edilen bulguların, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve çevre politikalarının şekillendirilmesine doğrudan katkı sunması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye özelinde tarım ve sanayi sektörleri ile ekolojik ayak izi ilişkisi 1980-2023 dönemi veri seti kapsamında incelenmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkinin RALS ADL- RALS EG2 eşbütünleşme testleri ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ikinci bölüm itibarıyla literatürde yapılan benzer çalışmalar incelenmiş olup, üçüncü bölümde çalışmanın teorik çerçevesi ele alınmıştır. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem ve veriler ile bulgulara yer verilip son bölümde ise çalışmaya ilişkin bir değerlendirme yapılmıştır.

2. EKONOMİK BÜYÜME, TARIM - SANAYİ VE EKOLOJİK AYAK İZİ İLİŞKİSİNE YÖNELİK KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Ekolojik ayak izi, tarım ve sanayi sektörleri arasındaki ilişkiyi temsil eder ve çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik faaliyetin kesişim noktasını oluşturur. Her iki sektör de doğal kaynakların kullanımı, biyoçeşitlilik koruması ve ekosistem sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu iki sektör arasındaki etkileşimlerin kapsamlı bir analizi, ekonomik büyüme ve kalkınmayı sürdürürken çevresel zararı en aza indirmenin yollarını daha derinlemesine anlamamıza katkıda bulunur (Galli vd., 2014, s. 121). Bu bölümde, tarım ve sanayi sektörlerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini ve ilgili değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için kavramsal çerçeve ele alınacaktır.

Bu kavramlardan ilki ekonomik büyümedir. Belirli bir zaman dilimi içinde bir ülke tarafından üretilen mal ve hizmet miktarındaki artış olarak tanımlanır ve genellikle gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), gayri safi milli hasıla (GSMH) veya milli gelirdeki artış oranı ile ölçülür. Bu rakamlar, bir ülke tarafından belirli bir zaman dilimi içinde üretilen tüm mal ve hizmetlerin toplam piyasa değerini temsil eder (Akin & Akçayır, 2025, s. 388). Ekonomik büyüme, aynı zamanda, toplumda bireylerin yaşam düzeyinin kalıcı biçimde artırılabilmesi için temel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Eryer, 2025, s. 57).

20. yüzyılın sonlarında iklim değişikliği ve küresel ısınmanın dünya genelinde ciddi bir tehdit haline gelmesiyle birlikte, araştırmacılar çevresel tahribat ile ekonomik kalkınma arasındaki ilişkiye yoğunlaşmıştır. Günümüzde politika yapımcılar, bu iki değişken arasında olumlu ya da olumsuz bir ilişkinin mevcut olup olmadığını belirlemeye büyük önem atfetmektedir. Zira çevresel sürdürülebilirliği gözetirken ekonomik büyümeyi en üst düzeye çıkarmak, neredeyse tüm ülkelerin ortak hedefidir (Guang-Wen vd., 2023, s. 680). Bu bağlamda, çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışan Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi, 1990'lı yıllardan itibaren bu tartışmalarda

temel kuramsal çerçeve olarak öne çıkmıştır. ÇKE hipotezi, bir ülkenin ekonomik büyüme sürecinde başlangıçta gelir düzeyi ile çevre kirliliğinin birlikte artış gösterdiğini, ancak belirli bir gelir eşliğinin aşılmasının ardından çevresel kirlilik düzeyinde azalma yaşandığını ileri sürmektedir. Başka bir ifadeyle, ekonomik kalkınmanın ilk evrelerinde çevre kalitesi düşerken, kişi başına gelir seviyesi arttıkça çevresel koşullar zamanla iyileşme eğilimine girmektedir. (Akin & Şen, 2024, s. 304).

Ancak, toplumlar zenginleştikçe ve teknolojik olarak daha gelişmiş hale geldikçe, bu bozulmayı hafifletmek ve ekolojik ayak izlerini azaltmak için önlemler alabilirler (Al-habash vd., 2023, s. 185; Neshcheret vd., 2023, s. 1). Bu fikir, daha zengin ulusların temiz teknolojilere ve çevresel korumalara yatırım yapması koşuluyla, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmanın nihayetinde çevre sağlığının iyileşmesine yol açabileceğini öne sürmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında dengeli bir uyumun sağlanması gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu anlayış, doğrudan ekonomik büyümeyi hedeflemekle kalmayıp, toplumsal eşitliği ve çevresel adaletin sağlanmasını önceleyen politika ve stratejileri desteklemektedir. Sürdürülebilir ekonomik kalkınmaya yönelik politikalar ise, doğal çevrenin korunmasını gözetirken, elde edilen ekonomik kazanımların toplumun tüm kesimleri arasında adil bir biçimde dağıtılmasını amaçlamaktadır (Xue vd., 2022, s. 30588). Bu bütüncül kalkınma anlayışı, dikkatli planlama ve stratejik müdahaleler yoluyla azaltılmış ekolojik ayak izlerinin yanı sıra yüksek ekonomik çıktı seviyelerine ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir.

Teknolojik yenilikler de ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi etkilemektedir. Bu alandaki ilerlemeler, kaynak verimliliğini artırarak ve atıkları azaltarak ekonomik büyümeyi çevresel zarardan ayırabilir. Kaynak yönetimindeki yeniliklerin yeşil bir ekonomik geçişe önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini ve endüstriyel büyümeyle ilişkili bazı olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olabileceğini belirtmektedir (Potts vd., 2010, s. 375). Bu geçiş özellikle tarım ve imalat gibi geleneksel olarak yüksek ekolojik ayak izleriyle ilişkilendirilen ve verimlilikteki gelişmelerin çevresel etkide önemli azalmalara yol açabileceği sektörlerle ilgilidir.

Tarım ve sanayi birbirine bağımlı, karşılıklı destekleyici ve sürdürülebilir sektörlerdir. Tarım sektörü sanayi sektörüne hammadde sağlarken, sanayi üretim süreçleri teknolojik yenilikler yoluyla tarımsal verimliliği önemli ölçüde artırır. Bu iki sektör arasındaki ilişkiyi anlamak, ekonomik büyüme, gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve kırsal kalkınma için çok önemlidir (Arora, 2018, s. 217).

Tarihsel süreçte tarımsal faaliyetler sanayileşme evresinin öncülü olmuş ve sanayi ekonomisinin temel sürükleyici gücünü meydana getirmiştir. Sektörün kendi içindeki farklı kollar birbiriyle bütünleşik bir yapı sergiler. Nitekim bitkisel üretim, hayvancılık, ormancılık ve tarıma dayalı sanayi kolları, ticaret ve hizmet alanlarıyla kenetlenerek kapsamlı bir iktisadi ağ oluşturur (Anderson, 2023, s. 1314). Karşılıklı etkileşime dayanan bu ilişki biçiminde, alanlardan birinde yaşanan gelişme diğer sektördeki ilerlemeyi de doğrudan besler. Söz gelimi tarım teknolojilerinde sağlanan yenilikler üretim verimini tırmandırırken, sanayinin gereksinim duyduğu hammadde tedarikini de kesintisiz hâle getirir (Bashir vd., 2019, s. 156).

Tarımsal üretimin doğa üzerindeki ayak izi gün geçtikçe daha fazla tartışılan bir konu hâline gelmektedir. Nitekim sektör, su kaynaklarının kirlenmesi, ekolojik tahribat ve iklim krizi gibi çevresel sorunları besleyen ana alanlardan biri olarak öne çıkar (Sundström vd., 2014, s. 201). Tarım faaliyetleri doğası gereği hem ekonomik hem de ekolojik açıdan iki yönlü etkilere sahiptir. Sektörde yaşanan teknolojik dönüşüm, verim artışı ve ürün çeşitliliği sağlama noktasında şüphesiz ivme yaratmaktadır. Gelişmiş ekipmanlar, otomatik sulama altyapıları, biyoteknolojik tohumlar ve hassas tarım çözümleri gibi yenilikler, üretimin sürdürülebilirliğine katkı sunmaktadır. Ne var ki teknolojik ilerlemelere rağmen tarımsal süreçlerin çevreye yüklediği riskler tamamen ortadan kalkmış değildir. Su kaynaklarının bilinçsizce tüketilmesi, toprak erozyonu, biyoçeşitlilik kaybı ile kontrolsüz gübre, tarım ilacı ve fosil yakıt kullanımı, çevre kirliliği ve küresel ısınmayı tetikleyen başlıca unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Zeynalov & Karacan, 2023, s. 91).

Sanayi sektörü açısından bakıldığında ise, çevresel kalite üzerinde sanayi sektörünün de etkisi bulunmaktadır. 1970'lerden bu yana gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı sanayileşme, karbon emisyonlarının artmasına ve çevre kalitesinin bozulmasına neden olmuştur (Li & Lin, 2015, s. 1107). Sanayileşme süreci, doğal kaynakların daha yoğun biçimde kullanılmasını gerektirdiğinden, üretim odaklı büyüme stratejileri kapsamında çevresel sürdürülebilirlik çoğu zaman geri planda bırakılmaktadır. Ülkelerin ekonomik kalkınmayı sağlama ve dışa bağımlılığı azaltma hedefi doğrultusunda sanayi faaliyetlerine öncelik verilmesi, doğal ekosistemlerin bozulmasına ve yüksek düzeyde karbon salınımına neden olmaktadır. Sanayileşme ile birlikte enerji, su ve hammadde tüketiminde kayda değer bir artış yaşanmakta, bu durum da atmosferdeki sera gazı emisyonlarını artırarak iklim değişikliği sürecini hızlandırabilmektedir. Endüstriyel üretimin yoğunlaşması; hava ve su kirliliği, atık yönetimi problemleri ve biyolojik çeşitlilikte azalma gibi çeşitli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında sıklıkla gerilim yaşanmaktadır. Ancak, gelişmekte olan ülkelerde genellikle kalkınma öncelikli olduğundan, çevresel hususlar genellikle büyüme politikalarının ikincil veya son aşamalarında dikkate alınmaktadır (Mahmood vd., 2020, s. 1553-1554).

Dolayısıyla, hem sanayi sektörünün hem de tarım sektörünün sürdürülebilir iktisadi büyüme için faydaları göz ardı edilemez olsa da, bu sürecin çevresel etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından hayati önem taşımaktadır.

3. LİTERATÜR

Sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri, özellikle karbon emisyonları bağlamında gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerde yoğun akademik tartışmalara konu olmaktadır. Bu çalışmada ise, tarım ve sanayi sektörlerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini zaman serisi analizleri aracılığıyla inceleyerek, mevcut literatürde ağırlıklı olarak karbon emisyonlarına odaklanan çevresel etki çalışmalarına alternatif bir çevresel gösterge üzerinden katkı sağlaması amaçlanmaktadır. Çalışmanın hem bu yönüyle hem de kullanılan metot itibarıyla literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Tablo 1. Literatür araştırması.

Yazar yılı	Dönem/Ülke	Yöntem	Sonuç
Shazbaz vd. (2014)	1975-2010 Bangladeş	Zaman Serisi Analizi	Sanayileşmedeki artışların karbon emisyonu üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.
Ren vd. (2014)	2000-2010 Çin Sanayi Sektörü	GMM Analizi	Bulgulara göre, doğrudan yabancı sermaye girişleri, emisyon düzeylerini daha da artırmakta, çevresel bozulmayı derinleştirmektedir. Sanayi sektörü bağlamında, kişi başına gelir ile CO ₂ emisyonu arasındaki ilişki, ters U şeklinde bir Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) ortaya koymaktadır
Asane ve Otoo (2015)	1980-2009 45 Afrika ülkesi	Girdi Çıktı Analizi	Sanayileşme ve karbon emisyonu arasında pozitif bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.
Xu ve Lin (2015)	1990-2011 Çin	Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	Sanayileşme ve karbon emisyonu arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir.
Li ve Lin (2015)	1971-2010 Düşük-Orta- Yüksek Gelirli Ülkeler	Stırpat Modeli	Bulgular, kentleşmenin enerji tüketimini azalttığını ancak düşük gelir grubunda CO ₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Sanayileşme, enerji tüketimini azaltmaktadır ancak orta/düşük gelir ve yüksek gelir gruplarında CO ₂ emisyonlarını artırmaktadır. Kentleşme hem enerji tüketimini hem de CO ₂ emisyonlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Orta/yüksek gelir grubu için sanayileşmenin enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonları üzerinde önemsiz bir etkisi olduğu bulunmuştur. Ancak,

			nüfus açısından sanayileşme, yüksek gelir grubu hariç, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir ve emisyonları artırmaktadır.
Doğan ve Turkekul (2016)	1960-2010 ABD	Eşbütünleşme Analizi ve Nedensellik Analizi	Uzun vadede, enerji tüketimi ve kentleşme çevresel bozulmayı artırırken, finansal gelişmenin bunun üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır.
Pata (2018)	1974-2013 Türkiye	ARDL Sınır Testi	Sanayileşme karbon emisyonunu artırmaktadır.
Waheed vd. (2018)	1990-2014 Pakistan	ARD Ve VECM Analizi	Tarım ve karbon emisyonu arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.
Akbola ve Bekun (2019)	1981-2014 Nijerya	Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi	Tarımın karbon emisyonu üzerindeki etkisi pozitif ve anlamsız olarak belirlenmiştir.
Jebli ve Youssef (2019)	1980-2013 Brezilya	Zaman Serileri Analizi	Tarımın karbon emisyonu üzerindeki etkisinin negatif olduğu belirlenmiştir.
Burakov (2019)	1990-2016 Rusya	ARDL Sınır Testi Analizi	Tarımsal üretimin karbon emisyonu üzerinde elastik olmayan pozitif bir etkinin olduğu belirtilmiştir.
Munir ve Ameer (2020)	1975-2016 Pakistan	Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi	Sanayileşmenin karbon emisyonu üzerindeki etkisi pozitif olarak elde edilmiştir.
Whang ve Zhang (2020)	1996-2014 BRICS	Panel Veri Analizi	Sanayileşme ve emisyon arasında pozitif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.
Anwar vd. (2019)	33 BRI ülkesi	Panel Veri Analizi	Sanayileşme karbon emisyonunu artırırken, tarım karbon emisyonunu azaltmaktadır.
Majeed ve Taugir (2020)	1990-2014 156 ülke	Panel GMM Analizi	Sonuçlar, kentleşme ve sanayileşmenin tüm panel gruplarında karbon emisyonları üzerinde istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı etkilere sahip olduğunu göstermektedir.
Aslam vd. (2021)	1971-2016 Malezya	ARDL ve VECM Analizi	Sanayileşmenin karbon emisyonu üzerindeki etkisinin negatif olduğu görülmüştür.
Azam vd. (2022)	1975-2018 OPEC	Panel Veri Analizi	Ampirik bulgular sanayileşmenin karbon emisyonunu artırdığını desteklemektedir.
Gürbüz vd. (2021)	1992-2014 Azerbaycan	ARDL Sınır Testi ve Nedensellik Analizi	Ampirik bulgularda GSYİH ve enerji tüketiminin karbon emisyonu üzerindeki etkisi pozitif olarak elde edilmiştir. Ancak tarımsal üretim ve GSYİH'nın karesinin karbon emisyonu üzerindeki etkisi negatif olarak belirlenmiştir. Nedensellik analizi bulgularında ise, GSYİH, GSYİH ² karbon emisyonu arasında çift enerji tüketim ve tarımsal üretim ile karbon emisyonları ile ilgili tek yönlü bir nedensel ilişki tespit edilmiştir.
Raihan ve Tuspekova (2022)	1990-2020 Türkiye	ARDL Sınır Testi	Sanayileşme karbon emisyonunu artırırken, tarım karbon emisyonunu azaltmaktadır.
Claire ve Widyawati (2023)	1990-2019 9 ASEAN ülkesi	Panel Veri Analizi	Analizlerde, yenilenebilir enerjinin endüstriyel katma değer ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiye aracılık ettiği ve yenilenebilir enerji kullanımının birçok ASEAN ülkesinde sanayileşme sırasında kişi başına CO2 emisyonlarının dönüm noktasını değiştirdiği tespit edilmiştir.
Amoah vd. (2024)	2003-2021 28 Sahra Altı Afrika Ülkeleri	Panel Veri Analizi	Sanayileşmenin karbon emisyonlarını olumlu bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir.

Literatürde ekolojik ayak izi üzerine yapılan çalışmalar, ekonomik büyüme, sanayileşme, tarım, enerji tüketimi ve kentleşme gibi makroekonomik dinamiklerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini ortaya koymaya odaklanmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir bölümü, özellikle sanayi ve enerji yoğun üretim yapısının ekolojik ayak izini ve karbon emisyonlarını artırdığını, buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımı, teknolojik gelişme ve çevre politikalarının çevresel baskıyı azaltıcı rol oynayabildiğini göstermektedir. Ayrıca farklı gelir grupları ve ülkeler arasında çevresel etkilerin değişkenlik gösterdiği, bazı çalışmalarda Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliğine ilişkin bulguların elde edildiği görülmektedir. Genel olarak literatür, ekonomik faaliyetler ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin çok boyutlu ve ülkelere özgü dinamikler içerdiğini ortaya koymaktadır.

4. YÖNTEM VE AMPİRİK BULGULAR

4.1 Veri Seti Özellikleri

Bu çalışma, 1980-2023 döneminde Türkiye ekonomisinde tarım ve sanayi sektörlerinin katma değerinin ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Modelin bağımlı değişkeni ekolojik ayak izi (LNEKOA) iken, bağımsız değişkenler; ekonomik büyüme (LNGSYİH), tarımsal katma değer (LNT) ve sanayi sektörü katma değeri (LNSK) ve kişi başı enerji tüketimi (LEN)'dir. Çalışmada kullanılan değişkenler Dünya Bankası veritabanından elde edilmiştir. Ekolojik ayak izi değişkeni 2023 yılında sonlandığından dolayı bu dönem tercih edilmiştir. İncelenen model, Gökmenoğlu ve Taşpınar (2018), Gürbüz vd. (2021), Akbola ve Bekun (2019), Aslam, vd. (2021) ve Azam vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda sunulan modellere atıfta bulunularak geliştirilmiştir. Logaritmik regresyon modeli denklemi (1) numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$\text{Model 1: LNEKOAt} = \alpha_0 + \beta_1 \text{LNTKt} + \beta_2 \text{LNGSYİHt} + \beta_3 \text{LNGSYİH2t} + \beta_4 \text{LNENT} + \mu_t \quad (1)$$

$$\text{Model 2: LNEKOAt} = \alpha_0 + \beta_1 \text{LNSKt} + \beta_2 \text{LNGSYİHt} + \beta_3 \text{LNGSYİH2t} + \beta_4 \text{LNENT} + \mu_t \quad (2)$$

Model 1 ve 2'de t simgesi zamanı ve μ_t ifadesi ise hata terimini göstermektedir. Modellerde kullanılan değişkenlerin detaylı bir şekilde gösterimi Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Değişkenlere ilişkin bilgiler.

Değişkenler	Açıklamaları	Kaynak
LEKOA	Kişi Başı Küresel Hektar	Global Foot Network
LGSYİH	Logaritmik Kişi Başı GSYİH (Sabit Fiyatlarla 2015 ABD\$)	Dünya Bankası
LGSYH ²	Yazar Tarafından Oluşturulmuştur.	-
LTK	Tarımsal Katma Değer (Sabit Fiyatlarla 2015 ABD\$)	Dünya Bankası
LSK	Sanayi Katma Değeri (Sabit Fiyatlarla 2015 ABD\$)	Dünya Bankası
LEN	Birinci Enerji Tüketimi (Petrol kg)	Our World in Data

4.2 Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde değişkenlerin durağanlık düzeylerinin belirlenmesi için birim kök testleri, değişkenler arasındaki ilişkinin tespiti için eşbütünleşme ve katsayı tahmincilerine yönelik metodolojik kısım ele alınmaktadır.

4.2.1. Birim Kök Testi

Dickey ve Fuller (1979) tarafından daha da geliştirilen Dickey-Fuller testi, zaman serisi analizlerinde en sık kullanılan birim kök testlerinden biridir. Modelin hata terimindeki otokorelasyon sorunlarının bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin dahil edilmesiyle çözülebileceğini varsayar. Bu bağlamda, hata terimlerinde otokorelasyon düzeyinin doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Test, birinci dereceden otoregresif sürece dayanmaktadır (Orcutt & Winokur 1969). Augmented Dickey-Fuller (ADF) testinde, sıfır hipotezi serinin birim kök içerdiği, yani durağan olmadığıdır. Bu test kapsamında oluşturulan model şu şekilde ifade edilir:

$$\text{ADF: } \Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (3)$$

Kalıntıların normal dağılım göstermediğini varsayarsak, yukarıdaki denklem (3)'i $\hat{w}t$ terimi ile genişletirsek, RALS-ADF modeli için aşağıdaki ifadeyi elde edilmektedir:

$$\text{RALS ADF: } \Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta Y_{t-i} + \hat{w}_t \phi + v_t \quad (4)$$

RALS-ADF ve ADF testleri benzer varsayımlara ve temel hipotezlere sahiptir. Her iki testte de sıfır hipotezi, zaman serisinin birim kök içerdiği, yani durağan olmadığıdır. ρ^2 korelasyon katsayısı değeri 1'e eşitse, bu her iki testin sonuçlarının benzer olduğu anlamına gelir. Bu durumda, her iki test için kullanılan kritik değerler de aynı olacaktır (Im vd., 2014).

4.2.2 RALS ADL- EG2 Eşbütünleşme Testi

Bu çalışma, uzun vadeli ilişkileri belirlemek için RALS ADL ve RALS EG2 (Engle-Granger) eşbütünleşme testinden yararlanılmıştır. Lee vd. (2015) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testlerinde dört farklı regresyon dikkate alınmaktadır:

$$\Delta y_t = d_t + \delta_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \phi' \Delta x_t + u_t \quad (5)$$

$$\Delta y_t = d_t + \delta_1 y_{t-1} + \gamma' x_{t-1} + \phi' \Delta x_t + u_t \quad (6)$$

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = d_t + \delta_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + u_t \quad (7)$$

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = d_t + \delta_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \phi' \Delta x_t + u_t \quad (8)$$

Denklem 4, 5, 6 ve 7 sırasıyla ECM, ADL, EG ve EG2 olarak adlandırılır. Bu denklemlerdeki sabit terim d_t , deterministik trend bileşenini temsil eder. 5, 6, 7 ve 8 numaralı denklemler $\varepsilon'_t, y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$ olarak ifade edilen uzun dönem denkleminde elde edilen kalıntıları göstermektedir. Lee vd. (2015), yukarıdaki test regresyonlarında u_t hata terimlerinin normal dağılım göstermediği durumlar için RALS yöntemine dayalı eşbütünleşme testleri geliştirmiştir. Bu yöntem, u_t hata terimlerinin ortalaması etrafındaki ikinci ve üçüncü momentleri dikkate alarak oluşturulan kalıntıları artırılmış değişkenleri içermektedir. RALS-ADL ve RALS-EG2 test regresyonları ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\Delta y_t = d_t + \delta_1 y_{t-1} + \gamma' x_{t-1} + \phi' \Delta x_t + \theta_2 \hat{w}_{2t} + \theta_3 \hat{w}_{3t} + v_t \quad (9)$$

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = d_t + \delta_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \phi' \Delta x_t + \theta_2 \hat{w}_{2t} + \theta_3 \hat{w}_{3t} + v_t \quad (10)$$

RALS-ADL ve RALS-EG2 test regresyonları 9 ve 10 numaralı regresyonlar EKK (en küçük kareler) kullanılarak edilen tahmin ile $\delta_1 = 0$ eşbütünleşme ilişkisi yoktur şeklinde oluşturulan temel hipoteze karşılık $\delta_1 < 1$ eşbütünleşme ilişkisi vardır şeklinde kurulan alternatif hipoteze sınanma yapılmaktadır. Bu testin gerçekleştirilebilmesi amacıyla test istatistikleri aşağıda gösterildiği biçimde elde edilebilmektedir:

$$\tau_{ADL}^* \rightarrow \rho \tau_{ADL} + \sqrt{1 - \rho^2} Z \quad (11)$$

$$\tau_{EG2}^* \rightarrow \rho \tau_{EG2} + \sqrt{1 - \rho^2} Z \quad (12)$$

11 ve 12 numaralı denklemlerde yer alan TADL ve TEG2 (6) ve (8) numaralı geleneksel test regresyonlarından elde edilmiş olan test istatistiklerini $\rho = \text{corr}(\hat{v}_t, \hat{u}_t)$ $\hat{v}_t, \hat{u}_t$ bu kalıntılar uzun vadeli korelasyon katsayısını temsil eder ve Z, ortalama değeri sıfır ve sabit varyansı olan bir rastgele değişkeni ifade etmektedir.

Lee vd. (2015), çalışmalarında artık destekli artırılmış en küçük kareler (Residual Augmented Least Squares - RALS) yaklaşımına dayalı eşbütünleşme testini kullanmışlardır. Bu yöntemin tercih

edilmesinde üç temel gerekçe öne çıkmaktadır. İlk olarak, literatürde çoğu zaman göz ardı edilen ve normal dağılım varsayımını ihlal eden hata terimlerine ilişkin bilgilerin, RALS eşbütünleşme testi aracılığıyla analiz sürecine dâhil edilebilmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Nitekim finansal zaman serilerinin büyük bir kısmı leptokurtik özellikler sergilemekte ve asimetrik ya da doğrusal olmayan davranışlar göstermektedir. Hepsağ ve Akçal'a (2019) göre bu tür seriler normal dağılım varsayımıyla uyumlu değildir. İncelenen çalışmada da serilerin normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Lee vd. (2015), bu tür normal olmayan hata terimlerinin varlığı durumunda doğrusal bir model çerçevesinde uygulanan RALS tahmincisinin daha yüksek test gücüne sahip olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, anormal hata yapılarını dikkate alabilen RALS eşbütünleşme testinin literatüre önemli katkılar sunduğu ifade edilebilir. İkinci gerekçe, RALS eşbütünleşme testlerinin, belirli bir fonksiyonel formun önceden tahmin edilmesini gerektiren geleneksel yaklaşımlardan farklı bir çerçeve sunmasıdır. RALS tabanlı testlerde, normal dağılım varsayımını ihlal eden hata terimlerine ilişkin bilgiler doğrudan analiz sürecine dâhil edilmekte; bu durum, amaçlanan fonksiyonel formdan sapmalara bağlı olarak ortaya çıkabilecek güç kayıplarının önüne geçilmesine olanak tanımaktadır. Üçüncü ve son olarak, hata terimlerine ilişkin normal olmayan dağılım özellikleri hakkında sınırlı bilgiye sahip olunan durumlarda, RALS tabanlı eşbütünleşme testlerinin gücünün diğer eşbütünleşme testlerinin açıklayıcı gücüyle tutarlı olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, tahmin sürecinde normal dışı dağılım özelliklerinin belirlenmesi hâlinde, RALS tabanlı testlerin kullanımı bu özellikleri dikkate alarak testin açıklayıcı gücünü önemli ölçüde artırmaktadır. Dolayısıyla, Lee vd. (2015) tarafından geliştirilen RALS eşbütünleşme testlerinin, özellikle normal dağılım varsayımının geçerli olmadığı durumlarda, alternatif eşbütünleşme testlerine kıyasla daha etkin sonuçlar sunduğu söylenebilir (Demirtaş vd., 2023, s. 85).

Engle ve Granger (1987) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testi, literatürde yaygın biçimde kullanılan yöntemlerden biri olmakla birlikte, alternatif eşbütünleşme testlerine kıyasla test gücünün görece düşük olduğu ifade edilmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada klasik Engle-Granger testinin yanı sıra, testin gücünü artırmak amacıyla Lee vd. (2015) tarafından önerilen ve En Küçük Kareler (EKK) yöntemi yerine Im ve Schmidt (2008) tarafından geliştirilen RALS yaklaşımını temel alan RALS-EG eşbütünleşme testinden de yararlanılmıştır (Eyuboğlu & Akan, 2020, s. 981-982).

4.3 Bulguların Değerlendirilmesi

ADF birim kök testi, kalıntıların normal dağılım gösterdiğini varsayar. Buna karşılık, RALS-ADF testi, kalıntıların normal dağılım göstermediğini varsayar ve daha etkili sonuçlar verir. Jarque-Bera normallik testi değişkenlere uygulanmış ve modelde kullanılan değişkenlerin hiçbirinin normal dağılım göstermediği belirlenmiştir.

Tablo 3. ADF testi (jarque-bera) regresyonundan elde edilen kalıntıların normallik testi.

Değişkenler	Jarque –Bera
LNEKOA	0.000
LNTK	0.000
LNSK	0.021
LGSYİH	0.031
LGSYİH ²	0.034
LNEN	0.024

Tablo 4. ADF ve RALS ADF birim kök testi sonuçları.

Değişkenler	Optimal lag	RALS ADF test ist	p ² değeri	ADF test ist.	1. fark ADF test istatistiği	RALS ADF kritik değerler		
						%1	%5	%10
LNEKOA	1	-1.884	0.59	-1.179 (0.6703)	-8.734 (0.000)	-3.279	-2.828	-2.579
LNTK	1	-0.777	0.92	-1.501 (0.5204)	-5.947 (0.0000)	-3.099	-2.186	-2.663
LNSK	1	-1.144	0.81	-2.122 (0.2376)	-5.234 (0.0002)	-3.213	-2.851	-2.657
LNGSYİH	0	-0.428	0.51	-0.665 (0.9894)	-5.736 (0.0000)	-3.301	-2.775	-2.511
LGSYİH ²	1	-1.051	0.55	-1.751 (1.000)	-5.158 (0.000)	-3.301	-2.775	-2.511
LNEN	0	-1.905	0.65	-0.872 (0.7844)	-7.244 (0.000)	-3.279	-2.828	-2.579

Not: ADF birim kök testi sabitli model kritik değerler %1, %5, %10; -3.64,-2.95,-2.61

Bu test, ADF testi için RALS prosedürünün bir uyarlamasıdır ve kalıntılar normal dağılım göstermediğinde daha güçlü sonuçlar vermektedir. Bu durumda RALS-ADF testinin kullanılması daha etkili sonuçlar verecektir. Tablo 3'te ADF ve RALS ADF birim kök test sonuçları gösterilmektedir. RALS ADF birim kök test sonuçlarına göre elde edilen test istatistikleri sırasıyla p₂ = 0.5, 0.6, 0.8 ve 0.9 için %1, %5 ve %10 kritik değerlerden küçük çıktığı için serilerin düzeyde birim köklü olduğu kabul edilmiştir. Yani serilerin birinci farklarında sabitli model de durağan oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Bu da değişkenlerin I(1) seviyesinde bütünlük olduğunu göstermektedir. Klasik ADF testinden elde edilen bulgular da bu sonuçları desteklemektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, durağan değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkiyi belirlemek için RALS ADL ve RALSEG2 eşbütünleşme testleri kullanılmıştır. Her iki model için RALS ADL ve RALS EG eşbütünleşme test sonuçları Tablo 5 ve 6'da gösterilmektedir.

Tablo 5. Model 1 için RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme testi sonuçları.

	p ²	RALS ADL(T)	Gecikme uzunluğu	Kritik değerler			Sonuç
				%1	%5	%10	
RALS ADL	0.40	-5.71	0	-3.839	-3.163	-2.802	İlişki var
RALS EG2	0.38	-7.19	0	-4.196	-3.547	-3.201	İlişki var

Tablo 5'te yer alan Model 1 için RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme sonuçları incelendiğinde, test istatistiklerinin p₂ = 0.40 ve p₂ = 0.38 için %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesine ait kritik değerlerden büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç değişkenler arasında herhangi bir uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını belirten temel hipotezin kabul edilmediğini göstermektedir. Dolayısıyla çalışma kapsamında ele alınan modelde değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğu belirlenmiştir. RALS-ADL ile RALS-EG2 sonuçları birbirleriyle uyumludur. Sonuçlarda tarımsal katma değer, GSYİH, GSYİH², birincil enerji tüketimi ve çevresel kaliteyi temsil eden ekolojik ayak izi arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu doğrulanmaktadır.

Tablo 6. Model 2 için RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme testi sonuçları.

	p ²	RALS ADL(T)	Gecikme uzunluğu	Kritik değerler			Sonuç
				%1	%5	%10	
RALS ADL	0.33	-5.62	1	-3.660	-2.960	-2.604	İlişki var
RALS EG2	0.39	-6.64	1	-4.196	-3.547	-3.201	İlişki var

Tablo 6'daki RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme sonuçları incelendiğinde ise, test istatistiklerinin $p_2 = 0.33$ ve $p_2 = 0.39$ için %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesine ait kritik değerlerden büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç değişkenler arasında herhangi bir uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını belirten temel hipotezin kabul edilmediğini göstermektedir. Dolayısıyla çalışma kapsamında ele alınan modelde değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğu belirlenmiştir. RALS-ADL ile RALS-EG2 sonuçları birbirleriyle uyumludur. Sonuçlarda sanayi katma değeri, GSYİH, GSYİH2, birincil enerji tüketimi ve çevresel kaliteyi temsil eden ekolojik ayak izi arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu doğrulanmaktadır.

Bu amaçla uzun dönemde daha tutarlı ve etkin sonuçlara ulaşabilmek için Stock ve Watson (1993) tarafından geliştirilmiş olan Dinamik En Küçük Kareler Yöntemi (DOLS) ile Hansen (1992) tarafından geliştirilmiş olan Tamamen Değiştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi (FMOLS) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerin eşbütünleşme ilişkisine ait katsayı sonuçlarını veren yöntemler olarak bilinmektedir (Kırca & Topal, 2017, s. 104).

Tablo 7. Model 1 için FMOLS-DOLS tahminci sonuçları.

Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	t-ist	Olasılık
FMOLS SONUÇLARI				
LNTK	0.084	0.034	2.452	0.018**
LNGSYİH	0.869	0.237	3.654	0.001*
LNGSYİH ²	-2.345	7.275	3.211	0.027**
LNEN	0.189	0.092	2.052	0.047**
C	7.289	1.136	6.413	0.000
DOLS SONUÇLARI				
LNTK	0.082	0.035	2.340	0.024**
LNGSYİH	0.909	0.279	3.253	0.000*
LNGSYİH ²	-2.491	9.182	-2.710	0.010**
LNEN	0.204	0.104	1.963	0.051**
C	7.494	1.317	5.688	0.000

Not: *, ** %1 ve %5 anlamlılık düzeyi

Tablo 7'de, FMOLS ve DOLS analizlerinin sonuçlarını göstermektedir. Model 1 için yapılan uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarında FMOLS sonuçlarına göre, tarımsal katma değeri, birincil enerji tüketiminin GSYİH ve GSYİH2'nin karesinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Tarımsal katma değerdeki %1'lik bir artışın ekolojik ayak izini %0,08 artırdığı, birincil enerji tüketimindeki %1'lik bir artışın ise ekolojik ayak izini %0,18 oranında artırdığı görülmüştür. GSYİH'da meydana gelen %1'lik bir artış ekolojik ayak izini %0,86 oranında artırırken, GSYİH2'nin karesinde meydana gelen %1'lik bir artış ise ekolojik ayak izini %2,34 oranında azaltmaktadır. DOLS bulgularında da FMOLS bulguları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu bulgulara bakılarak şu sonuçlar çıkarılabilir: Ekolojik ayak izi üzerinde GSYİH ve GSYİH2'nin anlamlı olması Türkiye için söz konusu dönemde Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğunu göstermektedir. Çünkü Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin geçerli sayılabilmesi için, ekonomik büyüme göstergesi olan GSYİH'nin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, GSYİH2'nin ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olması beklenir. Tarımsal katma değeri üzerinden test edilen Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin ele alınan dönemde Türkiye için geçerli olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuç, literatürde yer alan Burakov, 2019, Aslam vd. 2021, Doğan & Turkecul, 2016, Waheed vd. 2018 çalışmalarla paralel sonuç göstermektedir.

Tablo 8. Model 2 için FMOLS-DOLS tahminci sonuçları.

Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	t-ist	Olasılık
FMOLS SONUÇLARI				
LNSK	0.066	0.037	1.777	0.063
LNGSYİH	1.001	0.242	4.153	0.000
LNGSYİH ²	-2.722	7.561	3.602	0.001
LNEN	0.281	0.096	-2.921	0.005*
C	7.485	1.215	6.159	0.000
DOLS SONUÇLARI				
LNSK	0.063	0.039	1.615	0.005
LNGSYİH	1.052	0.268	3.920	0.000*
LNGSYİH ²	-2.901	9.094	-3.218	0.002
LNEN	0.295	0.099	2.973	0.000
C	7.701	1.337	5.760	0.000

Tablo 8’de, FMOLS ve DOLS analizlerinin sonuçlarını göstermektedir. Model 2 için yapılan uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarında FMOLS sonuçlarına göre, sanayi katma değeri, birincil enerji tüketimi ile GSYİH ve GSYİH2’nin karesinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sanayi katma değerindeki %1’lik bir artışın ekolojik ayak izini %0.06 artırdığı, birincil enerji tüketimindeki %1’lik bir artışın ise ekolojik ayak izini %0,28 oranında artırdığı gözlenmiştir. GSYİH’da meydana gelen %1’lik bir artış ekolojik ayak izini %1,00 oranında arttırırken, GSYİH2’nin karesinde meydana gelen %1’lik bir artış ise ekolojik ayak izini %2,72 oranında azaltmaktadır. DOLS bulgularında da FMOLS bulguları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu bulgulara bakılarak şu sonuçlar çıkarılabilir: Ekolojik ayak izi üzerinde GSYİH ve GSYİH2’nin anlamlı olması Türkiye için söz konusu dönemde Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuç, literatürde yer alan Azam vd., 2022, Raihan ve Tuspekova, 2022, Whang ve Zhang, 2020 çalışmalarla paralel sonuç göstermektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel ölçekte artan çevresel sorunlar, Sürdürülebilir Kalkınma amaçlarını giderek daha önemli hale getirmiştir. Bu bağlamda, ülkeler ekonomik büyüme stratejilerinin çevresel sürdürülebilirlikle dengelenmesini sağlamalıdır. Tarım ve sanayi sektörleri, ekonomik kalkınmanın itici güçleri olmaları ve doğal kaynaklar üzerinde muazzam bir baskı oluşturmaları nedeniyle özellikle önemlidir (OECD, 2022). Bu nedenle çevresel etkileri de oldukça büyüktür. Bu sektörlerin faaliyetleri, enerji tüketimi, arazi kullanımı, su tüketimi ve sera gazı emisyonları da dahil olmak üzere birçok yönden ekolojik ayak izini doğrudan etkiler (Wackernagel & Rees, 1996). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, çevresel kaynakların sürdürülebilir kullanım kapasitesi giderek sınırlıdır. Sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı sürdürürken çevreyi korumak zorunda olan Türkiye gibi ülkeler için, tarım ve sanayinin çevre kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi elzemdir.

Bu çalışmada tarım ve sanayi sektörlerindeki katma değer ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi ile ilişkisi Türkiye ekonomisi için iki model kullanılarak 1980-2023 dönemi veri seti kapsamında incelenmiştir. Çalışmada söz konusu değişkenlere ADF ve RALS ADF birim kök test uygulanmış ve durağanlık düzeyleri belirlenmiştir. Seriler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi ise RALS ADL ve RALS EG2 eşbütünleşme testi ile belirlenmiş uzun dönemli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığı tespit edildikten sonra uzun dönem katsayı tahmincileri kullanılmıştır. FMOLS ve DOLS bulguları, tarımsal katma değer, sanayi katma değerinin, birincil enerji tüketiminin ve GSYİH’nin ekolojik ayak izini artırdığını, buna karşın GSYİH’nin karesinin ise ekolojik ayak izini azalttığını göstermektedir. Hem tarımsal hem de sanayi katma değeri üzerinden test edilen Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin söz konusu dönemde Türkiye için geçerli olduğu söylenebilir.

Tarımsal üretimin ekolojik ayak izini artırıcı etkisi dikkate alındığında, Türkiye’de sürdürülebilir bir tarım sektöründe çevre dostu uygulamaların teşvik edilmesi önem taşımaktadır. Çalışmada yer alan bulgular ışığında şu önerilerde bulunabilir: Organik tarım uygulamaları desteklenebilir, tarımsal su

verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler alınabilir, modern sulama yöntemleri tercih edilebilir. Çalışma sonuçlarının Türkiye’de tarım ve sanayi sektörleri özelinde Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini desteklemesi, ekonomik büyüme sürecinin belirli bir aşamadan sonra çevresel baskıların azaltılmasına imkân tanıyabileceğini göstermektedir. Özellikle tarım sektöründe sürdürülebilir üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması, sanayi sektöründe ise temiz üretim, döngüsel ekonomi ve enerji verimliliğini artıran teknolojilere yönelik teşviklerin artırılması önerilebilir. Bunun yanı sıra, birincil enerji tüketiminin çevresel etkileri dikkate alınarak yenilenebilir enerji yatırımları desteklenebilir, düşük karbonlu ve çevre dostu teknolojilere odaklanılarak katkı sağlanabilir.

Bu bağlamda tarım, sanayi sektörleri ve bunların kolektif ekolojik ayak izi arasındaki ilişki karmaşık ve çok yönlüdür. Bu sektörler geliştikçe, ekolojik etkilerini azaltmak için sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği ilkelerine bağlı kalmalıdır. Hem tarım hem de sanayi, yenilikçiliği ve sürdürülebilir uygulamaları benimseyerek ekonomik kalkınmayı desteklerken çevrenin korunmasına da olumlu katkıda bulunabilir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında teşekkür edilecek herhangi bir kişi veya kurum bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması ve Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın yazarı, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduğunu kabul etmektedir. Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir.

Finansman

Yazarlar, bu araştırmayı yürütmek için finansal bir destek almamıştır.

Veri Erişilebilirliği Beyanı

Bu araştırmada kullanılan veri seti, makul talep doğrultusunda ve etik ilkeler çerçevesinde sorumlu yazardan temin edilebilir.

Yapay Zekâ Beyanı

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde herhangi bir yapay zekâ destekli araç kullanılmamıştır.

Yazarların Katkıları

Bu çalışmada birinci yazarın katkı oranı %35, ikinci yazarın katkı oranı %35 ve üçüncü yazarın katkı oranı %30'tir.

Orcid

Mehmet Ali Orhan: <https://orcid.org/0000-0001-7818-0433>

Ayşe Eryer: <https://orcid.org/0000-0002-6556-1605>

Arif Selim Eren: <https://orcid.org/0000-0001-7274-1113>

KAYNAKÇA

Agboola, M. O., & Bekun, F. V. (2019). Does agricultural value added induce environmental degradation? Empirical evidence from an agrarian country. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), 27660-27676. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05943-z>

Akın, F., & Akçayır, Ö. (2025). MIST Ülkelerinde Sürdürülebilir Kalkınma Ve Yeşil Enerjinin Yeşil Üretime Etkisi. *Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi*, (46), 169-186. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.1582864>

Akın, F., & Şen, A. (2024). Ekolojik ayak izi ile OECD ülkelerine yönelik çevresel Kuznets eğrisinin araştırılması. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, (INIJOSS)*, 13(2), 307-333. <https://doi.org/10.54282/inijoss.1514029>

- Al-habash, M. A., Buraik, O., Yousef, M., Alali, A. M. F., Al_ Shukri, K. S., & Fraihat, B. A. M. (2023). The Effect of Sustainable Entrepreneurship on Economic Development in Jordan: The Mediating Role of Environmental Performances. *Migration Letters*, 20(6), 185- 202. <https://doi.org/10.59670/ml.v20i6.3472>
- Amoah, J. O., Alagidede, I. P., & Sare, Y. A. (2024). Industrialization and carbon emission nexus in Sub-Saharan Africa. The moderating role of trade openness. *Cogent Economics & amp; Finance*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2360803>
- Anderson, K. (2022). Agriculture's globalization: Endowments, technologies, tastes and policies. *Journal of Economic Surveys*, 37(4), 1314-1352. <https://doi.org/10.1111/joes.12529>
- Anwar, A., Ahmad, N., & Madni, G. R. (2019). Industrialization, freight transport and environmental quality: evidence from belt and road initiative economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(7), 7053-7070. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07255-8>
- Arora, N. K. (2018). Agricultural sustainability and food security. *Environmental Sustainability*, 1(3), 217-219. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00032-2>
- Asane-Otoo, E. (2015). Carbon footprint and emission determinants in Africa. *Energy*, 82, 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.053>
- Aslam, B., Hu, J., Hafeez, M., Ma, D., AlGarni, T. S., Saeed, M., Abdullah, M. A., & Hussain, S. (2021). Applying environmental Kuznets curve framework to assess the nexus of industry, globalization, and CO2 emission. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101377. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101377>
- Azam, M., Rehman, Z. U., & Ibrahim, Y. (2022). Causal nexus in industrialization, urbanization, trade openness, and carbon emissions: empirical evidence from OPEC economies. *Environment, Development and Sustainability*, 24(12), 13990-14010. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02019-2>
- Bashir, A., Suhel, A., Azwardi, A., Atiyatna, D. P., Hamidi, I., & Adnan, N. (2019). The causality between agriculture, industry, and economic growth: Evidence from Indonesia. *Etikonomi*, 18(2), 155-168. <http://dx.doi.org/10.15408/etk.v18i2.9428>
- Burakov, D. 2019. Does agriculture matter for environmental Kuznets Curve in Russia: evidence from the ARDL bounds tests approach. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 11(3), 23-34. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.294162>
- Cimprich, A., Santillán-Saldivar, J., Thiel, C. L., Sonnemann, G., & Young, S. B. (2019). Potential for industrial ecology to support healthcare sustainability: scoping review of a fragmented literature and conceptual framework for future research. *Journal of Industrial Ecology*, 23(6), 1344-1352. <https://doi.org/10.1111/jiec.12921>
- Claire, B. & Widyawati, D. (2023). Impact of industrialization and renewable energy on carbon dioxide emission in 9 ASEAN Countries. *Economic Journal of Economic Markets*, 15(2),183-195. <https://doi.org/10.20885/ejem.vol15.iss2.art6>
- Demirtaş, C., Soyu Yıldırım, E., & Tuğlu Dur, D. (2023). Do Oil Prices Have an Effects on Food Prices? Fresh Evidences from Türkiye. *Journal of Business Research-Turk*, 15(1), 79-91. <https://doi.org/10.20491/isarder.2023.1574>
- Dogan, E., & Turkecul, B. (2016). CO2 emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 1203-1213. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5323-8>
- Du, Y., Li, M. J., & Lin, T. X. (2020). Research on Foreign Trade of Guangdong Province Based on the Emergy Ecological Footprint. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 17, 900-909. <https://doi.org/10.37394/23207.2020.17.88>

- Ebadi, A., Moharram Nejad, N., Rahnamaee, M. T., & Motesadi Zarandi, S. (2016). Determining the ecological footprint of vehicles in Tehran, Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(3), 439-450. https://doi.org/10.15666/aeer/1403_439450
- Ehigiamusoe, K. U., Ramakrishnan, S., Lean, H. H., & Somasundram, S. (2023). Role of energy consumption on the environmental impact of sectoral growth in Malaysia. *Sage Open*, 13(3), 1-17. <https://doi.org/10.1177/21582440231184044>
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Eryer, A. (2025). Akdeniz Ülkelerinde, Turizm ve Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İktisadi Büyüme ve Çevresel Kalite Üzerine Etkisi: Panel Veri Analizi, (Ed.Dr. Öğr. Üye Serhat Alpogut), Makro İktisadi Araştırmalar 1, <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub774.c3211>, Francisco: Holden-Day.
- Eyüboğlu, K., & Akan, K. (2020). Türkiye’de finansal gelişme ve ekonomik büyüme ilişkisi: RALS-EG eşbütünleşme testi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(4), 974-988. <https://doi.org/10.32709/akusosbil.627788>
- Galli, A., Wackernagel, M., Iha, K., & Lazarus, E. (2014). Ecological footprint: implications for biodiversity. *Biological Conservation*, 173, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.019>
- Guang-Wen, Z., Murshed, M., Siddik, A. B., Alam, M. S., Balsalobre-Lorente, D., & Mahmood, H. (2023). Achieving the objectives of the 2030 sustainable development goals agenda: Causalities between economic growth, environmental sustainability, financial development, and renewable energy consumption. *Sustainable Development*, 31(2), 680-697. <https://doi.org/10.1002/sd.2411>
- Gurbuz, I. B., Nesirov, E., & Ozkan, G. (2021). Does agricultural value-added induce environmental degradation? Evidence from Azerbaijan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 23099-23112. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12228-3>
- Günçavdi, Ö., Küçükçifçi, S., & Bayar, A. A. (2013). Economic development and structural change: The role of the agriculture sector in Turkey. *Middle East Development Journal*, 5(2), 1350011-1. <https://doi.org/10.1142/S1793812013500119>
- He, C. L., Liu, W. L., Wu, X. G., & Luo, W. (2013). Regional Environmental Capacity Study for Jiaxing City. *Advanced Materials Research*, 610, 961- 964. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.610-613.961>
- He, M., Wang, Y., & Ma, H. (2023). Ecological effect life cycle assessment of house buildings based on emergy footprint model. *Scientific Reports*, 13(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43501-3>
- Hepsağ, A., & Akçalı, Y. B. (2019). Finansal zaman serilerinde birim kök hipotezinin test edilmesinde kalıntılarla genişletilmiş en küçük kareler yöntemi yaklaşımı: Rasyonel fiyat köpükleri üzerine bir uygulama. *XIII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi*, 05-06.
- Hoekstra, A. Y. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological economics*, 68(7), 1963- 1974. <https://doi.org/10.1016/j.e colecon.2008.06.021>
- Im, K. & P. Schmidt. (2008). More efficient estimation under non-normality when higher moments do not depend on the regressors, using residual-augmented least squares. *Journal of Econometrics*, 144(1), 219–233. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2008.01.003>
- Im, K. S., Lee, J., & Tieslau, M. A. (2014). More powerful unit root tests with non-normal errors. In *Festschrift in honor of Peter Schmidt: Econometric methods and applications*. New York, NY: Springer New York. 315-342. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_10
- Ji, X., Chen, J., & Zhang, H. (2024). Agricultural specialization activates the industry chain: Implications for rural entrepreneurship in China. *Agribusiness*, 40(4), 950- 974. <https://doi.org/10.1002/agr.21868>

- Jie, H., Khan, I., Alharthi, M., Zafar, M. W., & Saeed, A. (2023). Sustainable energy policy, socio-economic development, and ecological footprint: The economic significance of natural resources, population growth, and industrial development. *Utilities Policy*, 81, 101490, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101490>
- Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., Erb, K., Giljum, S., Haberl, H., Hails, C., Jolia-Ferrier, L., Jungwirth, S., Lenzen, M., Lewis, K., Loh, J., Marchettini, N., Messinger, H., Milne, K., Moles, R., Monfreda, C., Moran, D., Nakano, K., Pyhälä, A., Rees, W., Simmons, C., Wackernagel, M., Wada, Y., Walsh, C., & Wiedmann, T. (2009). A research agenda for improving national ecological footprint accounts. *Ecological Economics*, 68(7), 1991-2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.022>
- Lee, H., Lee, J., & Im, K. (2015). More powerful cointegration tests with non-normal errors. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 19(4), 397-413. <https://doi.org/10.1515/snde-2013-0060>
- Li, D. (2024). Study on the Two-Way Promotion Path of Green Financing for SMEs and Green Transformation of Urban Housing Projects in Guangdong Province in the Era of Digital Economy. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 45, 48-63. <https://doi.org/10.70517/ijhsa4535>
- Li, K., & Lin, B. (2015). Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO2 emissions: does the level of development matter?. *Renewable and sustainable energy reviews*, 52, 1107-1122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.185>
- Li, Z., & Krafty, R. T. (2019). Adaptive Bayesian time–frequency analysis of multivariate time series. *Journal of the American Statistical Association*, 114(525), 453-465. <https://doi.org/10.1080/01621459.2017.1415908>
- Liu, Y., Zhou, X., Zhang, Q., Zeng, L., Kang, Y., & Luo, J. (2022). Study on sustainable developments in Guangdong Province from 2013 to 2018 based on an improved ecological footprint model. *Scientific reports*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06152-4>
- Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., & Furqan, M. (2020). Industrialization, urbanization and CO2 emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis. *Energy reports*, 6, 1553-1560. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.004>
- Majeed, M.T., & Taguir, A. (2020). Effects of Urbanization, Industrialization, Economic Growth, Energy Consumption and Financial Development on Carbon Emissions: An Extended STIRPAT Model for Heterogeneous Income Groups. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 14(3), 652-681.
- Munir, K., & Ameer, A. (2020). Nonlinear effect of FDI, economic growth, and industrialization on environmental quality: evidence from Pakistan. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(1), 223-234. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2018-0186>
- Neshcheret, A., Skivko, M., Alamanova, C., Korneeva, E., & Freze, A. (2023). Concepts of sustainable development in ecological and economic systems. In *E3S Web of Conferences*, 460(03011). 1-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346003011>
- OECD. (2022). *Green Growth Indicators 2022*. OECD Publishing.
- Olowu, G., Bein, M., & Olasehinde-Williams, G. (2018). Examining the relationship between financial development, sustainable economic opportunity and ecological footprint in SADC countries. *Applied Ecology & Environmental Research*, 16(5), 7171-7190. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1605_71717190
- Orcutt, G. H., & Winokur Jr, H. S. (1969). First order autoregression: inference, estimation, and prediction. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1-14. <https://doi.org/10.2307/1909199>
- Pata, U. K. (2018). The effect of urbanization and industrialization on carbon emissions in Turkey: evidence from ARDL bounds testing procedure. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7740-7747. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1088-6>

- Potts, J., Foster, J., & Straton, A. (2010). An entrepreneurial model of economic and environmental co-evolution. *Ecological Economics*, 70(2), 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.009>
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agriculture, and forests on carbon emissions in Turkey. *Carbon Research*, 1(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00019-z>
- Ren, S., Yuan, B., Ma, X., & Chen, X. (2014). International trade, FDI (foreign direct investment) and embodied CO2 emissions: A case study of Chinas industrial sectors. *China economic review*, 28, 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2014.01.003>
- Sahoo, M., Kaushik, S., Gupta, M., Islam, M. K., & Nayak, P. (2024). Powering a sustainable future: Does economic structure influence the ecological footprint?. *Sustainable Development*, 32(4), 3809-3823. <https://doi.org/10.1002/sd.2874>
- Shahbaz, M., Uddin, G. S., Rehman, I. U., & Imran, K. (2014). Industrialization, electricity consumption and CO2 emissions in Bangladesh. *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 575-586. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.028>
- Sundström, J. F., Albiñ, A., Boqvist, S., Ljungvall, K., Marstorp, H., Martiin, C., Nyberg, K., Vagsholm, I., Yuen, J., & Magnusson, U. (2014). Future threats to agricultural food production posed by environmental degradation, climate change, and animal and plant diseases—a risk analysis in three economic and climate settings. *Food Security*, 6(2), 201-215. <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0331-y>
- Udemba, E. N. (2020). A sustainable study of economic growth and development amidst ecological footprint: New insight from Nigerian Perspective. *Science of the total environment*, 732, 139270, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139270>
- Wackernagel, M. & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact On The Earth* (Vol. 9). New Society Publishers.
- Wackernagel, M., & Yount, J. D. (1998). The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. *Environmental monitoring and assessment*, 51(1), 511-529. <https://doi.org/10.1023/A:1006094904277>
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of cleaner production*, 172, 4231- 4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
- Xu, B., & Lin, B. (2015). How industrialization and urbanization process impacts on CO2 emissions in China: evidence from nonparametric additive regression models. *Energy economics*, 48, 188-202. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.005>
- Xue, C., Tu, Y. T., Ananzeh, M., Aljumah, A. I., Trung, L. M., & Ngo, T. Q. (2022). The role of economic conditions and sustainable rural development on the sustainability of tourism development: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 30588-30602. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24062-w>
- Zeynalov, F., & Karacan, S. (2023). Tarımın çevreye ve ekonomik büyümeye etkisi: Türkiye örneği üzerine ekonometrik bir araştırma. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12, 90-104. <https://doi.org/10.58627/dpuiibf.1311185>
- Zhang, M., Lu, Z. H., Zhu, J. F., & Tan, F. F. (2015). Urban planning in resource-based cities based on ecological footprint and ecological carrying capacity. *Applied Mechanics and Materials*, 744, 2236-2240. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.744-746.2236>