



Tarım ve Çevre Kirliliği İlişkisi: Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Uygulamalı Bir Analiz

Servet KAPÇAK[✉]

Kültür ve Turizm Bakanlığı, Ankara-Türkiye
<https://orcid.org/0000-0003-0397-9704>
✉: servet.kapcak@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, tarım ve çevre kirliliği ilişkisi 1990-2021 dönemine ait zaman serisi verileri kullanılarak Fourier ADL eşbütünleşme yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Modelde tarımsal katma değer, yenilenebilir enerji ve çevre kirliliği değişkenleri kullanılmıştır. Çevresel kirliliğin göstergesi olarak karbon emisyonları modele dahil edilmiştir. Değişkenlerin uzun dönem katsayıları FMOLS testi ile sınanmıştır. Değişkenlerin durağanlık analizinde ADF ve PP birim kök testlerinin yanı sıra yapısal kırılmaları kontrol eden Zivot-Andrews birim kök testine başvurulmuştur. Bulgular, değişkenlerin birinci farkında durağan ve uzun dönemde eşbütünleşik olduğu tespit edilmiştir. FMOLS sonuçlarına göre, tarım ve yenilenebilir enerji değişkenleri karbon emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uzun dönemde tarımda meydana gelebilecek %1'lik artışın karbon emisyonlarını 0.36 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik bir artışın karbon emisyonlarını -0.34 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Granger nedensellik sonuçlarına göre, tarımdan karbon emisyonlarına doğru tek yönlü; yenilenebilir enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji ile tarım sektörü arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir.

Tarım Ekonomisi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi

Geliş Tarihi : 07.07.2025

Kabul Tarihi : 07.11.2025

Anahtar Kelimeler

Zaman serisi analizi
Karbon emisyonları
Yenilenebilir enerji
Türkiye

The Relationship Between Agriculture and Environmental Pollution: An Applied Analysis within the Framework of Sustainable Development

ABSTRACT

In this study, the relationship between agriculture and environmental pollution is analyzed using the Fourier ADL cointegration approach, with time-series data covering the period 1990-2021. Agricultural value added, renewable energy, and environmental pollution variables are used in the model. Carbon emissions are used as an indicator of environmental pollution. The long-run coefficients of the variables are tested by the FMOLS test. The stationarity of the variables is examined through ADF and PP unit root tests, as well as the Zivot-Andrews unit root test, which accounts for structural breaks. The findings indicate that the variables are stationary at first difference and cointegrated in the long run. According to the FMOLS results, agriculture and renewable energy variables were found statistically significant in carbon emissions. In the long run, a 1% increase in agriculture increases carbon emissions by 0.36, whereas a 1% increase in renewable energy consumption reduces carbon emissions by -0.34. According to Granger causality results, there is a unidirectional causal relationship from agriculture to carbon emissions; however, a bidirectional relationship has been identified between renewable energy consumption and carbon emissions. On the other hand, no causal relationship has been detected between renewable energy and the agricultural sector.

Agriculture Economy

Research Article

Article History

Received : 07.07.2025

Accepted : 07.11.2025

Keywords

Time series analysis
Carbon emissions
Renewable energy
Türkiye

Atıf İçin	Kapçak, S. (2025). Tarım Ve Çevre Kirliliği İlişkisi: Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Ampirik Bir Analiz. <i>KSÜ Tarım ve Doğa Derg</i> 29(3), 824-836. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.1736826.
To Cite:	Kapçak, S. (2025). The Relationship Between Agriculture and Environmental Pollution: An Applied Analysis within the Framework of Sustainable Development <i>KSU J. Agric Nat</i> 29 (3), 824-836. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.1736826.

GİRİŞ

Sanayileşme ile birlikte kömür başta olmak üzere fosil yakıtlarının kullanımı yoğun şekilde artış göstermiştir. Doğal kaynakların tüketilmesi ve ülkelerin kontrolsüz ve düzensiz büyüme/kalkınma göstermesi çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Çevre sorunları sosyal, ekonomik, sağlık ve diğer pek çok alanda etkisini göstermiştir (Ghimire & Huang, 2016; Gökmenoğlu & Taşpınar, 2018; Sel & Tekgün, 2022; Künü ve Levent, 2023). Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtların tüketilmesi havada başta karbon salınımı olmak üzere zehirli gazların artmasına neden olmaktadır. Atmosferde bulunan zehirli gazların sürekli artması çevre kirliliğinin yanı sıra insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Javid & Sharif, 2016; Yurtkuran & Terzi, 2018; Tekgün ve ark., 2025; Can & Çetin, 2024; Mukiyen Avcı, 2022). Son yarım asırda çevre kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliği dünya çapında tüm canlıların hayatını olumsuz etkilemiştir.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra tüm dünyada küreselleşme adı altında kalkınma yarışı hızla artmıştır. Gelişen teknolojiler tüm sektörleri etkilediği gibi tarım sektörünü de etkilemiştir. Makineleşme, yapay gübre kullanımı, tarım ilaçları ve artan kimyasal madde kullanımı üretimi pozitif etkilemiştir (Zalidis ve ark., 2002; Tıraş, 2012; Bilal & Jaghdani, 2024). Ancak tarımda yaşanan gelişmeler çevre sorunlarını gündeme getirmiştir. Nüfus artışına bağlı olarak tarımda kullanılan teknoloji ve enerji kullanımı gıda üretimini artırmaktadır. Dolayısıyla, büyük ölçekli üretim süreçleri tarım faaliyetlerinin çevre üzerinde negatif etkilerini artırmıştır. Verimli ve elverişli toprak yapısına sahip bölgeler tarım faaliyetleri için uygun alanlar olarak görülmektedir. Ancak bu topraklarda kimyasal ilaçların yoğun kullanılması toprak yapısını bozmaktadır (Onur, 2025). Böylece zamanla bu topraklarda organik maddelerin azalmasına, oluşan zayıf toprak yapısının daha az su tutmasına ve verimliliğin azalmasına neden olmuştur. Tarımsal üretimi artırmak amacıyla fosil enerji kaynaklarının kullanımı, yanlış üretim teknikleri, kimyasal ilaç ve gübre kullanımı tarım verimliliği ile çevre arasındaki bağı bir kısır döngüye sokmaktadır. Sürdürülebilir verimlilik için hastalık ve tarıma zarar veren diğer canlılara karşı kullanılan kimyasal maddeler, ilaçlar, gübreler, bitkisel ve hayvansal üretimden kaynaklanan zararlı gazlar gibi her türlü tarımsal faaliyetler sonucunda meydana gelen kirlilik "tarımsal kirlilik" olarak ifade edilmektedir. Tarımda yaşanan değişim ve gelişim ekolojik dengenin önemli unsurları olan hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Bu durum toprak kalitesini düşürmektedir (Rahman & Thapa, 1999; Rahman, 2003; Ataseven, 2014; Muzari ve ark., 2012). Neticede, tarım sektörü, tarımsal verimliliği, gıda arzını, emtia fiyatlarını etkileyen ve nihayetinde ekonomik performansı zayıflatan sıcaklık, sel, yağmur gibi iklimsel unsurlardan olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca elverişli iklimlere bağlı olan tarım, bir emisyon kaynağıdır (Jebli & Youssef, 2017; Waheed ve ark., 2018; Ali ve Anufriev, 2020). Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre, 2030 yılına kadar tarım sektöründen kaynaklanan karbon emisyonlarının %80'e kadar azaltılabileceği öngörülmektedir.

Doran & Parkin (1994)'e göre toprak kalitesi, "biyolojik üretkenliğin sürekliliğini sağlamak, çevresel kaliteyi korumak ve artırmak, bitki ve hayvan sağlığını teşvik etmek için bir toprağın ekosistem sınırları içinde işlev görme kapasitesi" olarak ifade edilmektedir. Toprak fonksiyonları, toprak özelliklerinin bir sonucu olarak toprakta gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden kaynaklanmaktadır. Tarımsal uygulamalar, toprak özelliklerini değiştirerek hem toprak hem de su kaynaklarının bozulmasına yol açmaktadır (Harris & Bezdicek, 1994).

Tarım sürdürülebilirliği için enerji faktörü büyük önem arz etmektedir. Ülkelerin ekonomik, sosyal ve politik gelişmelerinin temel unsuru enerjidir. Enerji talebi ve tüketimi günümüzde sürekli artmaktadır. Bu yüzden enerjiden bağımsız sürdürülebilirlik imkânsızdır. Tarımda fosil yakıtların yaygın kullanımı, sürdürülebilirlik ve sağlıklı üretim için temiz enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması fosil yakıtların kullanımını azaltabilmektedir. Tarımsal faaliyetlerde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin ve verimli olarak yararlanılabilir (Çetin vd., 2023). Kaya ve Bostan Budak (2022), Kaya ve Bostan Budak (2023) tarımda ekim alanı ve işletme büyüklüğüne bağlı olarak enerji maliyetleri artmakta ve büyük işletmelerde yenilenebilir enerji kullanımını zorunlu kılarak fosil yakıt tüketimini azaltmayı teşvik etmektedir. Büyük işletmeler, yüksek enerji maliyetleri ve geniş arazi varlıkları sayesinde konu hakkında daha fazla bilgiye sahip olup, teknolojiyi daha etkin kullanabilmektedir.

Tarımda kullanılacak birçok yenilenebilir teknoloji bulunmaktadır. Bu teknolojiler, bazıları ticari olarak elde edilebilir ve bazıları ise gelecekte bir potansiyele sahip olduğundan, teknoloji gelişiminde farklı noktalardadır. Tarım sektörü için yenilenebilir teknolojiler ekonomik olarak çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Hayvancılık ve süt

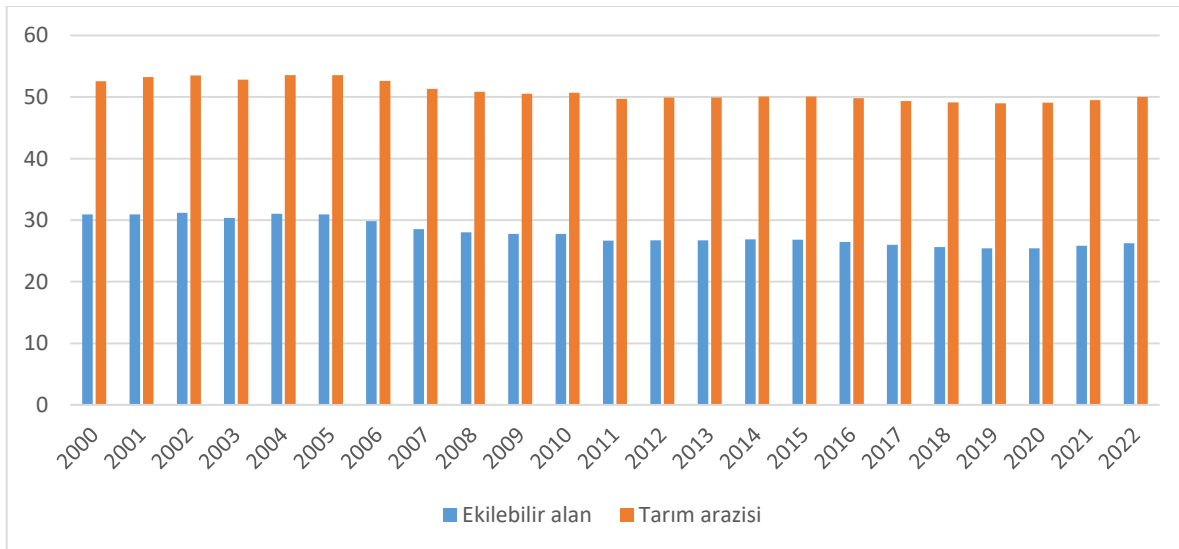
ürünleri ile ilgili hava ve su ısıtmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü ticari süt çiftlikleri, makineleri ve ilgili malzemeleri temizlemek için büyük miktarlarda sıcak su kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, seracılıkta aydınlatmada, ısıtmada tarım ürünlerinin kurutulmasında ve tarla sulamasında kullanılabilir. Ayrıca rüzgar enerjisi sistemleri su pompalamak, tahıl öğütme ve elektrik üretimi için tarıma hizmet edebilecek bir başka enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji teknolojileri, kaynağı sera işletmesinde sebzeler, çiçekler, süs bitkileri ve ağaç fideleri yetiştirilme süreçlerinde önemli ölçüde enerji sağlamaktadır. Bir diğer enerji kaynağı hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilen biyokütle enerjisi kaynağıdır. Biyokütle enerjisi kaynağı, enerji üreterek çiftliklerin elektrik ve ısı ihtiyacını karşılayabilmektedir (Fischer ve ark., 2006; Paramati ve ark., 2018; Salari ve ark., 2021).

Tarımsal faaliyetler birçok sosyoekonomik eksikliği giderdiği gibi, aynı zamanda karbon salınımı gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, tarım, çevre kirliliğini artırır mı? sorusundan hareketle Türkiye özelinde tarım ve çevre kirliliği ilişkisi, 1990-2021 dönemini kapsayan veriler ışığında Fourier ADL yaklaşımı ile araştırılarak teorik beklentilere cevap verilmesi hedeflenmiştir. Mevcut çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş kısmına yer verilmiş ve tarım ile çevre konusuna ilişkin teorik açıklamalar sunulmuştur. İkinci bölümde, tarım ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi inceleyen önceki literatür araştırmaları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde bulgular raporlanmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgular doğrultusunda sonuçlar tartışılmış ve politika önerileri sunulmuştur. Bu bağlamda, çalışmanın Türkiye özelinde literatüre önemli katkılar sağlaması hedeflenmektedir.

Türkiye’de Tarım ve Karbon Emisyonları

Ülkeler, gelişmişlik düzeyleri ne olursa olsun, sosyal yaşamın ve ekonomik yapının sürdürülebilirliği için sürekli olarak tarım sektörüne ihtiyaç duymaktadır. Tarım sektörü, Türkiye ekonomisinin temel bir bileşenidir. Türkiye kuru incir, fındık, çekirdeksiz kuru üzüm ve kuru kayısı üretiminde liderliğini sürdürerek küresel tarım sıralamasında önemli bir rol oynamaktadır. Dünyada tarım üreticisi sıralamasında ilk sıralarda yer almaktadır. Türkiye’de işgücünün yaklaşık %20’si tarım ve gıda sektöründe istihdam edilmektedir. Türkiye ekonomisine önemli katkı sağlayan tarım, yüksek mali katkısı nedeniyle Türkiye’yi bölgede önemli bir tarımsal ürün ihracatçısı konumuna getirmiştir (Taşkın & Vardar, 2016; Okumuş, 2020). Türkiye’nin ekonomisi büyüdükçe ve nüfusu arttıkça enerji talebi de artmaktadır. Bu enerji talebinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil kaynakların yaygınlaşması sera gazlarının yoğunluğunu artırmakta, sera gazlarının artması ise sera etkisine yol açarak dünyanın karbon depolama kapasitesini azaltmaktadır. Dolayısıyla bu durum atmosferin doğal dengesini bozmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmının fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları gibi alternatif enerji kaynaklarından elde edilmesi, karbon emisyon oranını azaltabilir (Karaca, 2013; Demir, 2021).

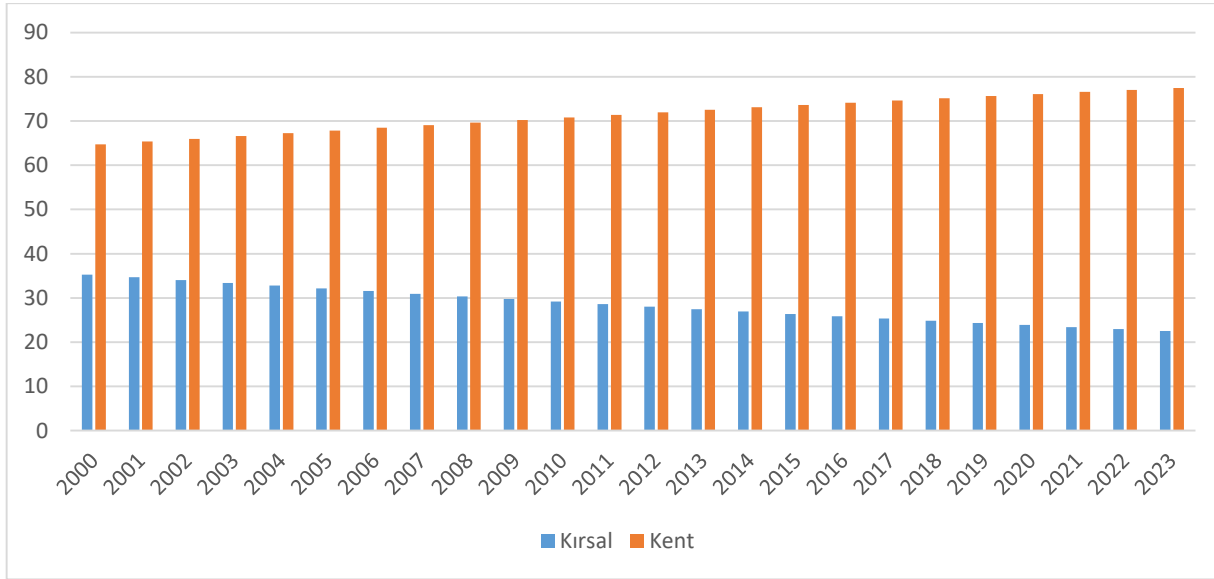
Türkiye coğrafi konumundan dolayı önemli miktarda verimli tarım arazisine sahip bir ülkedir. Ancak arazi miktarının yanı sıra bu verimliliğin ne ölçüde değerlendirilebildiği, birim alandan ne düzeyde istifade edilebildiği de önemlidir. Şekil 1’de Türkiye’de tarım alanı ve ekilebilir alan verilmiştir. 2000-2022 yılları arasında incelendiğinde, ekilebilir alanın azalış içinde olduğu görülmektedir. Bu durum ülke kalkınması ve artan nüfusun beslenmesi için gıda tedariki açısından olumsuzluk oluşturabilmektedir.



Şekil 1. Türkiye’de tarım arazisi ve ekilebilir alan (% , 2000-2022)

Figure 1. Agricultural land and arable area in Türkiye (% , 2000-2022)

Nüfus, her ülke için stratejik bir öneme sahiptir ve sürdürülebilir büyüme ile kalkınma sürecinde hem sosyolojik hem de ekonomik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Nüfus, genel olarak kentler ve kırsal bölgeler arasında dağılmaktadır. Kırsal alanlardaki nüfus, geçimini tarımsal faaliyetlerle sağlamakta ve aynı zamanda kent nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamaktadır. Şekil 2’de Türkiye’de kent ve kırsal nüfus dağılımı gösterilmiş olup 2000-2023 dönemi arasında kent nüfusu artarken kırsal nüfusun önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca, insanların kırdan kente göç ettiği ve tarımsal arazilerin cazibesini kaybettiği söylenebilir. Diğer taraftan, insanlar kentlerde eğitim, sağlık ve diğer temel ihtiyaçlara kolay ulaştığı için kırsal bölgelerden göç etmeyi tercih etmeleri söylenebilir. Ancak insanların kırsal bölgeleri terk etmeleri tarım sektöründe istihdam edilen insan sayısını azaltmaktadır. Bu durum zamanla tarım üretimini azaltarak bir gıda sorunu ortaya çıkarabilir. Kent nüfusunun artması ile altyapı, ulaşım, konu ve enerji ihtiyacı artarken; gürültü, hava kirliliği gibi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.



Şekil 2. Türkiye kent ve kırsal nüfus dağılımı (2000-2023)

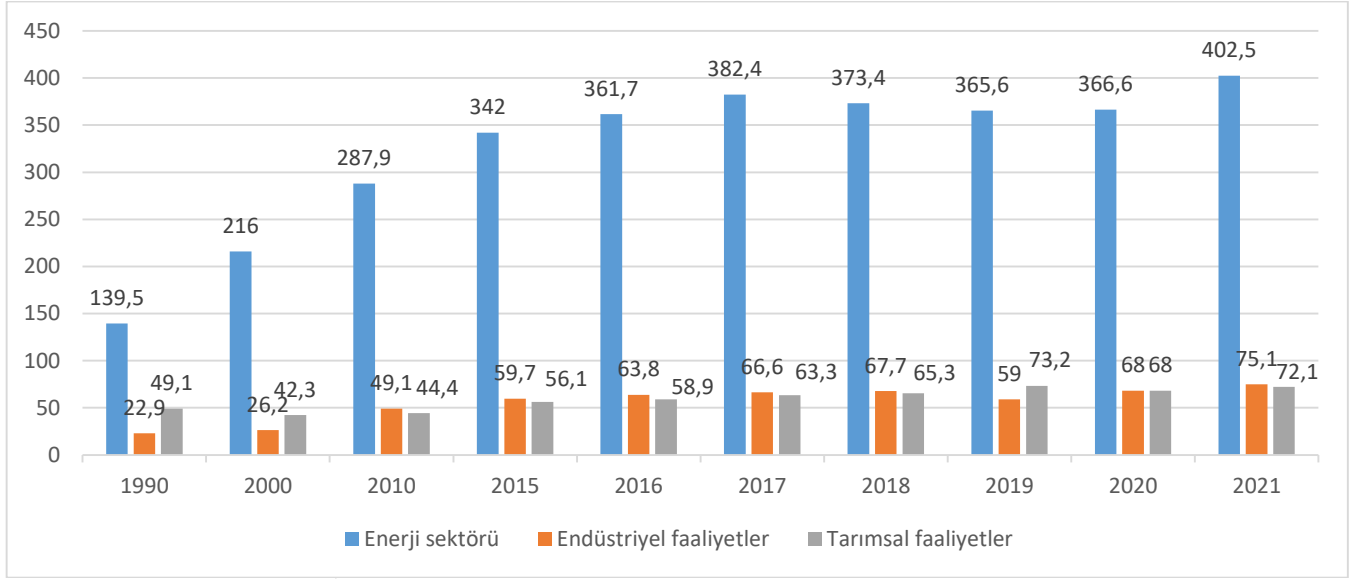
Figure 2. Urban and rural population distribution in Türkiye (2000-2023)

Şekil 3’te Türkiye’de yıllar itibarıyla, karbon emisyonlarının sektörel dağılımına bakıldığında, toplam emisyonlardaki artışın büyük oranda enerji üretim ve tüketiminden kaynaklandığı görülmektedir. Toplam karbon emisyonlarında 2021 yılında en büyük payı 71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla 13,3 ile endüstriyel faaliyetler, 12,8 ile tarımsal faaliyetler takip etmektedir. Enerji sektörü emisyonları 2020 yılında 402,5, karbon emisyonları 75,1, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar 72,1 olarak hesaplanmıştır. Tarım sektörü önemli bir karbon salınımı kaynağı olabilir. Ancak sektörel bazda tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan karbon emisyonlarının diğer sektörlerle göre daha düşük olduğu görülmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Enerji sürdürülebilir hayatın her aşamasında ihtiyaç duyulan girdi kaynağıdır. Türkiye’de iktisadi büyüme, sanayileşme ve nüfus artışı ile enerji ve doğal kaynaklara günden güne artış göstermektedir. Bütün sektörlerde enerjiye ihtiyaç duyulduğu gibi, tarım sektöründe de ciddi anlamda enerji kullanılmaktadır. Özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynakları tercih edilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte fosil yakıtlar yoğun kullanılmaktadır. Özellikle seracılık ve hayvancılık uygulamalarında endüstriyel anlamda işletmelerin sayısı giderek artmaktadır. Sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın sağlanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz) kullanımı azaltılmalıdır. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması esastır. Şekil 4’te tarımda kullanılan toplam enerjiden açığa çıkan karbon emisyonları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, karbon emisyonları miktarında yıllar içinde artış ve azalışlar görülmektedir. 1990 yılında en az karbon emisyonları açığa çıkarken, en fazla ise 2010 yılında gerçekleşmiştir. 2006 ile 2011 yılları arasında en fazla karbon salınımı meydana gelmiştir. Bu durum tarımsal faaliyetlerde fosil yakıtların çok kullanıldığını göstermektedir. 2013 yılından sonra tarımsal enerji kullanımından meydana gelen karbon emisyonları sürekli artış göstermiştir.

Tarımsal alanlarda küresel ısınmayı etkileyen bir diğer unsur hayvansal üretim faaliyetleridir. Şekil 5’te Türkiye’de tüm hayvan faaliyetlerinde açığa çıkan karbon emisyonları gösterilmiştir. 1991 ile 2008 yılları arasında artış ve azalışlar meydana gelmiş olsa da, 2008 yılından sonra açığa çıkan karbon emisyonlarının sürekli

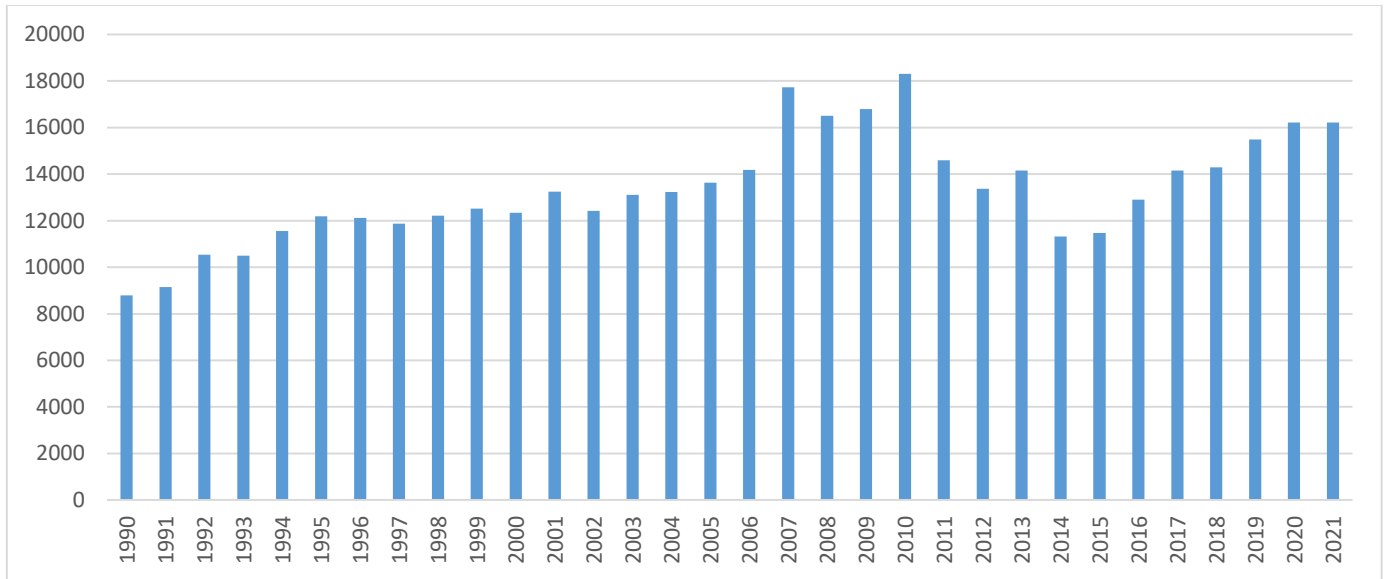
bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum insan ve piyasanın ihtiyacını karşılamak için hayvancılık faaliyetlerine önem verildiğini göstermektedir. Diğer taraftan, açığa çıkan karbon emisyonlarının çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir.



Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024

Şekil 3. Sektörlere göre toplam karbon emisyon dağılımı

Figure 3. Total carbon emission distribution by sector

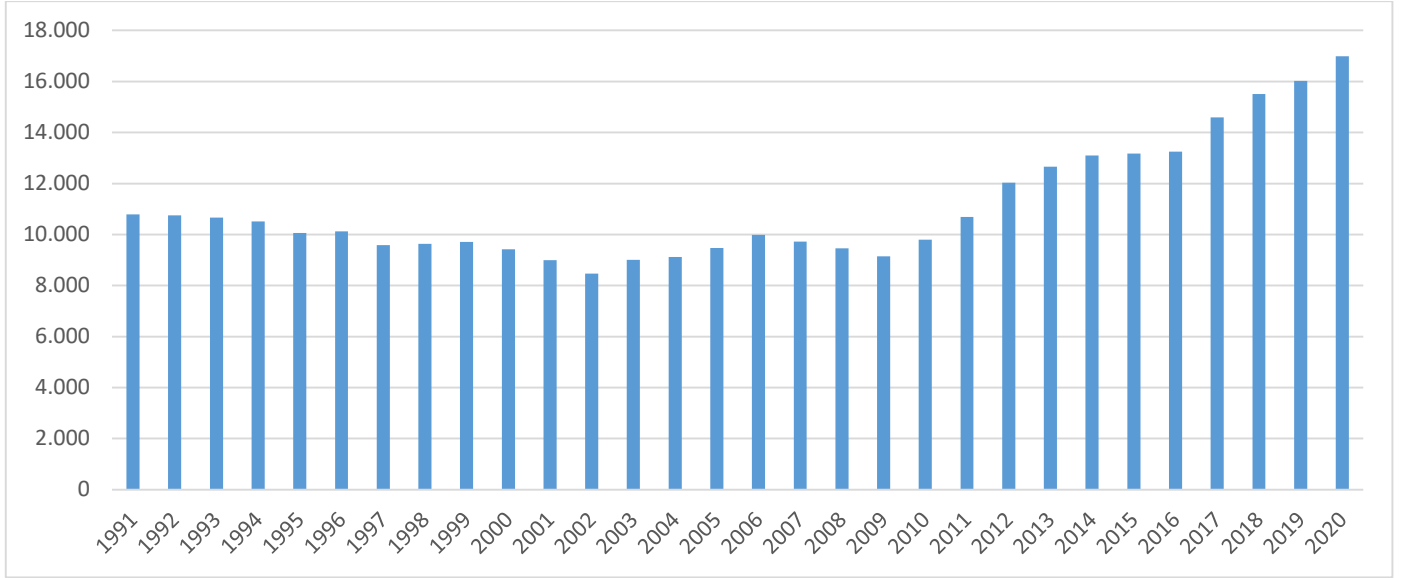


Kaynak. Food and Agriculture Organization, 2024

Şekil 4. Türkiye’de tarımda kullanılan toplam enerjiden açığa çıkan karbon emisyonları (CO₂, 1990-2021)

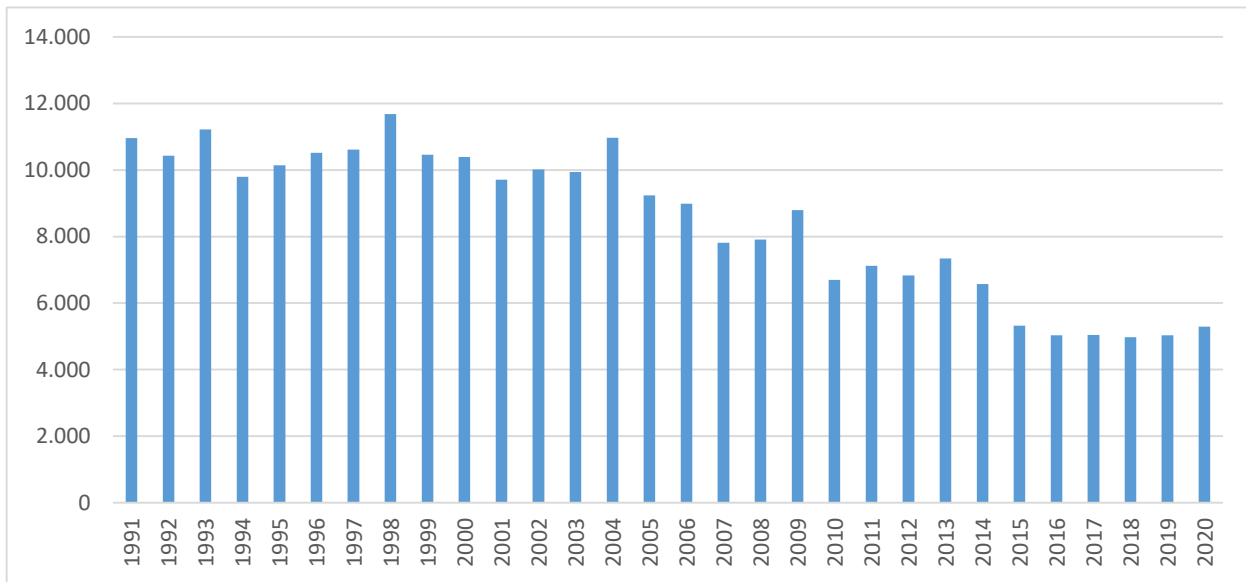
Figure 4: Carbon emissions from total energy used in agriculture in Türkiye (CO₂, 1990-2021)

Bitkisel üretiminde genel olarak traktör, biçerdöver ve diğer tarımsal teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin fosil yakıt ihtiyacı fosil enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Bu yüzden bitkisel faaliyetlerinin yapılması karbon emisyonlarını açığa çıkarmaktadır. Şekil 6’da Türkiye’de bitkisel faaliyetlerden açığa çıkan karbon emisyonları gösterilmiştir. Yıllar içinde açığa çıkan karbon emisyon miktarında artış ve azalışlar meydana gelmektedir. Ancak genel olarak bir azalış eğilimi göstermektedir. Bu durum, tarımsal faaliyetlerde ve mahsul miktarında azalışların olduğu ya da insanların tarım sektöründe çalışmak ve üretim sağlamak yerine kentlere göç ederek emeklerini arz ettikleri söylenebilir. Diğer taraftan, tarımsal faaliyetlerde fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı ve bu yüzden karbon emisyonlarının miktarında azalışların olduğu düşünülebilir.



Kaynak: FAO, 2024

Şekil 5. Türkiye’de hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan toplam karbon emisyonları (CO₂, 1991-2020)
Figure 5. Carbon emissions from all animal activities in Türkiye (CO₂, 1991-2020)



Kaynak: Food and Agriculture Organization, 2024

Şekil 6. Türkiye’de bitkisel üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonları (CO₂, 1991-2020)
Figure 6. Carbon emissions from crop activities in Türkiye (CO₂, 1991-2020)

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, tarım ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi inceleyen daha önce yapılmış ampirik ve teorik çalışmalara yer verilmiştir. Örneğin; Liu ve ark., (2017) çalışmalarında, ASEAN ülkeleri için 1970-2013 yıllarını kapsayan dönem için yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketiminin, GSYH'nin, GSYH'nin karesinin ve tarımsal katma değer CO₂ emisyonuna etkisini analiz etmişlerdir. Analiz sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimi ve tarımsal katma değer karbon emisyonunu azaltmaktadır. Jebli ve Youssef (2017), Kuzey Afrika ülkelerinde tarım sektörünün, yenilenebilir enerji tüketiminin ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonuna etkisini, 1980-2011 periyodu için test ettikleri çalışmalarında, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme karbon emisyonunu artırırken, tarım karbon emisyonunu azaltmaktadır. Çin için tarımsal ekosistemin çevre kirliliği üzerindeki etkisini inceleyen Hongdou ve ark., (2018) çalışmalarında eşbütünleşme ve Granger nedensellik testine başvurmuşlardır. Bulgular, kimyasal gübre kullanımı, hayvan sayısı, çeltik alanı, tahıl üretimi ve karbon emisyonları arasında uzun dönem ilişkisi olduğunu göstermektedir. 1970-2014 dönemi için Ürdün özelinde tarımsal faaliyetler ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi ele alan Ismael ve ark., (2018) çalışmalarında eşbütünleşme ve nedensellik testleri

kullanmışlardır. Uzun dönemde değişkenlerin eşbütünleşme olduğu bulunmuştur. Nedensellik test sonuçlarına göre, traktör sayısı, tarımsal sübvansiyonlar ve gübre kullanımından karbon emisyonlarına doğru tek ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasında çift yönlü nedenselliğin varlığı bulunmuştur. 1971-2013 dönemi için Hindistan'da karbon emisyonları, enerji tüketimi, tarım katma değeri, ticaret serbestleşmesi ve finansal gelişme arasındaki bağı kısa ve uzun dönem için araştıran Ghosh (2018) çalışmasında model tahmini için ARDL Granger nedensellik testlerine başvurmuştur. Bulgular, değişkenlerin uzun dönemde eşbütünleşik olduğunu göstermektedir. Kısa dönem Granger nedensellik testine göre, tarımsal katma değer ve karbon emisyonları arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur. Uzun dönemde ise tarımsal katma değer karbon emisyonlarını etkilediği tespit edilmiştir. Waheed ve ark. (2018) çalışmasında yenilenebilir enerji tüketimi, tarım üretimi, ormanlık alan ve CO2 emisyonu ilişkisi, 1990-2014 yıllarını kapsayan dönem için Pakistan için açıklanmaya çalışılmış ve yenilenebilir enerji tüketimi ve ormanlık alanın emisyonu azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Tarımsal üretiminin istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Nijerya'da tarım ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen Agboola & Bekun (2019) çalışmalarında 1981-2014 dönemine ait zaman serilerini kullanmışlardır. Elde edilen bulgulara göre, tarımsal üretkenliğin karbon emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Burakov (2019) çalışmasında Rusya için 1990-2016 dönemini kapsayan zaman serilerini kullanmıştır. Modelde ARDL yaklaşımı kullanılmıştır. Bulgulara göre Rusya'da tarımın çevre kirliliğini artırdığı tespit edilmiştir. Tarımsal üretim ve tarımsal enerjinin çevre kirliliği üzerindeki etkisini GANA için araştıran Ali ve ark., (2020) çalışmalarında 1975-2014 dönemi için zaman serilerini ve ARDL yaklaşımını kullanmışlardır. Ampirik bulgulara göre, uzun dönemde bitkisel ve hayvansal üretim çevre kirliliğini artırdığı tespit edilmiştir. Granger nedensellik testine göre, bitkisel ve hayvansal üretim endeksi ve tarım kaynaklı enerji tüketimi ile çevre kirliliği arasında çift yönlü nedenselliğin olduğu bulunmuştur. 1990-2016 dönemi için Çin'de bitkisel üretim, hayvancılık üretimi, tarımda güç tüketimi, orman alanı ve karbondioksit (CO2) emisyonları arasındaki dinamik ilişkiyi araştıran Chandio ve ark., (2020) çalışmalarında model tahmini için ARDL ve FMOLS testlerine başvurmuşlardır. Bulgular, değişkenler arasında uzun dönem ilişkinin olduğunu göstermiştir. Uzun ve kısa dönemde bitkisel üretimin yanı sıra hayvancılık üretiminin de karbon emisyonlarını artırdığı tespit edilmiştir. Raihan & Tuspekova (2022) çalışmalarında Nepal için ekonomik büyümenin, fosil yakıtların, yenilenebilir enerjinin ve tarımsal üretkenliğin çevre kirliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Model tahmini için ARDL yaklaşımı kullanılmıştır. Uzun dönemde değişkenler arasında eşbütünleşmenin olduğu kanıtına ulaşılmıştır. Kısa ve uzun vadede tarımsal üretkenliğin karbon emisyonlarını etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Diğer bir bulguya göre, yenilenebilir enerji tüketimindeki artış karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Raihan (2023), Vietnam için yaptığı çalışmasında tarım sektöründeki tarımsal katma değerdeki artışların uzun ve kısa vadede CO2 emisyonlarını azaltarak çevre kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağladığını tespit etmiştir. Raihan ve ark., (2024) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan ekonomisi ele alınmıştır. Modelde 1965-2022 dönemine ait zaman serileri kullanılarak tarım, yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, ARDL yaklaşımı kullanılmış ve değişkenler arasında eşbütünleşme bulunmuştur. Uzun dönem bulgularına göre, tarımsal verimlilikte %1'lik bir artış karbon emisyonlarını %0,42'lik bir artışa neden olmaktadır. Nesirov ve ark., (2024) çalışmalarında GUAM Birliği ülkelerini ele almışlardır. Modelde tarım katma değeri, orman alanı ve yenilenebilir enerjinin karbon emisyonları üzerindeki etkileri 1996-2019 dönemi için araştırılmıştır. Bulgulara göre, tarım katma değeri, orman alanları ve karbon emisyonları arasında negatif bir ilişkinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Başka bir bulguya göre yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azalttığı kanıtına rastlanmıştır.

VERİ SETİ VE METODOLOJİ

Bu çalışma, Türkiye'de tarım sektörü ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Fourier ADL eşbütünleşme yaklaşımını kullanarak önemli bir konuya odaklanmaktadır. Tahmin modelinde tarımsal katma değer, çevre kirliliği ve yenilenebilir enerji tüketimi değişkenleri kullanılmıştır. Değişkenlerin yönü Granger nedensellik testi ile analiz edilmiştir. Açıklayıcı değişken olarak tarımsal katma değer (TARIM) ve yenilenebilir enerji (REN) kullanılmıştır. Ancak daha önce yapılan çalışmalara dayanarak bu değişkenler tercih edilmiştir. Ayrıca çevre kirliliği çalışmalarında en az bir enerji değişkeninin kullanılması bulguların güvenilirliği ve yorumlanması için önem arz etmektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji serisi modele dahil edilmiştir. Çevre kirliliğini karbon emisyonları (CO2) temsil etmektedir. Tüm değişkenler Dünya Bankası (WB, 2024) veritabanından elde edilmiştir. Sonuçların güvenilirliğini artırmak ve heterojenliği azaltmak için tahminlerde değişkenlerin logaritmik değerleri kullanılmıştır. Zaman serileri 1990-2021 yılları arasında en güncel hâliyle modele dahil edilmiştir. Teorik beklentilere göre tarımın çevre kirliliğini artırdığı yönündedir. Tahmin modeli, denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\ln CO_2 = \beta_0 + \beta_1 \ln TARIM_{it} + \beta_2 \ln REN_{it} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Böylece, ln logaritmik değeri ifade etmektedir. Bazen değişkenlerin ham verileri belli bir eğriyi takip

etmemektedir. Bu yüzden değişkenler normal ve doğrusal hale getirilmek için logaritması alınarak tahmin edilmektedir. β_0 , sabit değeri, β_1 ve β_2 değişkenlerin tahmini katsayılarını temsil etmektedir. ε_i ise hata terimi olarak adlandırılmaktadır. Bir modelin öngördüğü ile gerçekte olan arasındaki farkı göstermektedir. Modele dahil edilmeyen diğer tüm değişkenleri temsil etmektedir.

Çalışmada değişkenlerin uzun dönemli ilişkilerinin incelenbilmesi için öncelikle serilerin durağanlık düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, geleneksel Augmented Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips ve Perron birim kök testleri uygulanmıştır. Söz konusu testler, serilerin bütünleşme derecesini ortaya koyarak eşbütünleşme analizinin ön koşulunu sağlamaktadır. Bununla birlikte, geleneksel birim kök testlerinin temel sınırlılığı, serilerdeki olası yapısal kırılmaları göz ardı etmeleridir. Verilerde yapısal kırılmaların bulunması durumunda, bu testler yanıltıcı ve belirsiz sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle çalışmada, Zivot-Andrews (1992) testi de kullanılmıştır. Bu test, tek bir endojen yapısal kırılmayı dikkate alarak serilerin durağanlık özelliklerini daha güvenilir bir biçimde ortaya koymaktadır. Eşbütünleşme analizine geçildiğinde, sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla Banerjee ve ark., (2017) tarafından literatüre kazandırılan Fourier yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yöntem, modele sinüs (sin) ve kosinüs (cos) terimlerini ekleyerek, serilerdeki olası yapısal kırılmaları esnek bir biçimde yakalayabilmektedir. Böylece, zamana yayılmış ve farklı biçimlerde ortaya çıkan kırılmalar modelde temsil edilebilmektedir. Fourier yaklaşımı, geleneksel testlere kıyasla yapısal dönüşümlerin daha gerçekçi şekilde modele dâhil edilmesini sağladığından çalışmada tercih edilmiştir (Karlılar & Emir, 2023). Banerjee ve ark., (2017) tarafından geliştirilen model eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$\Delta y_{t-1} = \rho y_{t-1} + \beta_1 + \beta_2 trendu_t \quad (2)$$

Model 2'de görüldüğü gibi geleneksel ADF birim kök testinde yapısal kırılmanın olmadığı şeklindedir. Fourier ADL yaklaşımı trigonometrik değerler olan sinüs(sin) ve cosinüs(cos) fonksiyonlarının eklenmesiyle revize edilmiştir. Denklem eşitlik 3'te gösterilmiştir.

$$\Delta y_{t-1} = \rho y_{t-1} + \beta_1 + \beta_2 trendu_t + \beta_3 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_4 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_i \quad (3)$$

Model 3'te k, tek bir frekansı, t, zaman, T gözlem sayısını temsil etmektedir. Bu doğrultuda test için Minimum Hata Kareler Toplamı (MinSSR)'nin sahip olduğu frekans değerlerini tespit etmek uygun olacaktır. Dolayısıyla k frekans değerinin tespit edilmesi için tahminler yapılmaktadır. Elde edilen istatistik değer tablosunda test istatistiği kritik değerden büyükse, değişkenlerin uzun dönemde eşbütünleşik olduğu sonucuna varılmaktadır. Tahmin edilecek model, Model 4'te gösterilmiştir.

$$\Delta y_{t-1} = \beta_0 + \beta_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_3 \Delta y_{t-1} + \beta_4 \Delta X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_5 \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \beta_6 \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (4)$$

$H_0: \beta_3=0$ değişkenler arasında eşbütünleşme yoktur. $H_{alternatif}: \beta_3 < 0$ ise değişkenler arasında eşbütünleşme olduğunu ifade etmektedir.

BULGULAR

Çizelge 1'de değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ve korelasyon matris değerleri gösterilmiştir. Çizelge 1'de Panel A değerlendirildiğinde karbon emisyonlarının (lnCO2) ortalama değeri 2.420'dir. Bu sonuç maksimum ve minimum değerler olan 2.414 ile 2.183 arasında kalmaktadır. Karbon emisyonlarının (lnCO2) ortalama değeri (2.420) standart sapma değeri (0.150) değerinin üzerinde seyretmektedir. Ayrıca LnTARIM ve lnREN ortalama değerleri sırasıyla 0.970 ve 1.208 olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan Jarque-Bera değeri normal dağılım göstermiş ve karbon emisyonları hariç diğer değişkenlerin pozitif çarpık olduğu bulunmuştur.

Panel B değişkenlerin korelasyon matris değerini göstermektedir. Genel olarak değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisi -1 ile 1 arasında değerlendirilmektedir. Bu durum değişkenler arasında zayıf ve güçlü bir ilişkiyi göstermektedir. Değişkenlerin matris katsayıları -1 değerine yaklaşması zayıf, 1 değerine yaklaşması ise güçlü bir bağın olduğunu ifade etmektedir.

Durağanlık analizi, eşbütünleşme testi için bir ön koşul oluşturmaktadır. Değişkenlerin durağan olup olmadığını belirlemek için ADF ve PP birim kök testlerinden yararlanılmıştır. Akaike Bilgi Kriteri (AIC) bu testler için en uygun gecikme uzunluğunu belirlemek için kullanılmıştır. Çizelge 2'de birim kök test sonuçları gösterilmiştir. Sonuç olarak, modele dahil edilen tüm değişkenlerin birinci mertebede durağan oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca yapısal kırılmaları tespit eden Zivot-Andrews testi de yapılmış ve değişkenlerin kırılma tarihleri gösterilmiştir. Bu sonuçlar Fourier ADL eşbütünleşme testinin uygulanabilmesi için ön şartını oluşturmaktadır.

Çizelge 1. Tanımlayıcı ve korelasyon matris değerler

Table 1. Descriptive and correlation matrix values

PANEL A	lnCO2	lnTARIM	lnREN
Ortalama	2.420	0.970	1.208
Medyan	2.414	0.948	1.168
Maximum	2.663	1.242	1.387
Minimum	2.183	0.743	1.056
Standart sapma	0.150	0.154	0.111
Çarpıklık	-0.007	0.383	0.340
Basıklık	1.732	1.852	1.642
Jarque-Bera	2.142	2.540	3.074
Olasılık	0.342	0.280	0.214
Gözlem	32	32	32
PANEL B	Korelasyon Matris Değerleri		
lnCO2	1	-0.946	-0.939
lnTARIM	-0.946	1	0.944
lnREN	-0.939	0.944	1

Çizelge 2. Birim kök test sonuçları

Table 2. Root test results

	ADF		PP		Zivot-Andrews	Kırılma tarihi	Kırılma tarihi	
	Level	(1)	Level	(1)	Level	-	(1)	-
lnCO2	-1.173	-5.993***	0.341	-11.773***	-3.596	2003	-4.840***	2006
lnTARIM	-1.064	-2.458***	-1.040	-5.060***	-2.968	1999	-4.102***	2002
lnREN	-1.619	-6.436***	-1.170	-2.290***	-1.923	2010	-3.788***	2015

Not: *** simgesi değişkenlerin %1 kritik değerde durağan olduğunu göstermektedir.

İkinci adım olarak, değişkenlerin uzun dönemde eşbütünlük olup olmadığını belirlemek için Fourier ADL eşbütünlük testi kullanılmıştır. Ayrıca bu durum, Fourier ADL test sonuçları ARDL Bounds testi yapılarak doğrulanmıştır. Bulgular, uzun dönemde değişkenler arasında eşbütünlüğün olduğunu göstermektedir. Çizelge 3'te eşbütünlük sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 3. Fourier ADL eşbütünlük testi

Table 3. Fourier ADL cointegration test

Panel A:		Fourier ADL Eşbütünlük						
Eşbütünlük	Frekans(k)	Test istatistiği				AIC		
	1	-5.468				-4.445		
Panel B: Sınır test sonuçları								
		%1		%5		%10		
Test ist.		(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	
Eşbütünlük	1	6.337	2.63	3.35	3.1	3.87	3.55	4.38

Not: (0), alt sınır; (1) üst sınırı ifade etmektedir.

Bağımsız değişkenler olan tarım ve yenilenebilir enerji, bağımlı değişken olan karbon emisyonları (CO₂) üzerindeki anlamlılığını ve büyüklüğünü uzun dönemde test etmek için FMOLS yaklaşımına baş vurulmuştur. FMOLS test sonuçları Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. FMOLS test sonuçları (Bağımlı değişken: lnCO₂)

Table 4. FMOLS test results (Dependent variable: lnCO₂)

Değişkenler	Katsayılar	Std hata	t-istatistiği	Olasılık
lnTARIM	0.359077	0.110565	3.247665	0.0037
lnREN	-0.338857	0.116571	-2.906882	0.0082
C	2.192304	0.143362	15.29207	0.0000

Çizelge 4 değerlendirildiğinde, tarım ve yenilenebilir enerji değişkenleri karbon emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmaktadır. Uzun dönemde tarımda meydana gelebilecek %1'lik artış karbon emisyonlarını 0.36 oranında artırmaktadır. Bu sonuç doğrultusunda tarım ve tarım faaliyetlerinin önemli bir karbon emisyonu kaynağı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik bir artışın karbon emisyonlarını -0.34 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Granger Nedensellik Testi

Granger nedensellik testi, zaman serisi analizlerinde kullanılan ve bir değişkenin geçmiş değerlerinin başka bir değişkenin mevcut veya gelecekteki değerlerini öngörme gücüne sahip olup olmadığını inceleyen istatistiksel bir yöntemdir. Granger testi, mutlak anlamda "nedensellik" ortaya koymamaktadır. Sadece öngörü gücüne dayanarak tahminde bulunmaktadır. Ekonomi literatürüne Granger (1969) tarafından kazandırılmıştır. Çizelge 5'te değişkenlerin Granger testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5: Granger Nedensellik Testi Sonuçları

Table 5: Granger Causality Test Results

Panel A	Hipotezler	Gözlem	F-ist.	Olasılık
	TARIM, CO ₂ 'nin Granger nedeni değildir.	31	3.62422	0.0673
	CO ₂ , TARIM'ın Granger nedeni değildir.		0.92409	0.3446
Panel B				
	REN, CO ₂ 'nin Granger nedeni değildir.	31	8.30031	0.0075
	CO ₂ , REN'in Granger nedeni değildir.		8.33867	0.0074
Panel C				
	REN, TARIM'ın Granger nedeni değildir.	31	2.18589	0.1504
	TARIM, REN'in Granger nedeni değildir.		0.00038	0.9846

Panel A değerlendirildiğinde, tarımdan karbon emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik söz konusudur. %10 anlamlılık düzeyinde bu ilişki istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir. Bu bulgu, tarımsal faaliyetlerin özellikle fosil yakıt temelli enerji kullanımı, gübreleme, sulama ve mekanizasyon gibi süreçler aracılığıyla karbon emisyonlarını etkilediği söylenebilir. Buna karşılık, karbon emisyonlarından tarıma doğru herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilmemiştir.

Panel B incelendiğinde, yenilenebilir enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yenilenebilir enerji tüketimindeki değişimler karbon emisyonlarının gelecekteki seyrini etkilemektedir; aynı şekilde karbon emisyonlarındaki değişimler de yenilenebilir enerji tüketim düzeyini etkilemektedir. Bu bulgu, enerji-ekoloji literatüründe yer alan çalışmalarla uyumlu olduğu söylenebilir. Yenilenebilir enerji tüketiminin artışı, fosil yakıt bağımlılığını azaltarak karbon emisyonlarını düşürme potansiyeline sahipken, karbon emisyonlarındaki artış ise çevresel baskıların artmasına ve bunun sonucunda politika yapımcıların yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamaktadır.

Panel C değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji ile tarım sektörü arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Bu durum, incelenen dönemde tarım sektörü ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişkilerin nedensellik bağlamında istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, tarım sektöründe kullanılan enerji kaynaklarının halen büyük ölçüde fosil yakıtlara dayalı olması, yenilenebilir enerji ile anlamlı bir bağın kurulmasını engellemiş olabilir. Ayrıca tarım sektöründe kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının incelenen dönemde istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmadığı söylenebilir.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Tarım sektörü, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin tarihsel büyüme ve kalkınma süreçlerinde temel bir rol oynamaktadır. 1900'li yıllardan itibaren birçok teknolojik ve yapısal gelişmeye sahne olan tarım, hem beslenme güvenliği hem de rekabet gücü açısından ülkeler için kritik öneme sahiptir. Ancak doğal afetler, iklim değişikliği ve küresel ısınma nedeniyle tarım alanlarının azalması ve üretim verimliliğinin etkilenmesi beklenmektedir. İnsan faaliyetleri, doğal kaynakların hızla tükenmesine ve atmosferik değişimlere neden olarak tarım sektörünü iklim değişimlerine karşı hassas hâle getirmektedir. Türkiye'de tarım sektöründe önemli ölçüde kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı enerji kullanılmakta; bu da büyük miktarlarda karbon salımına neden olmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'de tarım ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi 1990–2021 dönemi verileri üzerinden Fourier ADL eşbütünleşme testi ile incelemektedir. Modelde karbon emisyonları, tarım (tarımsal katma değer) ve yenilenebilir enerji değişkenleri kullanılmıştır. Başlangıçta değişkenlerin durağanlık analizi ADF, PP ve Zivot-

Andrews birim kök testleri ile yapılmış birinci farkında durağan oldukları bulunmuştur. İkinci adımda değişkenlerin uzun dönemde eşbütünleşmesi Fourier ADL ile incelenmiş, değişkenlerin uzun dönemde eşbütünleşik olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, uzun dönemde değişkenlerin katsayısı FMOLS yaklaşımı ile araştırılmıştır. FMOLS sonuçları, tarımda meydana gelebilecek %1'lik artışın karbon salımını yaklaşık %36 oranında artırırken, yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelecek %1'lik bir artışın ise karbon salımını yaklaşık %34 oranında azaltabileceğini öngörmektedir. Bu bulgular, Türkiye'de tarım sektörünün önemli bir karbon kaynağı olduğunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli olduğunu göstermektedir. Granger nedensellik sonuçlarına göre, tarımdan karbon emisyonlarına doğru tek yönlü; yenilenebilir enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji ile tarım sektörü arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir.

Böylece, tarım sektöründe çevresel kirliliği azaltmak amacıyla fosil yakıtlar yerine daha temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmelidir. Bu doğrultuda, kamu ve özel sektörlerin iş birliği ile temiz enerji teknolojilerine yatırım yapılması gerekmektedir. Tarım araçlarına (traktör, biçerdöver vb.) güneş enerjisi panellerinin entegre edilmesi, fosil yakıt tüketimini ve dolayısıyla karbon salınımını azaltabilir. Hayvan barınaklarının soğutulması, ısıtılması ve elektrik üretimi için fan-ped sistemleri kurulabilir. Sulama sistemlerinde uygun rüzgar enerjisi teknolojileri kullanılarak su pompalanabilir. Aynı şekilde, sera işletmelerinde sebze, çiçek, süs bitkileri ve ağaç fidesi yetiştirmek için jeotermal enerji teknolojileriyle yeraltı sıcak suyu depolanıp soğutulmuş olarak kullanılabilir. Biyokütle enerjisi, hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilerek hem konutlarda hem de elektrik üretiminde kullanılabilir. Bu tür temiz teknoloji ve yenilikler için araştırma merkezleri geliştirilmesi ve yeni projelerin üretilmesi önemlidir. Ayrıca, düşük gübreli veya gübresiz tarım uygulamalarından kaynaklanan karbon emisyonları sosyal fayda açısından sübvansane edilebilir. Diğer taraftan, nitelikli tarım arazilerinin korunması için yasal düzenlemeler getirilmelidir. Son olarak, bireyler ve çiftçiler bilinçlendirilerek iyi tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi sağlanmalıdır.

Her çalışmanın kısıtları olduğu gibi bu çalışmanın da kısıtları bulunmaktadır. Bu çalışma sonraki çalışmalara ışık tutacaktır. Her çalışma özgün olmakla birlikte uygulanan yöntem, çalışma bölgeleri, veri seti aralığı, değişkenler ve bölgelerin ekonomik yapısı çalışmaların sonuçlarını değiştirebilir. Mevcut çalışmada sadece Türkiye özelinde araştırma yapılmıştır. Böylece ülke sayıları artırılabilir. Ülke grupları modele dahil edilerek analizler yapılabilir. Diğer taraftan daha farklı analiz teknikleri uygulanabilir. Değişken sayıları ve çeşitliliği artırılabilir. Farklı aralıktaki veri setleri modele dahil edilebilir. Böylece elde edilen sonuçlar ile farklı politika önerileri yapılabilir.

Mevcut çalışmanın sonuçları literatürde daha önce yapılan çalışmalarının sonuçları ile kıyaslandığında ortak bir fikir birliği sağlanamadığı görülmektedir. Hongdou ve ark., (2018), Ismael ve ark., (2018), Ghosh (2018), Agboola & Bekun (2019), Burakov (2019), Ali ve ark., (2020), Chandio ve ark., (2020), Raihan & Tuspekova (2022), Rahman ve ark., (2024), Nesirov ve ark., (2024) gibi yazarların yaptıkları çalışmaların sonuçları, mevcut çalışmanın sonuçlarını desteklerken; Liu ve ark., (2017), Jebli ve Youssef (2017), Waheed ve ark. (2018), Raihan (2023) gibi yazarların çalışmalarını desteklememektedir. Literatürdeki çalışmaların sonuçlarının farklılık göstermesi yazarların çalışma alanları, kullandıkları ekonometrik yöntem, veri seti aralığının geniş ve dar olması ve farklı değişkenler gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Diğer taraftan ülkelerin tarım sektöründe kullandıkları yenilikçi ve düşük karbonlu enerji teknolojileri karbon emisyonlarını azaltabilir. Tarımsal katma değer ve karbon emisyonları arasındaki ilişki ülkeye, bölgeye ve çalışma yöntemine göre değişebilmektedir. Bu yüzden, karbon emisyonlarının tek kaynağının tarımsal katma değer olmadığı birçok faktöründe etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca karbon emisyonlarının çok fazla açığa çıkması sanayi ve enerji sektöründe kaynaklanabilmektedir. Böylece tarım sektörünün ortaya çıkardığı karbon emisyonu diğer sektörler için daha düşük kalmaktadır. Ancak buna rağmen çevre kirliliğini etkilemektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Dr. Servet KAPÇAK çalışmayı tasarlamış, verileri toplamış, dil açısından incelemiş ve uygulamasını gerçekleştirerek çalışmaya %100 katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR

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, 27660-27676. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05943-z>

- Ali, E.B., Anufriev, V.P. (2020). The causal relationship between agricultural production, economic growth, and energy consumption in Ghana. *R-Economy*, 6(4), 231-241.
- Ataseven, Y. (2014). Türkiye’de tarımsal çevre politikaları: Mevcut durum ve beklentiler. *MKU Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 56-71.
- Banerjee, P., Arčabić, V., & Lee, H. (2017). Fourier ADL cointegration test to approximate smooth breaks with new evidence from crude oil market. *Economic Modelling*, 67, 114-124.
- Bilal, M., & Jaghdani, T. J. (2024). Barriers to the adoption of multiple agricultural innovations: Insights from Bt cotton, wheat seeds, herbicides and no-tillage in Pakistan. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1), 2318934.
- 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/10.7160/aol.2019.110303>
- Can, A., & Çetin, M. (2024). Çin ve Hindistan ekonomilerinde yenilenebilir enerji kullanımı-çevresel bozulma ilişkisi: Bir Bootstrap eşbütünleşme analizi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26(2), 581-596.
- Çetin, M., Kapçak, S., & Can, A. (2023). Türkiye ekonomisinde tarımsal enerji tüketimi-ekonomik büyüme ilişkisi: Bir Saklı Eşbütünleşme Analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 605-619.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı (2024). <https://cygm.csb.gov.tr/dongusel-ekonomi-ve-atik-yonetimi-dairesi-baskanligi-i-85475>
- Chandio, A.A., Akram, W., Ahmad, F. & Ahmad, M. (2020). Dynamic relationship among agriculture-energy-forestry and carbon dioxide (CO₂) emissions: Empirical evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27), 34078-34089
- Demir, Y. (2021). Analyzing the effect of employment in the agricultural and industrial sectors on economic growth with the ARDL bounds test. *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, XI(1), 178-192. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5136851>
- Doran, J.W., & Parkin, T. B. (1994). Soil quality and sustainability. Paper presented to commission V Inventory. In: Proceedings of the XXVI Brazilian Congress of Soil Science on Genesis, Morphology, and Classification of Soils, 20–26 July 1997, Rio de Janeiro, Brazil, Palestra 5, 28 pp.
- Dünya Bankası (2024). World development indicators, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>. 02.02.2024
- Food and Agriculture Organization (2024). <https://www.fao.org/member-countries/en/> erişim Tarihi: 25.5.2025
- Ghimire, R., & Huang, W. C. (2016). Adoption pattern and welfare impact of agricultural technology: empirical evidence from rice farmers in Nepal. *Journal of South Asian Development*, 11(1), 113-137.
- Ghosh, S. (2018). Carbon dioxide emissions, energy consumption in agriculture: a causality analysis for India. *Arthaniti: Journal of Economic Theory and Practice*, 17(2), 183-207.
- Gökmenoğlu, K.K, Taşpınar, N. (2018). Testing the agriculture-induced EKC hypothesis: the case of Pakistan. *Environ Sci Pollut Res*. 25(23), 22829-22841. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2330-6>
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438.
- Harris, R.F., Bezdicek, D.F., (1994). Descriptive aspects of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Special Publication no. 35. Soil Sci. Soc. Am. SSSA, Madison, WI, USA, pp. 23–36.
- Hongdou, L., Shiping, L., Hao, L. (2018). Existing agricultural ecosystem in China leads to environmental pollution: an econometric approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 24488-24499.
- Ismael, M., Srouji, F., Boutabba, M. A. (2018). Agricultural technologies and carbon emissions: evidence from Jordanian economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11), 10867-10877
- Javid, M., Sharif, F. (2016). Environmental Kuznets curve and financial development in Pakistan. *Renewable Sustainable Energy Reviews*. 54, 406-414. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.019>
- Jebli, B. M., & Youssef, B. S. (2017). Renewable energy consumption and agriculture: evidence for cointegration and Granger causality for Tunisian economy. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(2), 149-158.
- Karaca, C. (2013). Türkiye’de sürdürülebilir tarım politikaları: tarım sektöründe atıl ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 19(1), 1-11
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 4–10
- Karlilar, S., & Emir, F. (2023). Exploring the role of coal consumption, solar, and wind power generation on ecological footprint: evidence from India using Fourier ADL cointegration test. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9), 24077-24087.

- Kaya, A., & Bostan Budak, D. (2022). Hatay ilinde üreticilerin biyoyakıt, tarımsal atık ve çevre hakkındaki düşüncelerinin değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3), 413-423. DOI: 10.37908/mkutbd.1109445
- Kaya, A., & Bostan Budak, D. (2023). Use of renewable energy in agriculture in terms of sustainability: Hatay/Turkey example. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 10(1), 15-22. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1131613>
- Künü, S., & Levent, C. (2023). Sağlık harcamaları, CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Seçilmiş AB ülkeleri örneği. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 9(1), 95-110.
- Liu, X., Zhang, S. ve Bae, J. (2017). The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1239-1247.
- Mukiyen Avcı, G. (2022). Döngüsel ekonomi çerçevesinde Türkiye’de atık ithalatının belirleyicileri: Çekim modeli analizi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, (Özel Sayı), 170-193.
- Muzari, W., Gatsi, W., & Muvhunzi, S. (2012). The impacts of technology adoption on smallholder agricultural productivity in sub-Saharan Africa: A review. *Journal of Sustainable development*, 5(8), 69-77.
- Nesirov, E. V., Zeynalli, E. C., & Karimov, M. I. (2024). Dynamic relationship among agriculture-renewable energy-forestry and carbon dioxide (CO2) emissions: empirical evidence from GUAM countries. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 61, 24-35.
- Okumuş, İ. (2020). Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketimi, tarım ve CO2 emisyonu ilişkisi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 6(1), 21-34.
- Onur, M. (2025). The Impact of the Transformation of agricultural lands into urbanized areas on micro-scale air pollutants: The case of Yalıncağ, Trabzon. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 28(6), 1445.
- Paramati, S. R., Apergis, N., & Ummalla, M. (2018). Dynamics of renewable energy consumption and economic activities across the agriculture, industry, and service sectors: evidence in the perspective of sustainable development. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1375-1387.
- Rahman, S. (2003). Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: an analysis of farmers' perceptions and their determinants. *Journal of Environmental Management*, 68(2), 183-191.
- Rahman, S., & Thapa, G. B. (1999). Environmental impacts of technological change in Bangladesh agriculture: farmers' perceptions and empirical evidence. *Outlook on agriculture*, 28(4), 233-238.
- Raihan A. (2023). An Econometric evaluation of the effects of economic growth, energy use and agricultural value added on carbon dioxide emissions in Vietnam. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 7, 665-696.
- Raihan, A. ve Tuspekova, A. (2022). The link between economic growth, energy use, agricultural productivity and carbon dioxide emissions: New evidence from Nepal. *Energy Connectivity*, 7, 100113.
- Rahman, A., Tanchangya, T., Rahman, J., & Ridwan, M. (2024). The influence of agriculture, renewable energy, international trade, and economic growth on India’s environmental sustainability. *Journal of Environmental and Energy Economics*, 3(1), 37-53.
- Salari, T. E., Roumiani, A., & Kazemzadeh, E. (2021). Globalization, renewable energy consumption, and agricultural production impacts on ecological footprint in emerging countries: using quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 49627-49641.
- Sel, A., & Tekgün, B. (2022). ANFIS yöntemi ile Türkiye karbondioksit salınımı tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 13(34), 486-504.
- Taşkın, O., & Vardar, A. (2016). Tarımsal üretimde bazı yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 179-184.
- Tekgün, B., Bolayır, S., & Eroğlu, İ. (2025). Mutlu gezegen arayışları: G-20 ülkelerinden kanıtlar. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 21(1), 280-313.
- Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73.
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238.
- Yurtkuran, S., Terzi, H. (2018). Empirical analyses of environmental Kuznets curve: Mexican case. *IJEAS*, 20, 267-284. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.350401>
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K., Misopolinos, N. (2002). Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 137-146.