


## Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınmanın Makroekonomik Belirleyicileri: ARDL Tabanlı Ampirik Bir Analiz (1990-2022)

Muhammed Emin ARKAN\* 

\*Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye.

### ÖZET

Sürdürülebilir kalkınma, küresel ekonomi, sosyal dönüşüm ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir araştırma alanı olarak son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu çalışmada, 1990-2022 dönemi yıllık verileri kullanılarak Türkiye'de nüfus değişimi, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu ve ticari açıklığın Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi (SDI) üzerindeki kısa ve uzun dönemli etkileri ARDL eşbütünleşme yöntemiyle incelenmektedir. Hata Düzeltme Modeli katsayısı  $ECM(-1) = -0.760$  olarak tahmin edilmiş ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur; bu sonuç kısa dönemde ortaya çıkan sapmaların yaklaşık 1.5 yıl içinde uzun dönem dengesine döneceğine işaret etmektedir. Kısa dönem bulgularına göre; ticari açıklık, nüfus, enerji yoğunluğu ve ekonomik büyümedeki %1'lik artışlar SDI'yi sırasıyla %0.09, %5.00 ve %0.27 oranında pozitif, %-0.52 oranında ise negatif yönde etkilemektedir. Uzun dönem tahminleri incelendiğinde, nüfus değişimindeki %1'lik artışın SDI'yi %2.79 oranında artırdığı, ekonomik büyümedeki %1'lik artışın ise SDI'yi %0.73 oranında azalttığı görülmektedir; her iki sonuç da %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan güçlüdür. Enerji yoğunluğu %10 anlamlılık düzeyinde SDI üzerinde %0.31 oranında sınırlı bir negatif etki sergilemekte, ticari açıklık katsayısı ise (0.038) uzun dönemde istatistiksel olarak anlamsız kalmaktadır. Toda-Yamamoto nedensellik testi, yalnızca nüfus artışından ticari açıklığa ve nüfus artışından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, Türkiye'de nüfus dinamiklerinin beşerî sermaye kanalı aracılığıyla hem kısa hem de uzun dönemde kalkınmayı olumlu desteklediğini; buna karşın mevcut büyüme modelinin uzun vadede sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle çeliştiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir Kalkınma, Nüfus Artışı, Ekonomik Büyüme, Ticari Açıklık, ARDL

\*Sorumlu yazar e-postası: [muhammedarkan@subu.edu.tr](mailto:muhammedarkan@subu.edu.tr)

**Atf:** Arkan, M.E. (2026). Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınmanın Makroekonomik Belirleyicileri: ARDL Tabanlı Ampirik Bir Analiz (1990-2022), *Journal of Business and Trade*, 7(1), 36-57. <https://doi.org/10.58767/joinbat.1944358>

# In Turkey Macroeconomic Determinants of Sustainable Development: An ARDL Based Empirical Analysis (1990-2022)

## ABSTRACT

Sustainable development has emerged as a critical area of inquiry in recent years, attracting growing scholarly attention in the context of global economic transformation and environmental sustainability. This study examines the short- and long-run effects of population growth, economic growth, energy intensity, and trade openness on the Sustainable Development Index (SDI) in Türkiye using annual data covering the period 1990-2022 within an ARDL cointegration framework. The error correction term, ECM(-1), is estimated at -0.760 and is statistically significant at the 1% level, indicating that short-run deviations from equilibrium are corrected within approximately 1.5 years. Short-run results reveal that a 1% increase in trade openness, population, and energy intensity raises the SDI by 0.09%, 5.00%, and 0.27%, respectively, while a 1% increase in economic growth reduces the SDI by 0.52%, all significant at the 1% level. Long-run estimates show that a 1% increase in population raises the SDI by approximately 2.79%, whereas a 1% increase in economic growth reduces it by 0.73%, both significant at the 1% level. Energy intensity exerts a limited negative effect of -0.31% on the SDI in the long run, significant at the 10% level, while the coefficient of trade openness (0.038) is statistically insignificant over the long run. The Toda-Yamamoto causality test identifies unidirectional causality running from population growth to trade openness and from population growth to economic growth. Overall, these findings suggest that population dynamics support sustainable development in Türkiye through human capital channels in both the short and long run; however, the prevailing growth model appears to be at odds with long-run sustainable development objectives.

**Keywords:** Sustainable Development, Population Growth, Economic Growth, Trade Openness, ARDL

## 1. Giriş

Ekonomik büyüme ve nüfus değişimi, ülkelerin ekonomik kalkınma süreçlerinde en temel dinamik aktörleri arasında yer almaktadır (Bloom & Freeman, 1988). Ancak nüfusun hızlı artması ile birlikte üretim ve tüketim faaliyetlerindeki hızlı artış, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırarak çevresel sürdürülebilirlik açısından sorunları da beraberinde getirir (Andersen, 2023; Hunjra vd., 2024; Abdi vd., 2025;). Özellikle ekonomik genişleme dönemlerinde yenilenemeyen doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve çevresel maliyetlerin büyüme amacıyla göz ardı edilmesi pahasına gerçekleşmesi, literatürde 'geleceksiz büyüme' olarak ifade edilen bir kalkınma anlayışını ortaya çıkarmıştır. Bu tür bir büyüme modeli kısa vadede ekonomik refahı artırabilse de uzun vadede çevresel tahribatı derinleştirerek gelecek nesillerin refahını ve kaynaklara erişimlerini zayıflatır (Avcı, 2025; Sevinç & Akıncı, 2025). Bu nedenle günümüzde kalkınma tartışmaları gelişmekte olan ülkeler için yalnızca ekonomik büyüme performansına değil, aynı zamanda nüfus dinamikleri, enerji kullanımı ve ekonomik faaliyetlerin çevresel etkileri çerçevesinde sürdürülebilirlik boyutuna da odaklanmaktadır (Hunjra vd., 2024; Abbas vd., 2025; Erdoğan & Koç, 2026; Ehigiamusoe vd., 2024).

Mevcut literatürde ülkelerin çevresel açıdan sürdürülebilirlik belirleyicilerini araştıran çalışmalar, farklı bağımlı değişkenler üzerinden son dönemde geniş bir alan bulmuştur. Daha önceki çalışmalar Sürdürülebilir kalkınma endeksi (Kara vd., 2025; Badur vd., 2024; Rasoulinezhad & Mostaghimi, 2024; Kuldasheva & Abdukayumov, 2025), Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Endeksi (Mohammed vd., 2025), Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Dai vd., 2024), Karbon Emisyonları (Wang vd., 2024; Wang, Li & Li, 2024; Destek vd., 2023; Xue vd., 2022; Adams vd., 2020), Yeşil Finans (Sun vd., 2024), Yeşil Büyüme Endeksi (Lu & Zhao, 2024; Wang & Tian, 2025) gibi bağımlı değişkenleri çeşitli makroekonomik değişkenler ile incelemiştir. Bu çalışma ise güncel literatüre Türkiye bağlamında seçili bağımsız değişken setinin etkileri konusunda ve aynı zamanda güncel veri yılları eşliğinde

özgünlük sağlamaktadır.

Bu araştırma boşluğuna odaklanmak son dönemde önem kazanmıştır; zira mevcut çalışmaların çoğu farklı ülkeler ve farklı dönemler üzerinden yapılmış, Türkiye özelinde nüfus dinamikleri, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve enerji kullanımının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerini bütüncül biçimde inceleyen güncel zaman serisi temelli analizler sınırlı kalmıştır. Ayrıca, literatürde kullanılan veri setleri genellikle eski yıllara ait olup, ekonomik ve demografik yapının hızlı değişimi dikkate alınmamıştır. Bu bağlamda, Türkiye için sürdürülebilir kalkınmanın belirleyicilerini güncel ve kapsamlı bir veri seti ile analiz etmek hem politika yapıcılar hem de akademik çevre için değerli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurarak, Türkiye ekonomisi bağlamında nüfus değişimi, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve enerji kullanımı gibi temel makroekonomik faktörlerin sürdürülebilir kalkınma endeksi üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Türkiye bağlamında 1990-2022 yıllarını kapsayan zaman serisi teknikleri kullanarak yaptığımız uygulamada, kısa dönemde tüm bağımsız değişkenlerin sürdürülebilir kalkınma endeksini %1 anlamlılık düzeyinde etkilediğini, bu etkilerin ticari açıklık, nüfus dinamikleri ve enerji tüketiminin pozitif, ekonomik büyümenin ise negatif olduğu saptanmıştır. Ayrıca ECM katsayısının negatif ve %1 anlamlılık düzeyinde olması kısa dönemi takiben uzun dönemde sapmaların dengeye yakınsayarak ortadan kalkacağı tespit edilmiştir. Uzun dönem katsayılarında ise nüfus değişimi ve ekonomik büyümenin %1 anlamlılık düzeyinde etkiler gösterdiği, enerji tüketiminin ise %10 gibi sınırdan bir anlamlılık düzeyinde negatif etkiler sergilediği bulunmuştur. Kontrol tahmincileri ile yapılan uygulamada ise, FMOLS, DOLS ve CCR için ekonomik büyüme ve nüfus değişimi her üç tahmincede de güçlü anlamlılık düzeylerinde etkiler sarfettiği sadece ticari açıklık değişkeninin DOLS tahmincisinde %5 anlamlılık düzeyinde negatif etki sarfettiği sonucuna ulaşılmıştır. Buda modelimizin ana bağımlı değişkenleri olan ekonomik büyüme ve nüfus dinamiklerinin kalkınma amaçlarına hizmeti konusunda teyit bilgileri vermektedir.

Bu araştırmanın katkısı ise 3 açıdan değerlendirilebilir. Birincisi, Türkiye bağlamında 1990-2022 dönemi için sürdürülebilir kalkınmanın belirleyicilerini güncel veri seti ve zaman serisi teknikleri ile kapsamlı biçimde analiz eden nadir çalışmalardan biri olmasıdır. Böylece literatürdeki ülke bazlı veri boşluğu doldurulmaktadır. İkincisi, çalışmada ekonomik büyüme, nüfus değişimi, ticari açıklık ve enerji kullanımı gibi temel makroekonomik değişkenlerin kısa ve uzun dönem etkileri ARDL ve alternatif kontrol tahmincileri üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve bu değişkenlerin sürdürülebilir kalkınmaya katkısı konusunda güçlü kanıtlar sunulmaktadır. Üçüncüsü, araştırma bulguları politika yapıcılar için önemli sonuçlar sunmaktadır. Özellikle nüfus değişimi ve ekonomik büyümenin Türkiye'de beşerî sermaye kanalını harekete geçirecek kalkınma üzerinde güçlü etkiler sarfetmekte; bu sonuçlar, Türkiye'de beşerî sermaye kanalını harekete geçirecek politikalar ile bu katkının maksimize edilebileceğini göstermektedir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde tasarlanmıştır. 2. Bölümde güncel literatür her bir açıklayıcı değişkenin alt başlık altında özeti sunulmakta, 3. Bölümde metodoloji açıklanmakta, 4. Bölümde ampirik bulgular verilip yorumlanmakta, 5. Bölümde tartışma, 6. Bölümde sırasıyla sonuç ve politika önerileri sunulmaktadır.

## 2. Literatür İncelemesi

Sürdürülebilir kalkınma literatüründe demografik ve sosyoekonomik faktörlerin sürdürülebilir kalkınma, amaçları ve performansı üzerindeki etkileri son yıllarda giderek daha fazla incelenmektedir. Bu çalışmalar, nüfus artışı, ihracat, ithalat, enflasyon oranları, sanayileşme, ekonomik büyüme ve insan sermayesi gibi çeşitli makroekonomik değişkenlerin bileşimlerini kullanarak sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkileri ülke gruplarına ve kalkınma düzeylerine göre farklı sonuçlarla ortaya koymuştur.

Tablo 1'de ilgili literatür özeti sunulmaktadır.

**Tablo 1: Seçili Literatür Özeti**

Yazar(lar)	Bölge	Dönem	Metodoloji	Bulgular
Ali vd., (2025)	21 Gelişmekte Olan Ülke	2000-2020	CS-ARDL	EG, NRT, POP>SDI(-), İQ>SDI(+)
Kara vd., (2025)	42 Afrika Ülkesi	2012-2022	Panel veri	LÜ, EG, POP>SDI(+), CPI>CO2(+), İQ>EFP(-)
Bakhsh vd., (2024)	OECD Ülkeleri	2000-2020	FMOLS-DOLS-MM-QR	GF, ÇY, MP>SKA(+)
Wen & Zhang (2024)	32 Çin eyaleti	1980-2021	CUP-FM	KV,BİT,POP>SDI(+)
Gani (2023)	OECD	2000-2019	PCSE	EG>SD(+), POP>SD(-)
Shaker & Mackay (2021)	44 Asya ülkesi	2020	Panel veri	POP>SD(+)
Islam vd., (2026)	51 gelişmekte olan ülke	2000-2022	GMM ve kantil regresyonu	EG,E,URB,TEE>SKA(+)
Değirmenci & Ünsal, (2026)	AB Ülkeleri	1995-2021	RCCE ve AMG	REN,EV,ÇY>SDI(+)
Fertö & Harangozo (2025)	149 ülke	2000-2023	Panel Veri	EG,GLOB>SKA(+), URB, EFP>SKA(-)
Gerlich vd., (2025)	30 Avrupa ülkesi	2018-2023	Karma yöntem yaklaşımı	EG>SG(+)
Kuldashaeva & Abdukayumov (2025)	Bağımsız Devletler Topluluğu ülkeleri ve denize erişimi olmayan gelişmiş ülkeler	2000-2020	OLS, SEM ve panel modelleri	TO,EG>SDI(+)
Mohammed vd., (2025)	ASEAN-5	2015-2021	EGLS	FG,EG,E>SDI(-)
Amjad vd., (2025)	Güney Asya bölgesi	1990-2023	Kantil regresyonu	EE>SD(+)
Badur vd., (2024)	Sovyet sonrası ülkeler	1996-2019	dinamik panel regresyonu	TFREE>SDI(-), DYY>SDI(+)
Dai vd., (2024)	En yüksek CO2 emisyonuna sahip yirmi ülke	1992-2019	MM-QR	TGLOB>SKA(-)
Wang vd., (2024a)	114 ülke	2002-2015	FMOLS-PTR	DYY>CO2(+) TO>CO2(-)
Wang vd., (2024b)	67 ülke	1993-2019	panel verileri	TO,YZ>CO2(-)
Zheng vd., (2024)	64 ülke	2008-2020	panel verileri	MEC>SK(+)
Destek vd., (2023)	42 ülke	1990-2017	panel kantil regresyonu	EG,TO,ENG>CO2(+)
Xue vd., (2022)	Fransa	1987-2019	AARDL	EPU,EG>CO2(+)
Değirmenci vd., (2025)	25 OECD Ülkesi	1990-2019	CS-ARDL	GI,REN,HC>SDI(+), EPU>SDI(?)
Anwar vd., (2024)	Kırılgan Beşli Ülkeler	1996-2019	Panel Kantil Regresyon Analizi	EPU, GI>SK(+), FG,REN>SKA(-)
Adams vd., (2020)	15 kaynak zengin ülke	1996-2017	Kao testi, PMG-ARDL, Panel nedensellik analizi	ENG,EPU,EG>CO2(+)

**Not:** BİT: Bilgi iletişim teknolojileri, CPI: Geliştirilmiş kamu sektörü şeffaflığı, DYY: Doğrudan yabancı yatırımlar, EE: Elektrifikasyon erişimi, EFP: Ekolojik ayak izi, ENG: Fosil yakıtlı enerji kullanımı, EPU: Ekonomik politika belirsizliği, EV: Enerji verimliliği, E: Eğitim, EG: Ekonomik büyüme, FG: Finansal kalkınma, GF: Yeşil finans, GI: Yeşil inovasyon, GLOB: Küreselleşme, GY: Çevre yönetimi/koruma harcamaları, HC: İnsan sermayesi, IQ: Kurumsal kalite, KV: Kaynak verimliliği, LÜ: Hukukun üstünlüğü, MEC: Çok taraflı ekonomik işbirliği, MP: Mali politikalar, NRT: Doğal kaynak rantı, POP: Nüfus artışı, REN: Yenilenebilir enerji tüketimi, SD: Sürdürülebilir kalkınma, SDI: Sürdürülebilir kalkınma endeksi, SG: Sürdürülebilir girişimcilik, SKA: Sürdürülebilir kalkınma amaçları, TEE: Temiz enerjiye erişim, TFREE: Liberal ticaret politikası, TGLOB: ticari küreselleşme, TO: Ticari açıklık, URB: Kentleşme, YZ: Yapay zeka

Sürdürülebilir kalkınma, Brundtland Komisyonu'nun 1987 tarihli raporundan bu yana gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kapasitesini tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanmakta ve ekonomik büyüme, sosyal adalet ve çevresel sürdürülebilirlik bileşenlerini bir arada ele almaktadır. Bu çok boyutlu yapının tek bir gösterge ile ölçülmesi literatürde uzun süredir tartışma konusudur. Karbon emisyonları, ekolojik ayak izi ve çeşitli endeksler bu amaçla yaygın biçimde kullanılmış olsa da her birinin kapsam ve ölçüm sınırlılıkları bulunmaktadır.

Bu çalışmada bağımlı değişken olarak Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi (SDI) kullanılmıştır. Hickel (2020) tarafından geliştirilen SDI, bir ülkenin sosyal kalkınma performansını ekolojik baskıyla ilişkilendirerek ölçen ve yüksek insani gelişimini düşük ekolojik maliyetle sunan ülkeleri ödüllendiren bir gösterge olarak önem kazanmaktadır. SDI'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarına kıyasla üstünlüğü, kalkınmanın hem sosyal hem de çevresel boyutunu eş zamanlı olarak yakalamasında yatmaktadır. Bu özelliği nedeniyle son yıllarda sürdürülebilir kalkınma belirleyicilerini inceleyen ampirik çalışmalarda giderek daha fazla tercih edilmektedir (Kara vd., 2025; Badur vd., 2024; Rasoulinezhad & Mostaghimi, 2024; Kuldesheva & Abdukayumov, 2025).

## 2.1. Literatür Özeti Değerlendirme

Yukarıda özetlenen literatür bir bütün olarak değerlendirildiğinde birkaç temel farklılık öne çıkmaktadır. Birincisi, sürdürülebilir kalkınma performansını etkileyen değişkenler bakımından literatürde belirgin bir çeşitlilik söz konusudur. Ekonomik büyüme (EG) ve nüfus (POP), en sık çalışılan değişkenler arasında yer almakta iken bu değişkenlerin SDI üzerindeki etki yönü çalışmadan çalışmaya farklılaşmaktadır. Ali vd. (2025) ve Gani (2023) nüfus artışının SDI'yi olumsuz etkilediğini bulurken, Kara vd. (2025), Wen ve Zhang (2024) ve Shaker ile Mackay (2021) pozitif bir ilişkiye işaret etmektedir. Bu tutarsızlık, söz konusu ilişkinin ülke gruplarına, bölgelere ve dönemlere göre yapısal farklılıklar içerdiğini ortaya koymaktadır. Ekonomik büyümenin etkisi de benzer şekilde tartışmalıdır. Islam vd. (2026), Gerlich vd. (2025), Kuldesheva ve Abdukayumov (2025) ve Fertö ile Harangozo (2025) pozitif, Mohammed vd. (2025), Adams vd. (2020) ile Sevinç ve Akıncı (2025) ise negatif bulgular elde etmişlerdir. İkincisi, kullanılan metodolojiler açısından panel veri yöntemleri baskın konumdadır. GMM, kantil regresyon, FMOLS-DOLS, CS-ARDL ve EGLS gibi yöntemler yaygın biçimde kullanılmakta; ancak çalışmaların büyük bölümü yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği sorunlarını yeterince ele almamaktadır. CS-ARDL kullanan Ali vd. (2025) bu açıdan bir istisna oluşturmaktadır. Üçüncüsü, bağımlı değişken tercihleri incelendiğinde SDI, SKA ve SD gibi bütünleşik göstergelerin yanı sıra CO<sub>2</sub> emisyonları ve ekolojik ayak izi gibi tek boyutlu çevresel göstergelerin de sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Wang vd. (2024a, 2024b) ve Destek vd. (2023) gibi çalışmalar CO<sub>2</sub> ekseninde kalırken, Değirmenci ve Ünsal (2026), Kuldashaeva ve Abdukayumov (2025) ile Badur vd. (2024) SDI'yi tercih etmiştir. Bu tablo, sürdürülebilirliğin çok boyutlu yapısını tek bir göstergeyle yakalamaya yönelik çabaların henüz yeterince olgunlaşmadığını göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu nüfus değişimi, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu ve ticari açıklık değişkenlerini SDI bağlamında ele alarak 1990-2022 dönemi Türkiye verileriyle ARDL eşbütünleşme yöntemi aracılığıyla doldurmayı amaçlamaktadır.

## 3. Veri Seti ve Metodoloji

### 3.1. Veri Seti

Çalışmamızda, sürdürülebilir kalkınmayı etkileyen makroekonomik faktörler, demografik ve çevresel unsurların analiz edilebilmesi amacıyla Türkiye örneği, 1990-2022 yılları arası ele alınmıştır. Bu yıl aralığının seçilme nedeni sürdürülebilir kalkınma endeks verilerine bu yıllar arası ulaşılabilir olmasıdır. Türkiye'nin seçilmesinde; özellikle demografik dönüşümün sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerini gözlemlenmek adına stratejik bir örneklem sunmaktadır. Çalışmanın başlangıç yıllarında yüksek seyreden nüfus artış hızı, dönemin sanayileşme ve kentleşme dinamiklerini tetikleyen temel bir faktördür. Ancak son on yılda Türkiye, nüfusun yaşlanmaya başladığı ve doğurganlık hızının kritik eşğin (2,10) altına düştüğü bir demografik durgunluk sürecine girmiştir (Beyaz, 2024). Bu keskin değişim, sürdürülebilir kalkınmanın sosyal boyutu için değişim oluşturur (Konat & Fendoğlu, 2021). Nüfusun hızla yaşlanması ve çalışma çağındaki nüfus oranının gelecekte azalacak olması, sosyal güvenlik sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve uzun vadeli ekonomik büyüme hedeflerini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir (Konat & Fendoğlu, 2021; Sayehmiri vd., 2021; Headey & Hodge, 2009). Bu sebeplerden ötürü nüfusun sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisi hem niceliksel olarak

hem de beşerî sermaye bağlamında niteliksel olarak incelemek için analizin baş değişkenlerinden biri olarak kullanılmıştır.

Türkiye'nin makroekonomik yapısı içindeki enerji bağımlılığı, sürdürülebilir kalkınma analizleri için bir diğer belirleyici unsurdur (Djellouli vd., 2022; Lin & Raza, 2020; Liobikienė & Dagiliūtė, 2021). Türkiye, enerji tüketiminde %70'in üzerinde bir oranla dışa bağımlı bir yapı sergilemekte olup, bu durum cari açık ve enerji arz güvenliği gibi kronik ekonomik riskleri beraberinde getirmektedir (Uysal vd., 2015). Ancak bu kısıt, Türkiye'yi yeşil enerji dönüşümü konusunda yapısal değişimlere zorlamıştır (Chudy-Laskowsk & Pisula, 2022; Cengiz & Kutlu, 2021). 2021 yılında Paris İklim Anlaşması'nın onaylanması ve 2050 Net Sıfır Emisyon hedefinin belirlenmesi, Türkiye'nin ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasındaki ilişkiyi nasıl kurgulayacağını incelemek için anlamlı bir dönüm noktasıdır. Bu bağlamda ülke, fosil yakıt bağımlılığından yenilenebilir enerjiye geçiş çabalarıyla yeşil kalkınma literatürü için zengin bir vaka sunmaktadır (Liobikienė & Dagiliūtė, 2021).

Jeopolitik konum ve ticaret akışı açısından bakıldığında Türkiye, küresel değer zincirlerinde stratejik bir köprü konumundadır (Kaya, 2017). Avrupa Birliği ile olan Gümrük Birliği ilişkisi ve Orta Doğu-Asya eksenindeki ticaret yolları üzerindeki varlığı, ticaret hacminin tarihsel olarak yüksek seyretmesini sağlamıştır (Hatipler, 2012). Ancak bu hızlı ticaret akışı, ulaşım kaynaklı emisyonların artması ve çevresel standartların ticaret üzerindeki baskısı gibi sürdürülebilirlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Özellikle AB tarafından ilan edilen Yeşil Mutabakat çerçevesinde uygulanacak olan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması, Türkiye'nin ticaret yapısını daha yeşil ve sürdürülebilir bir modele dönüştürmesini zorunlu kılmaktadır (Ecer vd., 2021). Bu yapısal zorunluluklar, Türkiye'yi sürdürülebilir kalkınma dinamiklerinin hem bölgesel hem de küresel etkilerini analiz etmek için ideal bir örnek ülke haline getirir.

### 3.2. Değişkenler ve Model

Çalışmada kullanılan değişkenler, sürdürülebilir kalkınmayı temsilen Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi (SDI) ile birlikte; nüfus değişimi, ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve dışa açıklık gibi literatürde sürdürülebilir kalkınma ile yakından ilişkili olduğu kabul edilen göstergelerden seçilmiştir. Değişkenlerin tamamı güvenilirliği yüksek ve uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan veri tabanlarından elde edilmiştir. Ayrıca açıklayıcı değişken serileri, ekonometrik analizlerde tutarlılığı sağlamak amacıyla logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur.

Modele dahil edilen değişkenler hem teorik hem de yakın dönem ampirik çalışmaların bulguları esas alınarak belirlenmiştir. Bağımlı değişken olarak SDI'nin tercih edilmesi, Hickel (2020) tarafından geliştirilen bu endeksin kalkınmanın sosyal ve ekolojik boyutlarını eş zamanlı olarak yakaladığı gerçeğine dayanmaktadır. Bu özelliği, yalnızca çevresel bozulmayı ölçen CO<sub>2</sub> emisyonu göstergelerine kıyasla daha bütünlük bir analiz zemini sunmaktadır. Bloom ve Freeman (1988) ve Headey ve Hodge (2009) tarafından teorik temelleri atılan nüfus-kalkınma ilişkisi, işgücü arzı genişlemesi, iç Pazar büyüklüğü ve beşerî sermaye birikimi kanallarıyla sürdürülebilir kalkınmayı etkilemektedir. Türkiye'nin 1990-2022 döneminde yüksek doğurganlıktan demografik durgunluğa geçiş yaşadığı ve bu dönüşümün kalkınma performansını doğrudan biçimlendirdiği bilinmektedir (Beyaz, 2024). EKC hipotezi bağlamında, büyümenin çevresel baskı üzerindeki etkisinin ülkeye özgü yapısal koşullara bağlı olduğu ve Türkiye için bu durumun kaynak yoğun ve ihracata dayalı büyüme modelinin SDI üzerinde baskılayıcı bir etki yaratması teorik olarak olası olmakla birlikte, bu değişkenin sınanması elzem olarak görülmektedir. Türkiye için enerji tüketimi ise %70'inden fazlasını ithalata karşılaması ve fosil yakıt bağımlılığı konusunda kronikleşmiş Türkiye'de enerji yoğunluğunun SDI üzerinde çift yönlü etki üretmesi teorik olarak beklenmektedir. 2021'de onaylanan Paris Anlaşması ve 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi bu değişkenin politika bağlamında önemini pekiştirmektedir. Ticari açıklık değişkeni ise literatürde birbiriyle çelişen etkileri konusunda önemli bir araştırma değişkeni olmaktadır. Türkiye'nin AB ile Gümrük Birliği ilişkisi ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasına doğrudan maruz kalması, ticari açıklığı ülkeye özgü analiz değişkeni olarak önemli bir konuma çıkarmaktadır.

**Tablo 2:** Değişkenlere ait detaylar

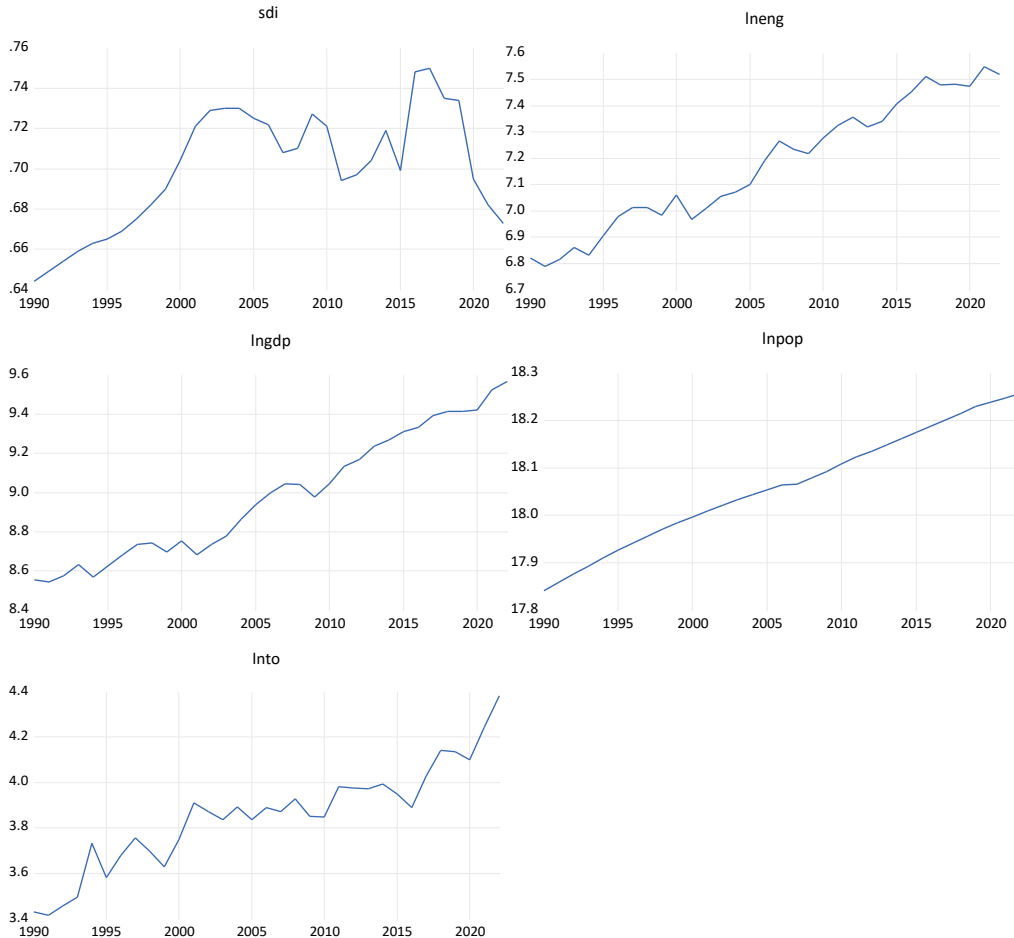
Bağımlı Değişken	Kısaltma	Ölçüm	Kaynak
SDI	SDI	Index	<a href="https://sustainabilityindex.org">sustainabilityindex.org</a> SUSTAINABLE DEVELOPMENT INDEX
<b>Bağımsız Değişkenler</b>	<b>Kısaltma</b>	<b>Ölçüm</b>	<b>Kaynak</b>
Nüfus Değişimi	POP	% nüfus	World Bank
Ekonomik Büyüme	GDP	GSYİH (sabit 2015 ABD doları cinsinden)	World Bank
Ticari Açıklık	TO	Ticaret (ihracat + ithalat) / GSYİH	World Bank
Enerji Yoğunluğu	ENG	Birim GSYİH başına enerji kullanımı veya toplam birincil enerji yoğunluğu / GSYİH	Our World in Data

Ekonometrik analizlerde değişkenlerin logaritmik dönüşüme tabi tutulmasının temel gerekçesi, değişkenleri doğrusal bir yapıya yaklaştırarak modelin tahmin edilebilme gücünü artırması ve değişen varyans gibi otokorelasyon sorunlarının azaltılmasıdır.

Logaritması alınan denklem (1) aşağıda gösterilmiştir.

$$(1) \quad SDIt = \beta_0 + \beta_1 \ln POPt + \beta_2 \ln GDPt + \beta_3 \ln TOt + \beta_4 \ln ENGt + \mu_t$$

Denklem 1'de SDI, sürdürülebilir kalkınma endeksini; lnPOP, nüfusu; lnGDP, 2015 sabit fiyatları ile dolar cinsinden kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla; lnTO, ticari açıklığı, lnENG, enerji yoğunluğunun doğal logaritması alınmış halini temsil etmektedir. Denklemde ayrıca, t zaman dilimini ve  $\mu$  hata terimini göstermektedir.



**Grafik 1.** Değişkenlerin ilgili yıllardaki seyri (1990-2022)

Grafik 1'de modelde kullanılan değişkenlerin zaman içindeki seyri incelendiğinde, serilerin genel olarak uzun dönemli bir artış eğilimi sergilediği, ancak Türkiye ekonomisinde yaşanan kriz ve makroekonomik şoklara bağlı olarak dönemsel dalgalanmaların ortaya çıktığı görülmektedir. SDI (Sürdürülebilir Kalkınma İndeksi) ve lnPOP (Nüfus) serileri nispeten daha istikrarlı bir yükseliş grafiği çizerken, lnENG (Enerji Tüketimi) ve lnGDP (büyüme) değişkenleri ekonomik büyüme dönemlerinde belirgin bir ivme kazanmış; özellikle 1994, 2001 ve 2009 kriz yıllarında bu artış hızında yavaşlama veya kısa süreli gerilemeler gözlenmiştir. lnTO (Ticari Açıklık) verisi ise küresel entegrasyon süreçlerine paralel olarak dalgalı ama yukarı yönlü bir trend izlemiş, özellikle 2000'li yılların başından itibaren daha oynak bir yapı sergilemiştir. Genel olarak grafikler, değişkenlerin uzun dönemde birbirini destekleyen bir doğrultuda hareket ettiğini, ancak ekonomik ve politik belirsizliklerin seriler üzerinde kısa dönemli oynaklıklar ve yapısal kırılmalar yarattığını ortaya koymaktadır.

### 3.3. Ekonometrik Metodoloji

Çalışmada değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde ekonometrik yöntem olarak Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen Auto-Regressive Distributed Lag (ARDL) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin birkaç metodolojik gerekçesi bulunmaktadır. Birincisi, çalışmada kullanılan değişkenlerin bir kısmı düzeyde  $I(0)$ , bir kısmı ise birinci farkta  $I(1)$  durağan çıkmaktadır. Johansen eşbütünlük testi gibi klasik yöntemler tüm serilerin aynı  $I(1)$  bütünlük derecelerine sahip olmasını gerektirirken, ARDL sınır testi bu kısıttan bağımsız biçimde uygulanabilmektedir (Pesaran vd., 2001). İkincisi çalışmanın kapsadığı dönem yalnızca 33 gözlemden oluşmakta olup küçük örneklerde ARDL yaklaşımı, geleneksel eşbütünlük testlerine kıyasla daha güçlü ve güvenilir sonuçlar üretmektedir (Narayan & Narayan, 2005). Üçüncüsü, ARDL modeli tek bir denklem çerçevesinde hem kısa hem de uzun dönem katsayılarını eş zamanlı olarak tahmin ederken, ayrı bir hata düzeltme modeli (ECM) kurulmasına da doğrudan imkân tanımaktadır. Bu özellik, dinamik uyum sürecinin bütünlük biçimde incelenmesine olanak tanır (Pesaran vd., 2001). Son olarak, sınırlı gözlem sayısı ve içsellik kaygıları göz önüne alındığında ARDL tahmin süreci sistem bazlı yöntemlere göre daha az parametre gerektirmekte ve aşırı parametrelendirme riskini minimize etmektedir.

ARDL tahmincisinin yanı sıra, uzun dönem katsayılarının sağlamlılığını sınamak amacıyla Tam Geliştirilmiş En Küçük Kareler (FMOLS), Dinamik En Küçük Kareler (DOLS) ve Kanonik Eşbütünlük Regresyon (CCR) yöntemleri kontrol tahmincileri olarak kullanılmıştır. Bu üç tahmincisinin tercih edilmesinin temel nedeni, her birinin OLS'nin uzun dönem eşbütünlük regresyonlardaki sapma sorununu farklı mekanizmalarla gidermesidir. FMOLS (Phillips & Hansen, 1990), hata terimlerindeki seri korelasyon ve içsellik sorunlarını parametrik olmayan düzeltmelerle gidererek asimptotik olarak etkin tahminler üretir. DOLS (Stock & Watson, 1993), bağımsız değişkenlerin gecikmeli ve ilerleyen fark terimlerini modele dahil ederek endojenite sorununu parametrik biçimde kontrol eder. CCR (Park, 1992) ise değişkenlerin uzun dönem kovaryans yapısını dikkate alan dönüşümler yoluyla benzer sonuçlar sunar.

Serilerin durağanlık derecelerinin belirlenmesi amacıyla Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) ve Elliott-Rothenberg-Stock (ERS / DF-GLS) birim kök testleri uygulanmıştır. Birden fazla birim kök testinin birlikte kullanılması, serilerin bütünlük derecelerinin daha sağlam ve güvenilir biçimde belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Dickey-Fuller (DF) testi, zaman serilerinin durağan olup olmadığını ve serilerin basit bir otoregresif süreçle ifade edilemeyeceğini incelemektedir. Ancak hata terimlerinde otokorelasyon bulunması durumunda, serilerin birinci dereceden otoregresif bir süreçle temsil edilmesi mümkün olmadığından, bu sorunu gidermek amacıyla bağımlı değişkenin gecikmeli fark terimlerinin modele dâhil edildiği Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi tercih edilmektedir. ADF testi, en küçük kareler (EKK) yöntemiyle tahmin edilmekte olup,  $\gamma = 0$  şeklinde ifade edilen sıfır hipotezi serinin birim kök içerdiğini göstermektedir. Hesaplanan test istatistiğinin kritik değerlerden mutlak değerce büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmekte ve serinin durağan olduğu kabul edilmektedir ( $H_1: \gamma < 0$ ). Aksi hâlde serinin birim kök içerdiği sonucuna ulaşılmaktadır (Özcan ve Arı, 2013: 110).

ADF testine alternatif olarak geliştirilen Phillips-Perron (PP) testi de çalışmada kullanılmıştır. PP testi, hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyansın varlığına karşı parametrik olmayan düzeltmeler sunarak daha esnek bir birim kök sınaması gerçekleştirmektedir (Cheung & Lai, 1997). Bunun yanında, durağanlık analizlerinin istatistiksel gücünü artırmak amacıyla Elliott, Rothenberg ve Stock (1996) tarafından geliştirilen ERS (DF-GLS) testi uygulanmıştır. ERS testi, serilerin deterministik bileşenlerden arındırılması yoluyla özellikle küçük örneklerde daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

Birim kök testleri sonucunda değişkenlerin bütünleşme dereceleri belirlendikten sonra, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığı ARDL sınır testi aracılığıyla incelenmiştir. Sınır testi sonucunda elde edilen F-istatistiği, belirlenen anlamlılık düzeylerinde üst sınır olan I(1) kritik değerinden büyük ise sıfır hipotezi reddedilmekte ve değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme ilişkisinin var olduğu kabul edilmektedir. F-istatistiğinin alt sınır olan I(0) değerinden küçük olması durumunda ise eşbütünleşme olmadığını ifade eden sıfır hipotezi kabul edilmektedir. F-istatistiğinin I(0) ve I(1) sınırları arasında yer alması halinde ise sonuçlar belirsiz olarak değerlendirilmekte ve eşbütünleşmeye ilişkin kesin bir yorum yapılamamaktadır. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi kurulmaktadır (Doru, 2021).

$$\Delta SDI_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \beta_1 \Delta SDI_{t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_2 \ln POP_{t-j} + \sum_{j=0}^n \beta_3 \ln GDP_{t-j} + \sum_{j=0}^k \beta_4 \Delta \ln TO_{t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_5 \ln ENG_{t-j} + \gamma_1 SDI_{t-1} + \gamma_2 \ln POP_{t-1} + \gamma_3 \ln GDP_{t-1} + \gamma_4 \ln TO_{t-1} + \gamma_5 \ln ENG_{t-1} + \mu_t. \quad (2)$$

Denklem 2'de  $\alpha_0$  sabit terimi  $\Delta$  değişkenin birinci dereceden farkını,  $\mu_t$  hata terimi,  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  katsayıları kısa dönem ve  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5$  ise uzun dönem ilişkiyi temsil etmektedir.

Kısa dönem ilişkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla hata düzeltme modeli denklem 3'te ifade edilmektedir.

$$\Delta SDI_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \beta_1 \Delta SDI_{t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_2 \ln POP_{t-j} + \sum_{j=0}^n \beta_3 \ln GDP_{t-j} + \sum_{j=0}^k \beta_4 \Delta \ln TO_{t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_5 \ln ENG_{t-j} + \gamma_1 SDI_{t-1} + \gamma_2 \ln POP_{t-1} + \gamma_3 \ln GDP_{t-1} + \gamma_4 \ln TO_{t-1} + \gamma_5 \ln ENG_{t-1} + \varphi ECM_{t-1} + \mu_t. \quad (3)$$

Modelde uzun dönemde ilişkinin mevcut olması durumunda olası sapmaların düzeltilme katsayısının elde edilebilmesi için hata terimi  $\varphi$  katsayısının negatif ve istatistiki olarak anlamlı olması gerekmektedir (Doru, 2021).

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = \gamma_5 = 0 \text{ (Eşbütünleşme yoktur)}$$

$$H_1: \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3 \neq \gamma_4 \neq \gamma_5 \neq 0 \text{ (Eşbütünleşme vardır)}$$

Birim kök testlerine ilişkin regresyon denklemlerinde yer alan  $\Delta y_{(t-j)}$  terimi, hata terimlerinde ortaya çıkabilecek seri korelasyonu gidermek amacıyla kullanılan gecikmeli birinci farkları ifade etmektedir. Söz konusu denklemler; yalnızca sabit terim içeren, sabit terim ve doğrusal zaman trendini birlikte içeren ya da deterministik bileşen içermeyen biçimlerde tanımlanabilmektedir (Diler, 2018: 109).

$$\Delta y_t = c + \alpha y_{t-1} + \sum_{j=1}^k d_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$\Delta y_t = c + \alpha y_{t-1} + \beta_t \sum_{j=1}^k d_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Denklem 4'te, incelenen zaman serisine ilişkin olarak, serinin düzeyde durağan olduğu alternatif hipoteze karşı birim kökün varlığını ifade eden boş hipotez test edilmektedir. Denklem 5'te ise, birim kök içeren boş hipoteze karşı trend etrafında durağanlık gösteren alternatif hipotez sınanmaktadır. Denklemlerde yer alan  $\Delta y_{(t-j)}$  terimi, hata terimlerinde ortaya çıkabilecek seri korelasyonu gidermek amacıyla kullanılan birinci fark gecikmelerini ifade etmektedir. Görüldüğü üzere birim kök testi için

kurulan regresyon denklemleri; yalnızca sabit terim, sabit terimle birlikte doğrusal zaman trendi ya da her ikisini içermeyecek şekilde farklı biçimlerde tanımlanabilmektedir (İnançlı & Arkan, 2025).

### 3.4. Tanımlayıcı Testler

Analiz başlangıcında öncelikle değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri, otokorelasyon ve heteroskedastisite hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3:** Tanımlayıcı istatistikler

	SDI	lnTO	lnPOP	lnENG	lnGDP
<b>Mean</b>	0.700212	3.853255	18.06204	7.171978	8.981612
<b>Median</b>	0.704000	3.873336	18.06465	7.191951	8.977816
<b>Maximum</b>	0.750000	4.380754	18.25793	7.546777	9.566165
<b>Minimum</b>	0.644000	3.416940	17.84114	6.788029	8.543722
<b>Std. Dev.</b>	0.029772	0.226247	0.122286	0.239633	0.322295
<b>Skewness</b>	-0.234621	-0.070824	-0.083966	0.006253	0.258832
<b>Kurtosis</b>	1.965506	2.923669	1.934222	1.696848	1.710386
<b>Jarque-Bera</b>	1.774254	0.035600	1.600615	2.335248	2.655236
<b>Probability</b>	0.411837	0.982358	0.449191	0.311105	0.265108
<b>Gözlem Sayısı</b>	32	32	32	32	32

Analize başlanırken öncelikle değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler incelenmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi'nin (SDI) ortalama değeri 0.700 düzeyinde olup, analiz dönemi boyunca görece düşük bir oynaklık sergilediği görülmektedir. Ticari açıklığı temsil eden (LnTO) değişkeni ortalama 3.85 değerine sahipken, nüfus (lnPOP), enerji yoğunluğu (lnENG) ve ekonomik büyüme (lnGDP) değişkenlerinin ortalamaları sırasıyla 18.06, 7.17 ve 8.98 olarak hesaplanmıştır. Standart sapma değerleri incelendiğinde, SDI'nin diğer değişkenlere kıyasla oldukça düşük bir varyansa sahip olduğu, buna karşılık lnGDP ve lnENG değişkenlerinde görece daha yüksek bir değişkenlik bulunduğu dikkat çekmektedir.

Değişkenlerin dağılım özellikleri Jarque-Bera normallik testi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen olasılık (p) değerlerinin tüm değişkenler için 0.05'ten büyük olması, seriler için normal dağılım varsayımının reddedilemediğini göstermektedir. Bununla birlikte çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri incelendiğinde, değişkenlerin çoğunun simetriye yakın bir dağılım sergilediği ve aşırı kuyruk probleminin bulunmadığı görülmektedir.

**Tablo 4:** Otokorelasyon ve heteroskedastisite testleri

<b>Otokorelasyon</b>			
Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:			
Null hypothesis: No serial correlation at up to 1 lag			
F-statistic	0.203608	Prob. F(1,12)	0.6599
<b>Heteroskedastisite</b>			
Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
Null hypothesis: Homoskedasticity			
F-statistic	0.310773	Prob. F(15,13)	0.9833

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Modelin güvenilirliğini sınamak amacıyla yapılan tanısal testler, tahmin edilen modelin istatistiksel olarak uygun olduğunu göstermektedir. Breusch-Godfrey Ardışık Korelasyon LM testi sonuçları, modelde otokorelasyon sorunu bulunmadığına dair boş hipotezi reddedememektedir (p = 0.6599). Ayrıca, Breusch-Pagan-Godfrey değişen varyans testi (p = 0.9833), modelin hatalarının sabit bir varyansa sahip olduğunu (homoskedastisite) doğrulamaktadır.

**Tablo 5:** Modelin optimal gecikme uzunluk bulguları

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	243.5817	NA	8.51e-14	-15.90545	-15.67192	-15.83074
1	391.1338	236.0833*	2.48e-17*	-24.07559*	-22.67439*	-23.62733*
2	413.2469	28.00993	3.49e-17	-23.88313	-21.31427	-23.06133
3	437.8905	23.00072	5.53e-17	-23.85937	-20.12284	-22.66402

Not: LR: Sequential modified LR test statistic, AIC: Akaike information criterion, HQ: Hannan-Quin information criterion, FPE: final prediction error, SC: Schwarz information criterion, temsil etmektedir.

Eşbütünleşme analizinin gerçekleştirilebilmesi için öncesinde modelin optimal gecikme uzunluğu Schwarz bilgi kriteri (SIC)'ne göre belirlenmiştir. LR, FPE, AIC, SC ve HQ kriterlerinin tamamı, %5 anlamlılık düzeyinde optimal gecikme uzunluğunu 1 (bir) olarak işaret etmektedir. Bu bulgu, modelin dinamik yapısının tek dönemlik gecikme ile en iyi şekilde temsil edildiğini kanıtlamaktadır.

#### 4. Ampirik Bulgular

Çalışmada kullanılan serilerin durağanlık özelliklerini belirlemek amacıyla Genişletilmiş Dickey- Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) ve Elliott-Rothenberg-Stock (ERS) birim kök testleri uygulanmıştır. Testler hem 'sabitli' (İntercept) hem de 'sabitli ve trendli' (intercept with trend) modelleri için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6:** ADF, PP ve ERS birim kök testlerinin bulguları

Değişkenler	ADF		PP		ERS	
	Intercept	Intercept with trend	Intercept	Intercept with trend	Intercept	Intercept with trend
SDI	-2.002	-1.037	-2.055	-1.072	-1.403	-1.321
$\Delta$ SDI	-5.125***	-5.580***	-5.133***	-5.580***	-5.203***	-5.763***
lnPOP	-3.073**	-2.730	-2.189	-2.760	0.226	-1.845
$\Delta$ lnPOP	-2.923**	-3.186	-2.842*	-3.186	-2.487**	-3.209**
lnGDP	0.662	-2.535	1.940	-2.425	1.390	-2.336
$\Delta$ lnGDP	-5.688***	-5.739***	-6.397***	-7.632***	-5.271***	-5.849***
lnENG	-0.546	-3.663**	-0.262	-3.653**	0.315	-3.615**
$\Delta$ lnENG	-6.543***	-6.410***	-13.327***	-14.174***	-5.150***	-6.275***
lnTO	-0.580	-2.995	-0.040	-2.863	0.624	-3.047**
$\Delta$ lnTO	-5.828***	-5.690***	-6.903***	-6.746***	-5.880***	-5.473***

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tablo 6 incelendiğinde, SDI ve lnGDP değişkenlerinin seviye değerlerinde, her üç testin hem sabitli hem de trendli modellerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları (birim kök içerdikleri) görülmektedir. lnPOP değişkeni ise ADF sabitli modelde %5 anlamlılık düzeyinde durağan görünse de, PP ve ERS testleri ile ADF trendli model sonuçları bu serinin de seviye değerinde birim kök içerdiğini işaret etmektedir.

Serilerin birinci farkları alındığında ( $\Delta$ ); SDI, lnGDP, lnENG ve lnTO değişkenlerinin tüm test yöntemlerinde (ADF, PP, ERS) ve her iki model tipinde de %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale geldikleri tespit edilmiştir. lnPOP değişkeni ise farkı alındığında ADF ve ERS testlerine göre durağanlaşırken, PP testinde sabitli modelde %10 düzeyinde anlamlılık göstermiştir. Elde edilen bu bulgular, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olabildiğini ortaya koymakta ve ARDL yaklaşımının uygulanabilirliğini desteklemektedir. Bu kapsamda, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin (eşbütünleşme) varlığını tespit etmek amacıyla uygulanan ARDL Sınır Testi sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 7:** ARDL sınır testi (bound test)

F-istatistiği	$sdi_t = f(\ln pop_t, \ln gdp_t, \ln eng_t, \ln to_t)$					
	%10		%5		%1	
	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
6.325***	2.525	3.560	3.058	4.223	4.280	5.840

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tablo 7 incelendiğinde, hesaplanan F-istatistik değerinin (6.325), pesaran vd. (2001) tarafından önerilen tüm anlamlılık düzeylerindeki üst sınır I(1) kritik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. F-istatistiğinin üst sınır kritik değerinden büyük olması değişkenler arasında eşbütünleşme yoktur şeklindeki temel hipotezin (H0) reddedildiğini gösterir. Bu bulgu; SDI, lnPOP, lnGDP, lnENG ve lnTO değişkenleri arasında analize konu olan dönem boyunca uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğunu istatistiksel olarak kesin bir şekilde doğrulamaktadır.

Eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edildikten sonra, modelin kısa ve uzun dönem katsayılarının tahmin edilmesine ve kısa dönemli sapmaların ne kadar sürede dengeye geleceğini gösteren Hata Düzeltme Modeli (ECM) aşamasına geçilmesi uygun görülmüştür.

**Tablo 8:** Kısa dönem katsayıları ve hata düzeltme modeli

Seçilen model: ARDL (1,1,2,3,4)				
Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	Olasılık
$\Delta \ln TO$	0.090103***	0.063863	1.410883	0.0049
$\Delta \ln POP$	5.002467***	1.426701	3.506316	0.0000
$\Delta \ln ENG$	0.278848***	0.111013	2.511854	0.0002
$\Delta \ln GDP$	-0.528074***	0.113190	-4.665390	0.0000
ECM(-1)	-0.760149***	0.104861	-7.249112	0.0000
R-squared	0.817610	Mean dependent var		0.000483
Adjusted R-squared	0.607160	S.D. dependent var		0.015925
S.E. of regression	0.009982	Akaike info criterion		-6.075064
Sum squared resid	0.001295	Schwarz criterion		-5.320694
Log likelihood	104.0884	Hannan-Quinn criter.		-5.838805
F-statistic	3.885056	Durbin-Watson stat		2.176164
Prob(F-statistic)	0.009247			

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

ARDL (1, 1, 2, 3, 4) modeli sonuçlarına göre kısa dönemli dinamikler incelenmiştir.

Modelin en önemli bulgusu, ECM (-1) katsayısının -0.760 olması ve istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde çıkmasıdır. Bu katsayının -1 ve sıfır (0) arasında olması kısa dönemli şokların uzun dönem dengesine yakınsayacağını gösterir. Aynı zamanda değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisini teyit eder. Buna göre, kısa dönemde meydana gelen sapmalar yaklaşık 1.5 yıl sonra (1/0.760) uzun dönem dengesine döneceği anlaşılmaktadır.

Kısa dönemde lnTO(0.090), lnPOP (5.002) ve lnENG (0.278) değişkenlerinin SDI üzerinde %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı ve pozitif etkileri olduğu görülürken, lnGDP (-0.528) değişkeninin %1 anlamlılık düzeyinde negatif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Eşbütünleşme ilişkisi kanıtlandıktan sonra tahmin edilen uzun dönem katsayıları ise şu şekildedir.

**Tablo 9: Uzun dönem katsayıları**

Değişkenler	Katsayı	Standrt Hata	t-istatistiği	Olasılık
<b>lnTO</b>	0.038280	0.095656	0.400190	0.6926
<b>lnPOP</b>	2.796322***	0.392330	7.127467	0.0000
<b>lnGDP</b>	-0.737038***	0.127157	-5.796262	0.0000
<b>lnENG</b>	-0.311430*	0.162249	-1.919455	0.0669
<b>C</b>	-41.26186***	5.816713	-7.093673	0.0000

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

lnPOP (Nüfus) katsayısı 2.796 olup %1 düzeyinde anlamlıdır. Bu durum, uzun dönemde nüfustaki %1'lik bir artışın, sürdürülebilir kalkınma endeksi (SDI)'yı yaklaşık %2.79 oranında artırdığını göstermektedir. lnGDP katsayısı ise -0.737 ile %1'lik anlamlılık düzeyinde anlamlı ve negatiftir. Beklentilerin aksine, bu modelde ekonomik büyümenin uzun dönemde sosyal kalkınma üzerinde baskılayıcı bir etkisi olduğu görülmektedir. lnENG katsayısı ise -0.311 olup %10 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Enerji tüketimindeki artışın uzun dönemde SDI üzerinde sınırlı bir negatif etkiye sahip olduğu görülmektedir. lnTO katsayısı ise (0.038) istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

**Tablo 10: FMOLS, DOLS ve CCR tahmincileri**

Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	Prob.
<b>FMOLS</b>				
<b>lnGDP</b>	-0.320371***	0.084462	-3.793056	0.0008
<b>lnTO</b>	-0.091431	0.055909	-1.635340	0.1136
<b>lnPOP</b>	0.951061***	0.265363	3.583994	0.0013
<b>lnENG</b>	0.097307	0.131272	0.741268	0.4649
<b>C</b>	-13.94580***	3.946175	-3.534005	0.0015
<b>DOLS</b>				
<b>lnGDP</b>	-0.362292**	0.126579	-2.862174	0.0133
<b>lnTO</b>	-0.400113**	0.164723	-2.429005	0.0304
<b>lnPOP</b>	1.799182***	0.537367	3.348146	0.0052
<b>lnENG</b>	-0.055527	0.231529	-0.239827	0.8142
<b>C</b>	-26.54690***	7.998105	-3.319149	0.0055
<b>CCR</b>				
<b>lnGDP</b>	-0.326257***	0.092440	-3.529406	0.0015
<b>lnTO</b>	-0.122714	0.080011	-1.533721	0.1367
<b>lnPOP</b>	1.034966***	0.315998	3.275234	0.0029
<b>lnENG</b>	0.085975	0.152444	0.563977	0.5774
<b>C</b>	-15.206302***	4.708281	-3.229696	0.0032

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi (SDI) üzerindeki uzun dönemli etki sonuçlarını sağlamlaştırmak amacıyla uygulanan FMOLS, DOLS ve CCR tahmincilerinden elde edilen bulgular, modelin ampirik olarak güvenilirliğini (Robustness) teyit etmektedir. FMOLS, DOLS ve CCR tahmincileri sadece değişkenlerin I(1) olduğunda uygulanabilir olmasına karşın, uzun dönem eşbütünleşme ilişkisinin varlığının tespiti ile değişkenlerin I(0) veya I(1) olmasına bakılmaksızın uygulanabilir. Kontrol tahmin yöntemlerinde ekonomik büyüme, nüfus değişkenleri tüm modellerde yüksek düzeyde anlamlılık sergilediği saptanmıştır. Bu durum, kullanılan ekonometrik yöntemden bağımsız olarak Türkiye'de mevcut ekonomik büyüme modelinin kalkınma hedef ve verilerini baskılayıcı bir etki yarattığını, nüfus dinamiklerinin ise beşerî sermayeyi artırarak kalkınma amaçlarına hizmet ettiğini ampirik olarak kanıtlamaktadır. Ticari açıklık değişkeni ise sadece DOLS tahmincisinde %5 anlamlılık düzeyinde SDI üzerinde negatif etki sergilediğini gösterir. Alternatif tahminciler ile yapılan kontrolümüzde ana modelimiz olan ARDL bulgularını desteklemesi, elde edilen katsayıların tesadüfi olmadığını ve Türkiye ekonomisinin yapısal gerçeklerini yansıttığını da teyit etmektedir.

Tüm bu sonuçlarından ardından değişkenlerin farklı seviyelerde durağan olması göz önünde bulundurularak Toda-Yamamoto nedensellik testi gerçekleştirilmiştir. Toda-Yamamoto nedensellik

testi, diğer nedensellik testlerinden daha esnek bir yapıda analiz imkânı sunması açısından modelimiz için uygun bulunmuştur. Granger ve Johansen nedensellik testleri sadece değişkenlerin I(1) olması durumunda uygulanabilir olmasının yanında Toda-Yamamoto nedensellik analizi farklı seviyelerde durağanlaşan değişkenler arasında uygulanabilmektedir.

Toda-Yamamoto testi için VAR(p+dmax) modeli tahmin edilir. dmax serilerin maksimum bütünleşme derecesini göstermektedir. Temel modelimiz aşağıdaki 6. ve 7. denklemlerde ifade edilmektedir.

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \alpha_{1i} X_{i=1} + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} Y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{dmax} \delta_{1i} X_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{dmax} \theta_{1i} Y_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (6)$$

$$Y_t = \omega + \sum_{i=1}^k \alpha_{2i} X_{i=1} + \sum_{i=1}^k \beta_{2i} Y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{dmax} \delta_{2i} X_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{dmax} \theta_{2i} Y_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (7)$$

6. ve 7. denklemlerde ifade edilen matematiksel ifadenin hipotezleri ise;

$H_0 = Y \rightarrow X$  doğru herhangi bir nedensellik bulunmamaktadır.

$H_1 = Y \rightarrow X$  doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

**Tablo 11:** Toda-Yamamoto nedensellik testi

Sıfır Hipotezi	Chi-sq	Olasılık (Prob.)	Karar
lnTO → SDI	0.571400	0.7515	H0 kabul
lnPOP → SDI	0.651806	0.7219	H0 kabul
lnGDP → SDI	1.173053	0.5563	H0 kabul
lnENG → SDI	1.216607	0.5443	H0 kabul
SDI → lnTO	3.413944	0.1814	H0 kabul
<b>lnPOP → lnTO</b>	<b>12.85546</b>	<b>0.0016***</b>	<b>H0 red</b>
lnGDP → lnTO	4.578799	0.1013	H0 kabul
lnENG → lnTO	0.103624	0.9495	H0 kabul
SDI → lnPOP	0.568390	0.7526	H0 kabul
lnTO → lnPOP	1.357400	0.5073	H0 kabul
lnGDP → lnPOP	0.605564	0.7388	H0 kabul
lnENG → lnPOP	3.98822	0.1361	H0 kabul
SDI → lnGDP	1.157889	0.5605	H0 kabul
lnTO → lnGDP	1.508804	0.4703	H0 kabul
<b>lnPOP → lnGDP</b>	<b>6.457628</b>	<b>0.0396**</b>	<b>H0 red</b>
lnENG → lnGDP	2.650982	0.2657	H0 kabul
SDI → lnENG	0.858043	0.6511	H0 kabul
lnTO → lnENG	2.445242	0.2945	H0 kabul
lnPOP → lnENG	3.653693	0.1609	H0 kabul
lnGDP → lnENG	2.031262	0.3622	H0 kabul

Not: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Yapılan Toda-Yamamoto testi sonucunda değişkenlerden sadece nüfus artışının ticari açıklığa doğru tek yönlü ve nüfus artışından kişi başı büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi saptanmıştır.

#### 4.1. Tanısal Testler

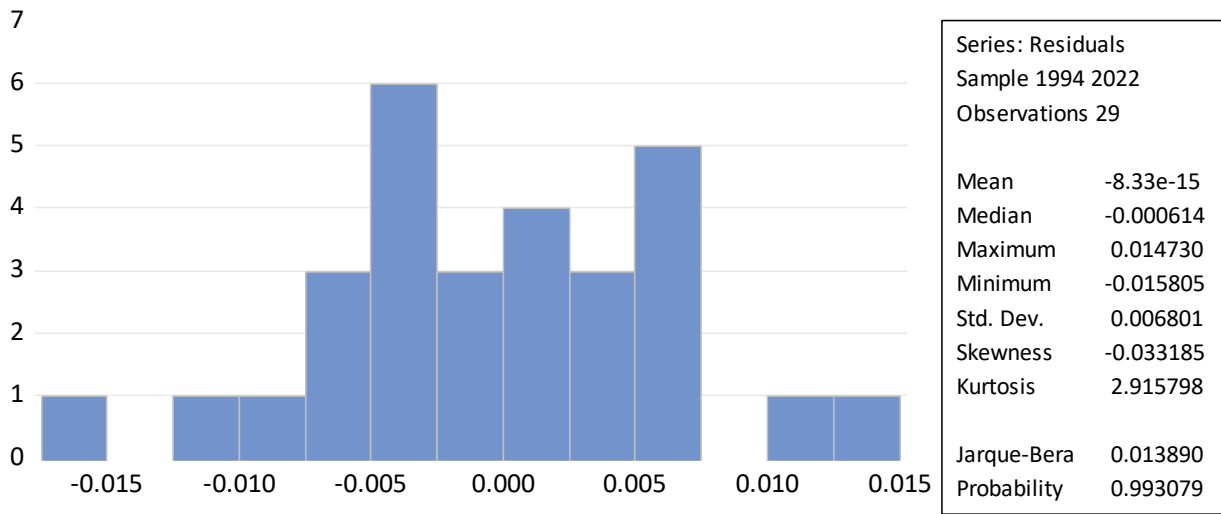
Çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemin geçerliliği modelin temel varsayımlarını karşılmasına bağlıdır. Bu varsayımlardan otokorelasyon ve heteroskedastisite çalışmanın başında gösterilmiş olup, diğer tanısal testler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

Tablo 12: Remsey reset testi

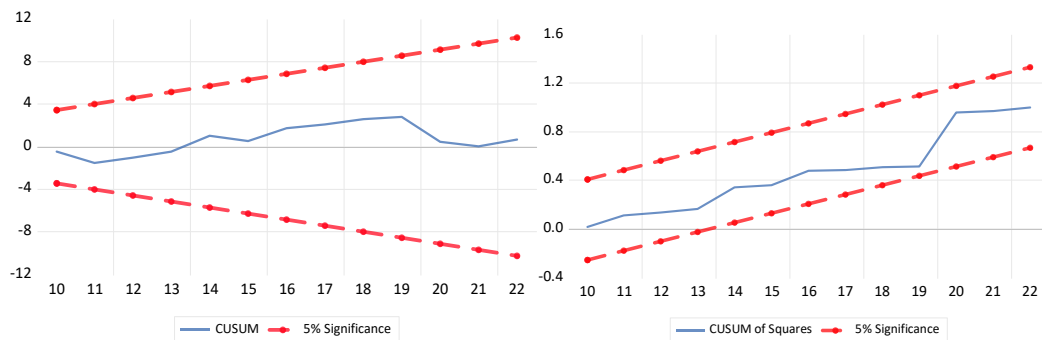
	Değer	Df	Olasılık
t-statistic	1.000363	12	0.3369
F-statistic	1.000726	(1, 12)	0.3369
Likelihood ratio	2.322859	1	0.1275

Çalışmada kurulan modelde model kurma hatasının olup olmadığını test eden Remsey Reset test sonuçları tablo 12’de sunulmuştur. Tabloya göre olasılık değerinin 0.01 ve 0.05’ten büyük olması ile çalışmada kurulan modelde herhangi bir hata olmadığını ve kurulan modelin varsayımın geçerli olduğunu göstermektedir.

Tablo 13: Normallik test sonuçları



Çalışmada kullanılan değişkenlerin normal dağılım sergileyip sergilemediğini gösteren Normallik Test Sonuç grafiği ise Tablo 13’de sunulmuştur. Jarque-Bera test istatistiğine ait prob. değerinin 0.01 ve 0.05’ten büyük olması hata terimlerinin normal dağılım sergilediğini gösterir. Bu sonuç ise seçili ekonometrik yöntemin bir diğer varsayımının geçerliliğini kanıtlar.



Şekil 1. CUSUM ve CUSUMSQ bulguları

Şekil 1’de sunulan CUSUM testi sonuçları incelendiğinde, modele ait tahminleri gösteren mavi çizginin, %5 anlamlılık düzeyindeki güven bantlarını temsil eden kesikli kırmızı sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, analiz edilen dönem boyunca model katsayılarının istikrarlı bir yapı sergilediğini ve herhangi bir yapısal kırılmaya işaret eden bir durumun bulunmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, kurulan ekonometrik modelin güvenilirliğini ve geçerliliğini teyit etmektedir.

## 5. Tartışma

Çalışmanın en önemli bulgularından, nüfus değişiminin hem kısa hem de uzun dönemde SDI üzerinde pozitif etki sergilemesidir. Uzun dönem katsayısının 2.796 gibi yüksek bir değer alması, Türkiye'nin 1990-2022 döneminde yaşadığı demografik dönüşümün beşerî sermaye kanalıyla kalkınmayı desteklediğine işaret etmektedir. Bu bulgu Kara vd. (2025); Bakhsh vd. (2024); Wen ve Zhang (2024); ve Shaker ve Mackay (2021) çalışmaları ile uyumlu olmakla birlikte; Ali vd. (2025); ve Gani (2023)'nin negatif nüfus etkisi bulan çalışmalarından ayrılmaktadır. Söz konusu farklılık, ülke gruplarının demografik yapısındaki heterojenlikten kaynaklanmaktadır. Türkiye'nin analiz döneminde genç ve eğitim düzeyi görece yükselen bir nüfusa sahip olması, demografik artışın kaynak baskısı yerine üretken işgücü kanalıyla işlev görmesini sağlamıştır.

Ekonomik büyümenin uzun dönem katsayısı -0.737 olarak tahmin edilmesi ve bu sonucun tüm kontrol tahminlerinde tutarlı biçimde tekrarlanması, çalışmanın teorik açıdan en kritik bulgusudur. Bu sonuç Adams vd. (2020); Mohammed vd. (2025); Değirmenci ve Ünsal (2026) ile Sevinç ve Akıncı (2025) çalışmaları ile örtüşürken; İslam vd. (2026); Gerlich vd. (2025); Kuldesheva ve Abdulkayumov (2025); Rasoulnezhad ve Mastaghimi (2024) ile Fertö ve Haranozo (2025) çalışmalarından ayrılmaktadır. Bu ayrışmanın temel nedeni ile daha çok Türkiye'de büyümenin inşaat ve enerji yoğun sektörler ekseninde şekillenmesi, eğitim ve sağlık harcamalarının GSYH içindeki payının yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Enerji yoğunluğu uzun dönemde yalnızca %10 anlamlılık düzeyinde negatif etki sergilemesi, fosil yakıt bağımlılığının SDI üzerinde sistematik ancak sınırlı bir etki yarattığına işaret eder. Çalışma, Xue vd. (2022); Anwar vd. (2024) ve Adams vd. (2020) çalışmalarının bulguları ile örtüşür. Ticaret açıklığının ise, ARDL, FMOLS, CCR'da anlamsız, yalnızca DOLS'da negatif çıkması, ticaret hacminin tek başına belirleyici bir kanal oluşturmadığını; ticaretin teknoloji ve çevre standartları bakımından niteliğinin hacimden çok daha kritik olduğunu düşündürmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında Badur vd. (2024); Dai vd. (2024) ve Destek vd. (2023) çalışmaları ile benzer sonuçlara ulaşırken; Amjad vd. (2025); Wang vd. (2024a ve 2024b) çalışmaları ile ayrılmaktadır.

Elde edilen bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, literatürdeki çelişkili sonuçların büyük ölçüde yöntem ve örneklem tercihlerinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Panel veri çalışmaları ülkeler arası ortalama etkiyi ölçerken ülkeye özgü yapısal dinamikleri gözden kaçırabilmekte ve bu durum özellikle Türkiye gibi demografik ve ekonomik dönüşümün hızlı yaşandığı ülkelerde yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Nitekim nüfus ve ekonomik büyüme değişkenlerinin SDI üzerindeki etkisi, gelir düzeyi, kurumsal kalite ve enerji dönüşümündeki ilerleme bakımından birbirinden belirgin biçimde ayrılan ülke gruplarında sistematik olarak farklı yönler sergileyebilmektedir. Öte yandan bağımlı değişken tercihinin de sonuçları doğrudan şekillendiren bir faktör olduğu görülür. CO<sub>2</sub> emisyonu veya ekolojik ayak izi kullanan çalışmalar kalkınmanın sosyal boyutunu dışarıdan bırakırken, SDI her iki boyutu da eş zamanlı yakalayarak görece daha bütünlük bir ilişkiyi test eder. Bu çalışmanın tek ülke zaman serisi yaklaşımı, söz konusu heterojenlik sorununu büyük ölçüde aşmakta ve Türkiye'ye özgü yapısal dinamiklerin daha isabetli biçimde tanımlanmasına olanak tanımaktadır.

## 6. Sonuç

Bu çalışma, 1990-2022 döneminde Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma performansını nüfus dinamikleri, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu ve ticari açıklık değişkenleri çerçevesinde ARDL eşbütünleşme yöntemiyle ampirik olarak analiz etmektedir. Sonuçların sağlamlılığı FMOLS, DOLS ve CCR gibi alternatif uzun dönem tahmincileriyle test edilmiş ve değişkenler arasında nedensellik ilişkisi Toda-Yamamoto yöntemiyle sınanmıştır.

Elde edilen bulgular, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma performansını şekillendiren yapısal dinamikler hakkında hem akademik literatüre hem de politika yapıcılara güçlü çıkarımla sunmaktadır.

Uzun dönem analizinin en çarpıcı sonucu mevcut büyüme modelinin SDI üzerindeki baskılayıcı rolüdür. Bu bulgunun yöntem bağımsızlığı altında ana model olan ARDL tahmincisinin haricindeki her 3 tahmincede de tutarlı biçimde negatif ve anlamlı çıkması söz konusu ilişkinin tesadüfi olmadığını, Türkiye ekonomisinin yapısal gerçeklerini yansıttığını gösterir.

Uzun dönemdeki nüfustaki %1'lik değişim SDI'yi yaklaşık %2.79 oranında etkilemektedir. Kısa dönemde ise bu etki yaklaşık 5 gibi son derece yüksek bir katsayıyla kendini gösterir. Bu bulgu, Türkiye'nin 1990-2022 döneminde yaşadığı demografik dönüşümü beşerî sermaye birikimi açısından verimli bir süreç olarak konumlandırmak, genç ve nispeten eğitilmiş işgücünün SDI'nin sosyal bileşenlerini desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu (Kara vd., 2025; Bakhsh vd., 2024; Shaker & Mackay, 2021)'in pozitif nüfus etkisini destekleyen çalışmalarına uyum içindedir. Buna karşılık (Gani, 2023; Ali vd., 2025)'in olumsuz nüfus etkisine işaret eden bulgularından ayrılmaktadır. Bu farklılık ülke gruplarının gelir düzeyi ve demografik yapısındaki heterojenlik yapılarından kaynaklanmaktadır.

Ekonomik büyümenin uzun dönem katsayısı -0.737 olarak saptanmış olması ve tüm tahmincilerinin yüksek anlamlılık düzeyi sergilemesi çalışmanın teorik bağlamındaki en kritik bulgudur. Türkiye'de mevcut sanayileşme ve ihracata dönük büyüme modeli, GSYH artışını sürdürülebilir kalkınma performansına dönüştürememektedir. Büyüme sürecinin doğal kaynak baskısını artıran, eşitsizliği derinleştiren ve ekolojik maliyetleri göz ardı eden yapısal özellikleri, SDI'yi baskılamaktadır. Bu bulgu, (Adams vd., 2020; Mohammed vd., 2025; Değirmenci & Ünsal, 2026)'ın negatif büyüme etkisini saptayan çalışmalarına örtüşmekte; (İslam vd., 2026; Fertö & Harangozo, 2025) gibi pozitif etki bulan araştırmalardan belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Bu ayrışmanın temelinde söz konusu çalışmaların ele aldığı ülke gruplarının kurumsal kalite, enerji dönüşüm hızı ve sosyal harcama yapısı gibi ekonomik ve sosyal yapısal farklılıklar altında yatmaktadır.

Uzun dönemde enerji yoğunluğu katsayısının -0.311 katsayısıyla %10 anlamlılık düzeyinde tespit edilen negatif etki, Türkiye'nin yenilenemeyen enerji ağırlıklı yapısının sürdürülebilir kalkınma üzerinde sistematik bir baskı oluşturduğunu göstermektedir. Öte yandan kısa dönemde pozitif bir etkinin gözlemlenmesi, enerji kullanımının kısa vadede ekonomik ve sosyal çıktıları desteklediğine ancak bu ilişkinin uzun vadede sürdürülebilirlik açısından geri teptiğine işaret etmektedir. Bu bulgu, (Xue vd., 2022; Anwar vd., 2024)'ün fosil yakıt bağımlılığına ilişkin olumsuz tespitleriyle uyum içindedir.

Ticari açıklık değişkeni hem ARDL hem de uzun dönem de FMOLS ve CCR tahmincilerinde istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. DOLS tahmincisinde ise negatif bir etki gözlemlenmiş, ticaretin SDI üzerindeki etkisinin Türkiye için belirleyici bir kanal olmadığını, ticaret hacmindeki artıştan ziyade ticaret yapısının niteliğinin belirleyici olduğunu düşündürmektedir.

## 6.1. Politika Önerileri

Çalışmadan elde edilen bulgular, birbirine bağlı dört politika ekseninde somut öneriler sunmaktadır. Nüfus değişiminin SDI üzerindeki güçlü pozitif etkisi göz önünde bulundurulduğunda, doğurganlık hızının kritik eşik altına gerilediği Türkiye'de mesleki eğitim sisteminin yeşil ekonomi becerileriyle entegre edilmesi ve nitelikli işgücünü teknoloji yoğun sektörlere yönlendiren hedefli teşvik mekanizmalarının hayata geçirilmesi demografik potansiyelin sürdürülebilir kalkınmaya dönüştürülmesi açısından öncelikli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Ekonomik büyümenin SDI üzerindeki baskılayıcı etkisi ise mevcut büyüme modelinin yapısal dönüşümünü zorunlu kılmakta; eğitim ve sağlık harcamalarının GSYH içindeki payının artırılması, yatırım teşviklerinin karbon verimliliği ölçütlerine bağlanması ve beş yıllık kalkınma planlarına SDI alt bileşen hedeflerinin resmi gösterge olarak eklenmesi bu dönüşümün kurumsal zeminini güçlendirecektir. Enerji yoğunluğunun uzun dönemde negatif etki sergilemesi, KOSGEB destekleriyle KOBİ'lerin yenilenebilir enerji yatırımlarına erişiminin kolaylaştırılmasını, YEKDEM alım garantilerinin 2030 sonrası için uzatılmasını ve AB'nin Sınırdan Karbon Düzenleme Mekanizması kapsamındaki sektörel uyum takviminin ivedilikle oluşturulmasını gerektirmektedir. Son olarak ticaret hacminin değil içeriğinin

belirleyici olduğuna dair bulgu, Türkiye'nin Gümrük Birliği ilişkisini yeşil teknoloji transferi ve düşük karbonlu üretim odaklı bir iş birliği platformuna dönüştürmesini; SKDM'ye tabi sektörlerde temiz üretim süreçlerini destekleyen sübvansiyon paketleri ile ihracatın karbon yoğunluğunu izleyen sektörel raporlama yükümlülüğünün mevzuata eklenmesini öncelikli kılmaktadır.

Bu çalışma birkaç önemli sınırlılık barındırmaktadır. SDI tek bir bileşik olarak kullanılmış; eğitim, sağlık ve ekolojik verimlilik alt boyutları ayrıştırılmamıştır. Kurumsal kalite, yolsuzluk düzeyi ve çevresel düzenleyici kapasite gibi değişkenler veri kısıtı nedeniyle kapsam dışında kalmış olup bu faktörlerin hem büyüme hem de SDI üzerinde aracı etki üretebileceği göz ardı edilmemelidir. Son olarak lineer ARDL yapısı değişkenler arasındaki olası asimetrik ilişkileri yakalayamamakta; NARDL tahmincisi ve kurumsal kalite endekslerinin modele ekleneceği genişletilmiş analizler mevcut bulgulara önemli derinlik katacaktır.

## Beyanname

### Çalışmanın Sınırlılıkları

Çalışmada veri kullanılabilirliği sürdürülebilir kalkınma endeksi için 1990-2022 yıl aralığı olduğundan bu yıl aralığı çalışmanın sınırlılıklarını oluşturmaktadır.

### Teşekkür

Bu araştırma için, yazar dışında katkı yapan kişi veya kurum bulunmamaktadır.

### Finansman Kaynağı

Bu araştırma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

### Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### Yazarların Katkıları

Makale tek yazar tarafından yazılmıştır.

### İnsan ve Hayvanlarla İlgili Çalışma

Eser, insan/hayvan deneklerinin kullanımını içermemektedir.

### Kaynakça

Abbas, F., Malik, U. I., & Abdul Rahman, A. (2025). Nexus between institutional quality, economic openness, and environmental quality: New evidence from the MENA region. *Future Business Journal*, 11(1), 128. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00552-4>

Abdi, A. H., Siyad, S. A., Sugow, M. O., & Omar, O. M. (2025). Approaches to ecological sustainability in sub-Saharan Africa: Evaluating the role of globalization, renewable energy, economic growth, and population density. *Research in Globalization*, 10, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2025.100273>

Adams, S., Adedoyin, F., Olaniran, E., & Bekun, F. V. (2020). Energy consumption, economic policy uncertainty and carbon emissions; causality evidence from resource rich economies. *Economic Analysis and Policy*, 68, 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.09.012>

Ali, S., Gill, A. R., & Ali, M. (2025). Transformative routes to sustainable development: The nexus between fiscal decentralization and sustainable environment in developing countries. *The Journal of Environment & Development*, 34(2), 291-317. <https://doi.org/10.1177/10704965241295757>

Amjad, M. A., Rani, T., & Wang, F. (2025). Nonlinear effects of energy shortages on sustainable development

and economic growth: Evidence from South Asian countries. *Sustainable Development*, 33(5), 6885-6900. <https://doi.org/10.1002/sd.3492>

Anwar, A., Barut, A., Pala, F., Kilinc-Ata, N., Kaya, E., & Lien, D. T. Q. (2024). A different look at the environmental Kuznets curve from the perspective of environmental deterioration and economic policy uncertainty: Evidence from fragile countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(34), 46235-46254. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28761-w>

Badur, M. M., Yılmaz, E., & Sensoy, F. (2024). Do corruption and inequality shape sustainable development? Evidence from the post-soviet countries. *International Journal of Social Economics*, 51(1), 115-132. <https://doi.org/10.1108/IJSE-01-2023-0065>

Bakhsh, S., Alam, M. S., & Zhang, W. (2024). Green finance and sustainable development goals: Is there a role for geopolitical uncertainty? *Economic Change and Restructuring*, 57(4), 137. <https://doi.org/10.1007/s10644-024-09719-5>

Beyaz, C. (2024). Yüzcü yılında Türkiye demografisi. *Humanitas-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(Spec. Iss.), 57-85. <https://doi.org/10.20304/humanitas.1386262>

Bloom, D. E., & Freeman, R. B. (1988). Economic development and the timing and components of population growth. *Journal of Policy Modeling*, 10(1), 57-81. [https://doi.org/10.1016/0161-8938\(88\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0161-8938(88)90035-X)

Cengiz, Ç., & Kutlu, E. (2021). The budget of the European Union and green energy: Perceptions, actions, and challenges. *International Journal of Social Inquiry*, 14(1), 171-197. <https://doi.org/10.37093/ijsi.950563>

Cheung, Y. W., & Lai, K. S. (1997). Bandwidth selection, prewhitening, and the power of the Phillips-Perron test. *Econometric Theory*, 13(5), 679-691. <https://doi.org/10.1017/S0266466600006137>

Chudy-Laskowska, K., & Pisula, T. (2022). An analysis of the use of energy from conventional fossil fuels and green renewable energy in the context of the European Union's planned energy transformation. *Energies*, 15(19), 7369. <https://doi.org/10.3390/en15197369>

Dai, J., Hiung, E. Y. T., Destek, M. A., & Ahmed, Z. (2024). Green policymaking in top emitters: assessing the consequences of external conflicts, trade globalization, and mineral resources on sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 31(6), 653-667. <https://doi.org/10.1080/13504509.2024.2319136>

Degirmenci, T., & Ünsal, Y. (2026). Achieving sustainable development through the green budget in the European Union: The role of renewable energy, energy productivity, and environmental policy. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.70624>

Degirmenci, T., Aydin, M., Bozatlı, O., & Ahmed, Z. (2025). Consolidating sustainable development in OECD countries: The role of green energy transition, green innovation, environmental policy stringency, and human capital. *Sustainable Development*, 33, 823-835. <https://doi.org/10.1002/sd.70034>

Destek, M. A., Sohag, K., Aydın, S., & Destek, G. (2023). Foreign direct investment, stock market capitalization, and sustainable development: Relative impacts of domestic and foreign capital. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 28903-28915. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24066-6>

Diler, H. G. (2018). Türkiye ekonomisinin makroekonomik değişkenleri üzerine yapısal kırılmalı ve mevsimsel birim kök analizi. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri*, 4(7), 106-120.

Djellouli, N., Abdelli, L., Elhaddad, M., Ahmed, R., & Mahmood, H. (2022). The effects of non-renewable energy, renewable energy, economic growth, and foreign direct investment on the sustainability of African countries. *Renewable Energy*, 183, 676-686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.066>

Doru, Ö. & Düşünceli, F. (2021). Türkiye'de ticari dışa açıklık ve enflasyon ilişkisi: ARDL sınır testi ve nedensellik analizi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (23), 37-54. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2021.003>

Ecer, K., Güner, O., & Çetin, M. (2021). Avrupa yeşil mutabakatı ve Türkiye ekonomisinin uyum politikaları. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 125-144. <https://izlik.org/JA36HS33ET>

Ehigiamusoe, K. U., Lean, H. H., Dogan, E., Binsaeed, R. H., & Ramakrishnan, S. (2024). Impact of climate change on economic growth in developing countries: Unravelling the moderating role of globalization. *Environmental Economics and Policy Studies*, 1-33. <https://doi.org/10.1007/s10018-024-00427-y>

- Erdoğan, B., & Koç, S. (2026). Economic growth or environmental sustainability: Can we have both?: An application in G7 countries (1974-2023). *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences*, 12(3), 1302-1320. <https://doi.org/10.17336/igusbd.1673854>
- Eroğlu Sevinç, D., & Akıncı, M. (2025). Does economic growth impact environmental degradation? Evidence from OECD countries using the panel dynamic threshold model. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 11(1), 161-179. <https://doi.org/10.20979/ueyd.1648845>
- Fertö, I., & Harangozó, G. (2025). Trade-offs and synergies when balancing economic growth and globalization for sustainable development goals achievement. *Scientific Reports*, 15(1), 8634. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93360-3>
- Gani, W. (2023). Exploring the nexus between competition and the sustainable development goals in OECD countries. *Sustainable Development*, 31(5), 3721-3733. <https://doi.org/10.1002/sd.2622>
- Gerlich, M., Milojevic, M., & Tsvetkova, L. (2025). Economic prosperity and the implementation of sustainable development models among SMEs in European countries: Correlational analysis and incentive system. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 32(6), 8499-8510. <https://doi.org/10.1002/csr.70135>
- Hatıplı, M. (2012). Türkiye-AB gümrük birliği antlaşması ve antlaşmanın Türkiye ekonomisine etkileri. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(1), 14-32. <https://izlik.org/JA65FP54CF>
- Headey, D. D., & Hodge, A. (2009). The effect of population growth on economic growth: A meta-regression analysis of the macroeconomic literature. *Population and Development Review*, 35(2), 221-248. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2009.00274.x>
- Hickel, J. (2020). The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene. *Ecological Economics*, 167, 106331. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011>
- Hunjra, A. I., Bouri, E., Azam, M., Azam, R. I., & Dai, J. (2024). Economic growth and environmental sustainability in developing economies. *Research in International Business and Finance*, 70, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102341>
- Islam, H., Ajala, Z., Rana, M., & Boujelbene, Y. (2026). Exploring the interactions between environmental taxation, energy poverty, and urbanization in achieving SDGs in developing countries. *GeoJournal*, 91(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s10708-026-11576-w>
- İnançlı, S., & Arkan, M. E. (2025). Türk devletleri teşkilatı'na üye ülkelerde doğrudan yabancı sermaye yatırımlar ile tüketimin ekolojik ayak izinin ekonomik büyüme üzerine etkileri. *Econder Uluslararası Akademik Dergi*, 9(1), 1-21. <https://doi.org/10.35342/econder.1609959>
- Kara, S., Oğurlu, Y., Hossain, M. E., Alnour, M., Rej, S., & Sirag, A. (2025). The spatial spillover effects of public sector transparency on advancing Africa's sustainable development goals. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.70589>
- Kaya, F. (2017). Coğrafi potansiyelleri temelinde Türkiye jeopolitiği ve dünya siyasetindeki yeri. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 1-14. <https://izlik.org/JA77LZ27EL>
- Konat, G., & Fendoğlu, E. (2021). BRICS-T ülkelerinin nüfus artış hızı ile kalkınma ilişkisi: yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi. *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, 1(51), 279-295. <https://doi.org/10.17498/kdeniz.976501>
- Kong, L., Sofuoğlu, E., Ishola, B. D., Abbas, S., Guo, Q., & Khudoykulov, K. (2024). Sustainable development through structural transformation: a pathway to economic, social, and environmental progress. *Economic Change and Restructuring*, 57(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s10644-024-09583-3>
- Kruse-Andersen, P. K. (2023). Directed technical change, environmental sustainability, and population growth. *Journal of Environmental Economics and Management*, 122, 102885. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102885>
- Lin, B., & Raza, M. Y. (2020). Analysis of energy security indicators and CO2 emissions. A case from a developing economy. *Energy*, 200, 117575. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117575>
- Liobikienė, G., & Dagiliūtė, R. (2021). Do positive aspects of renewable energy contribute to the willingness to pay more for green energy?. *Energy*, 231, 120817. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120817>
- Lu, M., & Zhao, Y. (2024). Mineral resource extraction and environmental sustainability for green recovery. *Resources Policy*, 90, 104616. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104616>

- Meng, C., Du, X., Zhu, M., Ren, Y., & Fang, K. (2023). The static and dynamic carbon emission efficiency of transport industry in China. *Energy*, 274, 127297. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127297>
- Mohammed, A. L., Yakubu, I. N., & Bunyaminu, A. (2025). The interplay between financial inclusion and the sustainable development goals index in ASEAN-5 countries. In strategic approaches to banking business and sustainable development goals (pp. 129-138). Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-80744-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80744-2_8)
- Mukiyen Avcı, G. (2025). Çevresel bozulmayı ne belirler? Seçilmiş ülkeler için iktisadi büyüme, dış ticaret, kentleşme ve yenilenebilir enerjinin malzeme ayak izi üzerindeki etkileri. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 21(1), 343-366. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.1580181>
- Narayan, P. K. & Narayan, S. (2005). Estimating income and price elasticities of imports for Fiji in a cointegration framework. *Economic Modelling*, 22(3), 423-438. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2004.06.004>
- Özcan, B., & Arı, A. (2013). Para talebinin belirleyenleri ve istikrarı üzerine bir uygulama: Türkiye örneği. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 20(2), 105-120. <https://izlik.org/JA49GL34SR>
- Park, J. Y. (1992). Canonical cointegrating regressions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 119-143. <https://www.jstor.org/stable/2951679>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16 (3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Phillips, P. C., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I (1) processes. *The review of economic studies*, 57(1), 99-125. <https://doi.org/10.2307/2297545>
- Rasoulinezhad, E., & Mostaghimi, N. (2024). How can financial development affect sustainable economic development? Evidence from Asian countries with different income levels. *Iranian Economic Review*, 28(1), 31-48. <https://doi.org/10.22059/ier.2024.334304.1007325>
- Sayehmırı, A., Nekgoftar, L., Askarı, H., & Shayan, A. (2021). A metaanalysis of population growth impact on economic growth. *Social Welfare Quarterly*, Vol 20, No 79.
- Shaker, R. R., & Mackay, B. R. (2021). Hidden patterns of sustainable development in Asia with underlying global change correlations. *Ecological Indicators*, 131, 108227. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108227>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 783-820. <https://doi.org/10.2307/2951763>
- Sun, Y., Zhou, L., Wang, D., Jin, K., Wu, Q., & Wu, R. (2024). How economic policy uncertainty affects common prosperity in China? The mediating role of green finance and the moderating role of low-carbon technology. *Finance Research Letters*, 67, 105701. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105701>
- Uysal, D., & Yılmaz, K. (2015). Enerji ithalatı ve cari açık ilişkisi: Türkiye örneği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 63-78. <https://doi.org/10.18506/anemon.22254>
- Wang, Q., Li, Y., & Li, R. (2024). Ecological footprints, carbon emissions, and energy transitions: the impact of artificial intelligence (AI). *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03520-5>
- Wang, Q., Wang, L., & Li, R. (2024). Trade openness helps move towards carbon neutrality-insight from 114 countries. *Sustainable Development*, 32(1),1081-1095. <https://doi.org/10.1002/sd.2720>
- Wang, S., & Tian, G. (2025). The impact of extended energy balances on environmental policy stringency in climate modeling: Role of energy intensity in sustainable development. *Energy*, 320, 135208. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135208>
- Wen, Y., & Zhang, S. (2024). Assessing the impact of resource efficiency on sustainable development: Policies to cope with resource scarcity in Chinese provinces. *Resources Policy*, 90, 104754. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104754>
- Xue, C., Shahbaz, M., Ahmed, Z., Ahmad, M., & Sinha, A. (2022). Clean energy consumption, economic growth, and environmental sustainability: What is the role of economic policy uncertainty? *Renewable Energy*, 184, 899-907. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.006>
- Yang, X., Li, N., Mu, H., Pang, J., Zhao, H., & Ahmad, M. (2021). Study on the long-term impact of economic globalization and population aging

on CO2 emissions in OECD countries. *Science of the Total Environment*, 787, 147625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147625>

Zheng, T., Chai, Z., Zuo, P., & Wang, X. (2024). The effect of multilateral economic cooperation on sustainable natural resource development. *Sustainability*, 16(17), 7267. <https://doi.org/10.3390/su16177267>



© This study is submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)