

Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Dış Ticaret ve Ekonomik Dengeler: DAGs Yaklaşımı¹Muhammed BENLİ², Mişanur GÖKAYDIN³

Öz

Bu çalışma, 1987-2023 döneminde Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin dış ticaret (ihracat ve ithalat) üzerindeki dolaylı etkilerini incelemektedir. Çalışmanın amacı kapsamında, yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına GSYİH, ihracat, ithalat, doğrudan yabancı yatırımı ve döviz kuru değişkenleri arasındaki tümevarımlı nedensel çıkarım şablonları, Yönlendirilmiş Döngüsüz Graflar (Directed Acyclic Graphs – DAGs) metodu kullanılarak incelenmiştir. Mevcut çalışma, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak dış ticaret, yenilenebilir enerji tüketimi ve diğer değişkenler arasındaki ilişkilere dair hiçbir önsel varsayımda bulunmamakta; bunun yerine, bu değişkenler arasındaki nedensel yapıyı belirlemek için tümevarımsal bir yönlendirilmiş döngüsüz graf kullanmaktadır. Analizlerden elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji tüketiminin kişi başına düşen gelirler üzerinde pozitif bir etki yarattığını ve bu etkinin ihracat ve ithalatı dolaylı olarak etkilediğini ortaya koymaktadır. Ancak, yenilenebilir enerji yatırımlarının doğrudan yabancı yatırımlar üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu olumsuz etkinin, yenilenebilir enerji projelerinin büyük ölçüde yerli ve devlet destekli olması nedeniyle yabancı yatırımcıların ilgisini sınırladığı düşünülebilir. Ayrıca, döviz kuru değişimlerinin ihracat ve kişi başına gelirler üzerinde belirleyici bir rol oynadığı, yerel para birimindeki değer kayıplarının ihracatı artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji tüketiminin Türkiye’nin dış ticaret dengesi ve ekonomik büyümesi üzerinde dolaylı fakat önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular ışığında, yenilenebilir enerji sektörüne yabancı yatırım çekilmesi, yerli teknoloji üretimi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine uygun enerji politikalarının geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Dış Ticaret, Yönlendirilmiş Döngüsüz Graflar

Jel Kodu: C60, Q20, Q27

Renewable Energy, Foreign Trade, and Economic Balances in Türkiye: A DAGs Approach

Abstract

This study explores the indirect effects of renewable energy consumption on economic growth, foreign trade (exports and imports), and foreign direct investment (FDI) in Türkiye over the period 1987-2023. Unlike other studies in the literature, the present study makes no a priori assumptions about the relationships between foreign trade, renewable energy consumption and other variables; instead, it uses an inductive directed acyclic graph to identify the causal structure between these variables. For the purpose of this study, inductive causal inference patterns between renewable energy consumption, GDP per capita, exports, imports, FDI and exchange rate variables are analyzed using the Directed Acyclic Graphs (DAGs) method. The analyses reveal that renewable energy consumption positively affects GDP per capita, which, in turn, indirectly influences both exports and imports. However, renewable energy investments are found to negatively impact FDI, likely due to the dominance of domestic and government-backed projects in the renewable energy sector, which limits opportunities for foreign investors. Additionally, exchange rate fluctuations play a crucial role in shaping both exports and GDP per capita, with currency depreciation leading to increased export competitiveness. Overall, the findings highlight that renewable energy consumption has significant indirect effects on Türkiye’s trade balance and economic growth. Based on these results, policies are recommended to attract foreign investment into the renewable energy sector, promote local technological development, and align energy strategies with sustainable development goals.

Keywords: Renewable Energy, Foreign Trade, Directed Acyclic Graphs

Jel Codes: C60, Q20, Q27

¹ Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde Doç. Dr. Muhammed Benli danışmanlığında hazırlanan “Yenilenebilir Enerji ve Dış Ticaret İlişkisi Üzerine İki Deneme” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

² **Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Bilecik, Türkiye. **E-posta:** muhammed.benli@bilecik.edu.tr **Orcid no:** 0000-0001-6486-8739

³ Yüksek Lisans Öğrencisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, Türkiye. **E-posta:** misanur98@gmail.com **Orcid no:** 0009-0008-9082-7576

Atıf/Citation: Benli, M., Gökyayın, M. (2025), Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Dış Ticaret ve Ekonomik Dengeler: DAGs Yaklaşımı, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27/2, s. 642-660.

Extended Abstract

Introduction

The global shift towards renewable energy has become one of the most defining structural transformations of the 21st century, driven not only by the imperative to mitigate climate change but also by the strategic need to reduce energy dependency and enhance macroeconomic resilience. For emerging economies such as Türkiye, where fossil fuel import dependence places persistent pressures on external balances, exchange rate stability, and long-run growth, the transition toward cleaner energy sources has macroeconomic implications that extend far beyond the environmental domain. Renewable energy investments increasingly influence production efficiency, trade competitiveness, industrial cost structures, and the country’s capacity to attract foreign capital. Despite this growing importance, empirical evidence on how renewable energy affects trade flows, economic performance, and foreign direct investment (FDI) through indirect causal pathways remains limited. Much of the existing literature relies on pre-imposed theoretical assumptions or linear models that implicitly restrict causal directions.

This study addresses this gap by analyzing Türkiye over the period 1987–2023, focusing on six core macroeconomic variables: renewable energy consumption, GDP per capita, exports, imports, FDI, and the exchange rate. Instead of specifying an a priori structural model, the study applies Directed Acyclic Graphs (DAGs), a data-driven approach which has recently gained traction in empirical macroeconomics and energy economics for uncovering causal structures directly from observational data. By adopting an inductive causal discovery framework, the analysis reveals directionality, magnitude, and connectivity of causal mechanisms without presupposing a theoretical ordering.

The contribution of this study is twofold. First, it provides evidence that renewable energy affects macroeconomic outcomes mainly through indirect channels rather than direct trade linkages. Second, the findings reveal that while renewable energy consumption supports growth and export capacity, it may simultaneously discourage foreign capital participation, reflecting a structural asymmetry in the financing of the Turkish energy transition. Taken together, these results offer novel empirical insights into how renewable energy consumption interacts with trade structure, growth dynamics, and capital formation.

Method

To uncover the causal architecture among the six variables, the study employs DAGs implemented using the PC algorithm in the TETRAD software. Unlike traditional regression frameworks, DAGs infer causal directionality based on conditional independence patterns. All variables are transformed into natural logarithms to ensure comparability and interpretation in elasticity form. Given the limited sample size (37 annual observations), a significance threshold of 0.30 is adopted, consistent with simulation-based recommendations suggesting higher significance levels for small-to-moderate sample sizes to avoid excessive edge deletion.

The procedure proceeds in three stages. In Step 1, a fully connected undirected graph is formed among all nodes. In Step 2, iterative zero-correlation and zero partial-correlation tests eliminate unsupported edges. In Step 3, the remaining edges are assigned directionality using separating sets and v-structure logic, yielding a directed graph free of cycles. For interpretability, maximum likelihood coefficients are extracted for each directed edge. Thanks to the log-linear transformation, each estimated path coefficient can be directly interpreted as an elasticity. For example, an estimated coefficient of 1.16 means that a 1% change in the parent variable induces a ~1.16% change in the child variable. This property makes DAG-based inference quantitatively meaningful, allowing indirect causal pathways to be interpreted in the same magnitude dimension as direct linkages.

This approach is particularly well-suited to the present research context for three key reasons. First, renewable energy affects macroeconomic outcomes through multi-step causal chains (e.g., energy → GDP → exports → imports), which linear bivariate causality frameworks cannot fully capture. Second, energy-trade-growth relationships in Türkiye are historically non-linear, institutional-path dependent, and sensitive to policy regimes. DAGs allow these patterns to emerge empirically instead of being imposed. Third, DAGs are robust to structural uncertainty and do not require the researcher to specify a correct theoretical model in advance—the model structure instead emerges from the data itself.

Result and Discussion

The findings show that renewable energy consumption exerts a positive influence on GDP per capita, which in turn enhances export competitiveness and stimulates import demand, reflecting the interconnected nature of trade. This pathway highlights the indirect role of renewable energy in strengthening Türkiye’s integration into global markets. Conversely, renewable energy consumption is associated with reduced FDI inflows, likely due to the dominance of state-led and domestically financed projects that limit opportunities for international investors. Exchange rate depreciation is found to increase exports and indirectly boost GDP per capita, although it may raise costs for import-dependent sectors.

The DAG outputs confirm theoretical expectations while also providing quantitative evidence of indirect channels. For instance, the pathway from renewable energy → GDP per capita → exports underscores how energy efficiency gains translate into improved trade

performance. Similarly, the chain from exports → imports → FDI reflects the complementary relationship between external demand, intermediate goods trade, and investment attraction. These causal maps demonstrate that renewable energy influences not only environmental sustainability but also the structural dynamics of trade and growth.

The study contributes to the literature by uncovering indirect causal mechanisms that traditional linear approaches may overlook. The results confirm that renewable energy supports economic growth and improves the trade balance, while also revealing a structural challenge in attracting foreign investment. Policymakers should therefore focus on integrating foreign capital into renewable energy projects, promoting public–private partnerships, and supporting domestic technological capacity. Moreover, maintaining exchange rate stability is crucial to maximize the growth-enhancing effects of renewable energy while mitigating risks to import-dependent industries.

Overall, aligning renewable energy strategies with trade and investment policies will be essential for Türkiye to achieve both economic resilience and environmental sustainability. Future research could extend this framework by analyzing sectoral variations or applying DAG-based approaches to cross-country comparisons.

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, küresel ölçekte enerji politikalarının merkezine yerleşmiş ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak isteyen ülkeler için stratejik bir öncelik haline gelmiştir. İklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha hissedilir hale gelmesi, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin teşvik edilmesine yönelik küresel baskıyı artırmıştır. Enerji sektöründe yaşanan bu dönüşüm, enerji güvenliğini güçlendirmenin yanı sıra ülkelerin ekonomik yapılarında da geniş kapsamlı etkiler yaratmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye, hem artan enerji talebini karşılamak hem de dışa bağımlılığı azaltarak ekonomik istikrarı sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Özellikle son yıllarda, enerji politikalarında yapılan reformlar ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artışı, Türkiye’nin enerji arzını çeşitlendirme ve sürdürülebilir büyüme hedeflerini ön plana çıkarmaktadır (Yılmaz & Hotunluoğlu, 2015; Akusta, 2023).

Küresel enerji sektöründe yaşanan dönüşümler, ekonomik büyüme, iklim değişikliğiyle mücadele ve enerji güvenliği açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2024) dünya genelinde enerji talebinin arttığını ve temiz enerjiye geçişin hızlandığını vurgularken, Montague vd. (2024) temiz enerji yatırımlarının önündeki temel engellerin yüksek finansman maliyetleri ve sermaye erişimi olduğunu ortaya koymaktadır. IEA vd. (2022), özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerjiye erişimde kaydedilen ilerlemenin yetersiz kaldığını ortaya koyarken, UNDP (2022; 2023) bu ülkelerin enerji altyapısının yenilenmesi ve modernize edilmesi için daha fazla uluslararası desteğe ihtiyaç duyduğunu ifade etmektedir.

Jeopolitik riskler ve bölgesel çatışmalar enerji güvenliğini giderek daha kırılgan hale getirmektedir. Orta Doğu’daki istikrarsızlıklar ve Rusya–Ukrayna savaşı, fosil yakıt tedarikinde aksamalara yol açarak enerji fiyatlarında dalgalanmalara neden olmaktadır (IEA, 2024; IMF, 2023). Özellikle stratejik ticaret yollarında yaşanabilecek kesintiler küresel petrol ve doğalgaz akışlarını tehdit etmektedir. Bu durum, Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı ülkelerde yerli enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve yenilenebilir enerjiye yönelmenin önemini artırmaktadır.

Artan iklim değişikliği riskleri ve sıcaklık dalgalanmaları, enerji sistemlerinin daha dayanıklı ve esnek olmasını zorunlu kılmaktadır. Shukla vd. (2022) daha iddialı emisyon azaltım hedeflerinin yenilenebilir enerji yatırımlarını hızlandırdığını vurgulasa da, gelişmekte olan ülkeler için bu dönüşümün mali yükünün ağır olduğu ve uluslararası finansman ihtiyacının arttığı görülmektedir. Türkiye için de enerji altyapısının modernize edilmesi, emisyon hedeflerine uyum sağlanması açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (IEA vd., 2022; UNDP, 2023).

Öte yandan enerjiye erişimdeki küresel eşitsizlikler önemli bir sorun olarak devam etmektedir. IEA vd. (2022) verileri, milyonlarca insanın hâlâ elektriğe erişemediğini ve bu durumun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki enerji adaletsizliğini derinleştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle, evrensel enerji erişimi hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha geniş ölçekte yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Son olarak, temiz enerji projelerinin finansmanında yaşanan zorluklar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yatırım maliyetlerini artırmakta ve yenilenebilir enerjiye geçişi yavaşlatmaktadır. Montague vd. (2024) ve UNDP (2022; 2023) bu engellerin aşılması için yeşil tahvil ve sürdürülebilir finansman araçlarının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Türkiye gibi ülkeler açısından bu tür mekanizmalar, yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmak ve uzun vadede ekonomik

ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin artması, ekonomik büyüme ve makroekonomik istikrar üzerinde önemli etkiler yaratabilecek potansiyele sahiptir. Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı ülkelerde, yerli yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, dışa bağımlılığı azaltarak enerji maliyetlerini düşürebilir ve enerji fiyatlarındaki oynaklığı sınırlayabilir ki bu durum, ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiler yaratabilir. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar, enerji sektörünün yanı sıra, üretim maliyetlerini azaltarak ve enerji güvenliğini artırarak sanayi ve ticaret sektörlerinde de doğrudan etkiler yaratabilir. Dolayısıyla, enerji politikalarının ekonomik büyüme, dış ticaret dengesi ve doğrudan yabancı yatırımlar gibi makroekonomik göstergeler üzerindeki etkileri, gelişmekte olan ülkeler için büyük bir stratejik öneme sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiler üzerindeki etkileri, enerji bağımsızlığı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki bağlamında önem kazanmaktadır. Türkiye, enerji tüketiminin büyük bir kısmını ithal ettiği fosil yakıtlar aracılığıyla karşılayan bir ülkedir (Arslan & Solak, 2019). Bu durum, enerji maliyetlerini artırırken, döviz rezervleri üzerindeki baskıyı da artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılması, Türkiye'nin dışa bağımlılığını azaltarak enerji maliyetlerini düşürdüğü gibi enerji fiyatlarındaki oynaklıkların yarattığı ekonomik belirsizlikleri de sınırlayıcı bir rol üstlenmektedir. Enerji fiyatlarının ekonomik büyüme üzerindeki belirleyici rolü göz önüne alındığında, yenilenebilir enerjiye geçişin ekonomik istikrar üzerinde pozitif etkileri olabileceği düşünülebilir.

Ayrıca, yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımların ekonomik büyümeyi tetikleyici bir unsur olduğu ifade edilebilir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesini artırmaya yönelik politikaları, yeni istihdam olanakları yarattığı gibi sanayinin rekabet gücünü de artırmaktadır. Nitekim yenilenebilir enerji, enerji yoğun sektörlerde üretim maliyetlerinin düşmesine yol açarak bu sektörlerin küresel ticarete daha rekabetçi hale gelmesine katkıda bulunmaktadır (Ayhan & İnançlı, 2021). Özellikle enerji fiyatlarının dalgalı olduğu dönemlerde, yenilenebilir enerjiye geçişin ekonomik büyümeye sağlayacağı katkılar daha belirgin hale gelmektedir.

Enerji tüketimi ile dış ticaret arasındaki ilişki, özellikle enerji ithalatına bağımlı ülkeler açısından kritik bir konudur. Türkiye, tarihsel olarak büyük ölçüde fosil yakıt ithalatına bağımlı bir ülke olmuştur. Bu durum, enerji ithalatının cari açık üzerinde baskı yaratarak ekonomik büyüme üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturmaya neden olmuştur. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye girmesiyle birlikte, enerji ithalatının azalması ve yerli enerji kaynaklarının kullanılması, Türkiye'nin dış ticaret dengesi üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. Nitekim enerji ithalatının azalmasıyla birlikte cari açığın düşmesi ve dış ticaret dengesinin iyileşmesi beklenebilir. Yenilenebilir enerji, enerji yoğun sektörlerde üretim maliyetlerini düşürerek bu sektörlerin uluslararası piyasalarda daha rekabetçi hale gelmesini de sağlayabilir. Bu durum, özellikle sanayi ürünlerinin ihracatını artırıcı bir etki yaratabilir. Türkiye'nin ihracat performansında enerji tüketiminin oynadığı rol, bu bağlamda önem kazanmaktadır.

Doğrudan yabancı yatırımlar (DYY), bir ülkenin ekonomik büyümesini destekleyen önemli bir sermaye kaynağıdır (Seenivasan, 2014). Ancak, yenilenebilir enerji tüketiminin DYY üzerindeki etkileri karmaşık bir yapıya sahiptir. Yenilenebilir enerji sektörüne yapılan yatırımlar, genellikle yüksek sermaye gereksinimleri ve uzun geri dönüş süreleri ile karakterize edilmektedir (İlarslan, 2021). Bu durum, yabancı yatırımcıların yenilenebilir enerji sektörüne yönelik ilgisini sınırlayabilir. Türkiye'de enerji politikalarında yaşanan değişimler ve yenilenebilir enerjiye yapılan kamu yatırımları,

yabancı yatırımcıların sektöre girmesini zorlaştırabilir ve DYY’nin azalmasına yol açabilir. Özellikle enerji sektörüne yapılan büyük ölçekli kamu yatırımları, yabancı sermayeyi dışlayarak DYY üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir.

Bu bilgiler ışığında, mevcut çalışma, Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme, dış ticaret (ihracat ve ithalat) ve doğrudan yabancı yatırım üzerindeki dolaylı etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, enerji güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma perspektifinden ele alınmakta, ayrıca bu büyümenin ticaret ve yabancı yatırım gibi ekonomik performansın diğer önemli göstergelerine nasıl yansıdığı incelenmektedir. Özellikle Türkiye’nin dış ticaret yapısında yenilenebilir enerji tüketiminin oynadığı dolaylı rol üzerine odaklanılmaktadır. Bu çerçevede çalışma, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi nasıl etkilediğini ve bu etkinin ihracat ve ithalat üzerindeki yansımalarını ele almaktadır.

Bu çalışma, Türkiye’de yenilenebilir enerji ile dış ticaret arasındaki ilişkileri nedensellik çerçevesinde ele alarak literatüre katkı sunmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketiminin doğrudan etkilerinin yanı sıra, dış ticaret ve yabancı sermaye gibi kanallar üzerinden ortaya çıkan dolaylı etkiler de dikkate alınmıştır. Bu yönüyle çalışma, enerji ekonomisi ve dış ticaret literatüründe sınırlı biçimde incelenmiş bir konuya odaklanmakta ve yenilenebilir enerji politikalarının ekonomik dengeler üzerindeki çok boyutlu etkilerini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, politika yapıcılar açısından yenilenebilir enerji yatırımlarının sadece çevresel değil aynı zamanda ekonomik ve ticari sonuçları olduğunu göstermekte ve literatürdeki tartışmalara ülke örneği temelli yeni bir katkı sağlamaktadır.

1. LİTERATÜR

Yenilenebilir enerji tüketimi, ticari dışa açıklık ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, küresel düzeyde çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu ilişkilerin yönü ve niteliği, ülke veya bölge düzeyinde farklılık gösterebilmekte; kullanılan yöntemler, analiz dönemleri ve değişkenlere bağlı olarak çeşitli sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji tüketiminin ticaret ve ekonomik büyümeyle olan etkileşimlerini anlamak için hem teorik hem de pratik katkılar sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji tüketimi ile ticari dışa açıklık arasındaki ilişki literatürde geniş biçimde incelenmektedir. Zeren & Akkuş (2020), gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin ticari dışa açıklığı azaltabileceğini göstermekte, sürdürülebilir ekonomi politikaları açısından bu sonucun kritik olduğunu vurgulamaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri üzerine yapılan Ümit & Dağdemir (2021) ise yenilenebilir enerji tüketiminden ticari dışa açıklığa doğru tek yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir. Ari (2020), Bosna Hersek örneğinde yenilenebilir enerji tüketiminin ticari açıklık üzerinde etkili olduğunu, bunun da koruma politikalarının ticaret üzerindeki yansımalarını anlamada önemli bir gösterge olduğunu ifade etmektedir. OECD ülkeleri için Zhang vd. (2021) farklı bir yöntem kullanarak, ticari açıklığın yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini ve eşik değerlerini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, farklı bölgelerde yenilenebilir enerji–dış ticaret ilişkilerinin yönü ve şiddetinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi enerji ekonomisi literatüründe en çok tartışılan konulardan biridir. Direkçi ve Gövdeli (2017), OECD dışı ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi olumlu etkilediğini ortaya koymaktadır. Shakouri ve Yazdi (2017), Güney Afrika için uzun dönemli iki yönlü nedensellik tespit ederek “geri besleme hipotezini” doğrulamaktadır. Sebri & Ben-Salha (2014), BRICS ülkeleri üzerinde benzer

biçimde çift yönlü ilişki bulmakta ve enerji-büyüme etkileşiminin kalkınma sürecinde kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Suudi Arabistan üzerine Berradia vd. (2023) de yenilenebilir enerji tüketimi ile büyüme arasında iki yönlü nedensellik bulgusu elde etmektedir. Bu çalışmalar metodoloji ve örneklem farklılıklarına rağmen, yenilenebilir enerjinin büyüme üzerinde yapısal bir öneme sahip olduğu konusunda örtüşmektedir.

Literatürde giderek artan sayıda çalışma yenilenebilir enerji ile DYY arasındaki etkileşime odaklanmaktadır. Bazı araştırmalar, yenilenebilir enerji yatırımlarının yabancı sermayeyi çektiğini, çünkü sürdürülebilirlik hedeflerinin küresel yatırımcılar açısından cazip olduğunu öne sürerken (örn. Iqbal vd., 2023), bazı ülke örneklerinde ise yenilenebilir enerji yatırımlarının daha çok yerli ve devlet destekli projelerle gerçekleşmesi nedeniyle DYY üzerindeki etkilerin sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu farklılıklar, yenilenebilir enerji-DYY ilişkisinin ülkelerin kurumsal yapısı ve yatırım politikalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Bölgesel çalışmalar da literatürde dikkat çekmektedir. Ghazouani vd. (2020), Asya-Pasifik bölgesinde yenilenebilir enerji, ticari dışa açıklık ve büyüme arasındaki karmaşık nedensellikleri tespit etmekte; Liu vd. (2018) aynı bölgedeki ticaret ve yenilenebilir enerji tüketiminin büyümeyi olumlu etkilediğini göstermektedir. Çin için Hao (2022), yenilenebilir enerji, ticaret ve karbon emisyonları arasında uzun vadeli iki yönlü ilişkiler bulurken; Rahman & Vu (2020), Avustralya ve Kanada'da Kyoto Protokolü sonrası dönemde enerji politikalarının ticaret ve emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çevresel sürdürülebilirlik boyutunda ise Khan vd. (2020), İskandinav ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin ticaret ve çevresel kaliteyi artırdığını; Iqbal vd. (2023), BRICS ülkelerinde yenilenebilir enerjinin büyümeyi desteklerken çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunduğunu; Ben Jebli vd. (2019) ise Latin Amerika'da yenilenebilir enerji, ticaret ve turizm arasındaki ilişkilerin karbon emisyonlarını azaltmada önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, literatür bulguları yenilenebilir enerji tüketiminin büyüme, dış ticaret ve yabancı sermaye üzerindeki etkilerinin ülke gruplarına, metodolojilere ve dönemlere göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Türkiye özelinde bu üç kanalın bütüncül bir çerçevede ele alındığı ve DAGs yöntemiyle dolaylı etki zincirlerinin analiz edildiği bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Çalışmamız bu boşluğu doldurarak yenilenebilir enerji yatırımlarının yalnızca büyüme değil aynı zamanda dış ticaret ve sermaye dengeleri üzerindeki etkilerini de ortaya koymakta ve politika tasarımına katkı sağlamaktadır.

2. VERİ VE METODOLOJİ

Bu çalışmada, Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi ve dış ticaret (ithalat ve ihracat) arasındaki nedensellik ilişkileri 1987-2023 dönemi verileri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına GSYİH, ihracat, ithalat, doğrudan yabancı yatırımı ve döviz kuru değişkenleri arasındaki tümevarımlı nedensel çıkarım şablonları, Yönlendirilmiş Döngüsüz Graflar (Directed Acyclic Graphs – DAGs) metodu kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler, yenilenebilir enerji tüketimi ve dış ticaret arasındaki ilişkiyi analiz eden literatürdeki benzer çalışmalardan ve verilerin elde edilebilirliğinden yola çıkılarak seçilmiştir. Daha simetrik dağılımlı seriler elde edebilmek amacıyla bütün seriler doğal logaritmik formlarında analize dahil edilmiştir. Analizde kullanılan serilere ilişkin özet bilgiler Tablo 1'de, tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1: Serilere İlişkin Açıklamalar

Hedef Değişken	Temsili Değişken	Sembol	Açıklama	Kaynak
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen birincil enerji tüketimi	RENEWABLE	Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen birincil enerji tüketiminin payı	Our World in Data
Ekonomik Büyüme	Kişi Başına Reel Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH)	GDPpc	2015 sabit fiyatlarıyla kişi başına düşen GSYİH	Dünya Bankası (The WB) - Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI)
İhracat	Reel İhracat	EXPORTS	2015 sabit fiyatlarıyla dolar cinsinden mal ve hizmet ihracatı	The WB – WDI
İthalat	Reel İthalat	IMPORTS	2015 sabit fiyatlarıyla dolar cinsinden mal ve hizmet ithalatı	The WB – WDI
Doğrudan Yabancı Yatırım	Doğrudan Yabancı Yatırım Girişleri	FDI	Doğrudan yabancı yatırımların (net girişler) GSYİH içerisindeki payı	The WB – WDI
Döviz Kuru	Dolar Kuru	EXCHANGE	Resmi döviz kuru (ABD doları başına TL, dönem ortalaması)	The WB – WDI

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

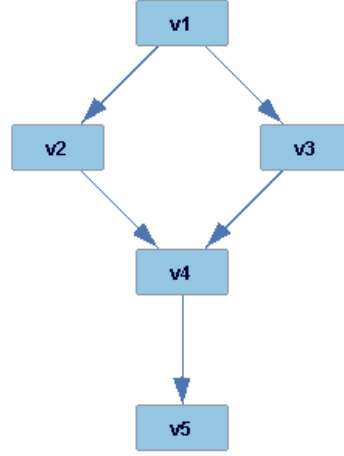
Değişkenler	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum	Çarpıklık	Basıklık
RENEWABLE	37	13.278	2.840	8.238	19.008	0.299	2.523
GDPpc	37	8277.257	2888.171	4957.363	14630.370	0.669	2.196
EXPORTS	37	133 milyar	87.7 milyar	25.2 milyar	316 milyar	0.522	2.129
IMPORTS	37	144 milyar	86.3 milyar	26.8 milyar	307 milyar	0.137	1.622
FDI	37	1.149	0.835	0.132	3.623	1.135	4.002
EXCHANGE	37	2.685	4.768	0.001	23.739	3.139	13.031
lnRENEWABLE	37	2.564	0.217	2.109	2.945	-0.162	2.481
lnGDPpc	37	8.965	0.336	8.509	9.591	0.326	1.780
lnEXPORTS	37	25.360	0.776	23.652	26.478	-0.339	1.869
lnIMPORTS	37	25.455	0.761	24.012	26.450	-0.515	1.924
lnFDI	37	-0.129	0.773	-2.026	1.287	-0.196	2.305
lnEXCHANGE	37	-0.855	2.826	-7.062	3.167	-0.885	2.583

Not: Yazar hesaplamaları

2.1. Yönlendirilmiş Döngüsüz Graflar (DAGs)

İktisat literatüründeki ampirik çalışmalar, ekonomik modellere ait parametreleri tanımlamak ve ölçmek için genellikle iktisat teorilerine ve araştırmacıların önsezilerine dayanır. Ancak bu teoriler, modeldeki değişkenler arasındaki gözlemsel verilere dayalı nedensel yapıyı belirlemek için çoğu zaman yeterli bilgi sağlamaz ve yanlış nedensel çıkarımlara yol açabilir (Kwon & Bessler, 2011; Benli, 2019). Bu kapsamda, gözlemsel verilere dayalı tümevarımsal nedensellik kullanılması, ilgili iktisadi değişkenler arasındaki ilişkiye dair daha doğru sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayabilir (Benli, 2019; Acar & Benli, 2020; Li vd., 2013).

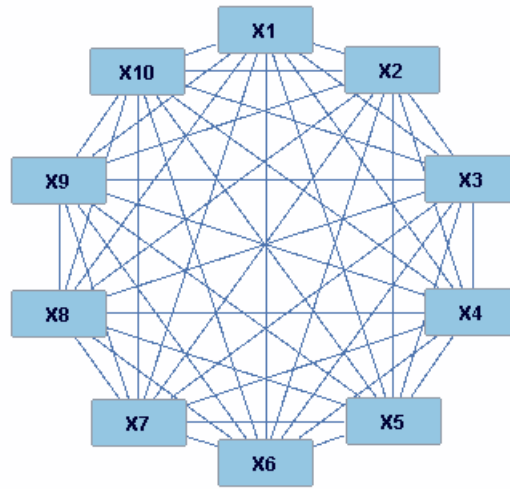
DAGs, nedensel modellemede yaygın olarak kullanılmakta ve basitçe, döngü içermeyen yönlendirilmiş graflar olarak tanımlanmaktadır. Bir digraf, boş olmayan sonlu bir değişkenler kümesi (V) ve yönlendirilmiş oklar kümesinden (E) oluşan bir matematiksel yapıdır [$G = (V, E)$]. Değişkenler düğümlerle, değişkenler arasındaki ilişkiler ise düğümleri birbirine bağlayan yönlendirilmiş oklarla gösterilir. Yönlendirilmiş döngüsüz bir graf, herhangi bir yönlendirilmiş döngü içermeyen bir digraftır (herhangi bir düğümden yönlendirilmiş okları takip ederek aynı düğüme geri dönmek mümkün değildir). Şekil 1’de böyle bir yönlendirilmiş döngüsüz graf temsili olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, döngüsel graflar



Şekil 2: Eşitlik 2’deki Ayrışımı Temsil Eden Yönlendirilmiş Döngüsüz Graf

Verma & Pearl (1990), "yönlü ayırma (d-separation)" yöntemiyle koşullu bağımsızlıkların grafiksel olarak gösterilebileceğini ortaya koymuştur. Spirtes ve diğerleri (2001) ise bu prosedürü gözlemsel verilere uygulayarak yönlendirilmiş grafların oluşturulmasını sağlayan "kısmi korelasyon (PC) algoritması"nı geliştirmiştir. PC algoritması ve türevleri, bu çalışmada da kullanılan TETRAD VII yazılım programında yer almaktadır (Acar & Benli, 2020).

PC algoritması, basitçe, tüm değişkenlerin (düğümlerin) birbirine yönlendirilmemiş bir ayırıt ile bağlı olduğu bir graf oluşturmakla başlar (Şekil 3). Ardından, bu ayırıtlar, Fisher’ın sıfır korelasyon ve sıfır kısmi (koşullu) korelasyon z testine dayalı kademeli bir test etme yöntemi kullanılarak adım adım kaldırılır. Testi geçen ayırıtlar, sepset kavramı yardımıyla yönlendirilir. Algoritmanın işleyişi ve yönlendirilmiş döngüsüz graf şablonlarının oluşturulmasıyla ilgili ayrıntılar Spirtes vd. (2001) çalışmasında kapsamlı şekilde açıklanmaktadır (Benli, 2019).



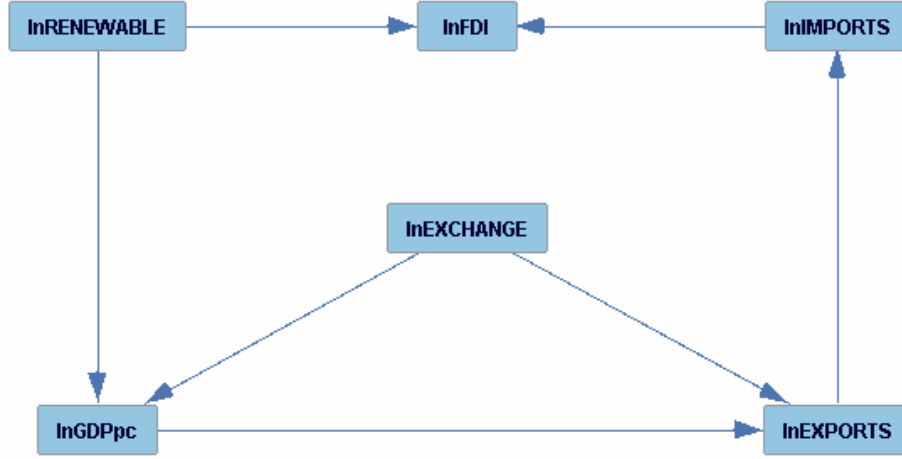
Şekil 3: Yönlendirilmemiş Graf Örneği

Monte Carlo simülasyonlarına göre, PC algoritması özellikle 100 gözlemden daha az örneklem büyüklüğünde, ayırıtların yönlerini belirlemede ve ayırıtı çıkarma/ekleme aşamalarında hatalar yapabilmektedir (Spirtes vd., 2001; Demiralp & Hoover, 2003; Zhang vd., 2006). Bu nedenle, Spirtes vd. (2001), örneklem büyüklüğü azaldıkça daha yüksek anlamlılık

düzeylerinin, örneklem büyüklüğü arttıkça ise daha düşük anlamlılık düzeylerinin kullanılmasını önermektedir (örneğin, 100'den az örneklem için 0.2 veya 0.3, 100 ile 300 arasında ise 0.1). Çalışmamızın dönemi (1987-2023) dikkate alınarak, analizlerimizde, değişkenler arasında açık şekilde belirli bir yönlendirilmiş sıralamayı veren %30 anlamlılık düzeyi kullanılmıştır (Acar & Benli, 2020).

3. BULGULAR

PC algoritması yardımıyla oluşturulan graf, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Yönlendirilmiş Graf

Elde edilen tümevarımlı nedensel çıkarım şablonu, yenilenebilir enerji tüketiminin, kişi başına gelirleri ve doğrudan yabancı yatırımını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi, aynı zamanda, kişi başına GSYİH üzerindeki etkisi yoluyla da ihracat hacmini ve dolayısıyla da ithalat hacmini dolaylı olarak etkilemektedir. Ampirik sonuçlar, ayrıca, döviz kurundan ihracat hacmi ve kişi başına GSYİH'ye doğru tek yönlü nedensellikleri işaret etmektedir. Diğer taraftan, ithalat hacmi doğrudan yabancı yatırımların dolaysız bir nedenidir.

Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Yenilenebilir Enerji → DYY: Yenilenebilir enerji kullanımındaki değişimler doğrudan yabancı yatırım seviyesini etkilemektedir.
- Yenilenebilir Enerji → Kişi Başı GSYİH: Yenilenebilir enerji tüketimindeki değişiklikler ülkenin kişi başına düşen gelir seviyesini etkilemektedir.
- Kişi Başı GSYİH → İhracat: Kişi başı GSYİH'daki değişiklikler ihracat düzeyini etkilemektedir.
- İhracat → İthalat: İhracattan ithalata doğru bir nedensellik ilişkisi mevcuttur. İhracat düzeyindeki değişiklikler, ülkenin ithalat faaliyetlerinde değişikliklere yol açmaktadır.
- İthalat → DYY: İthalattaki değişiklikler DYY düzeyinde değişimlere neden olmaktadır.

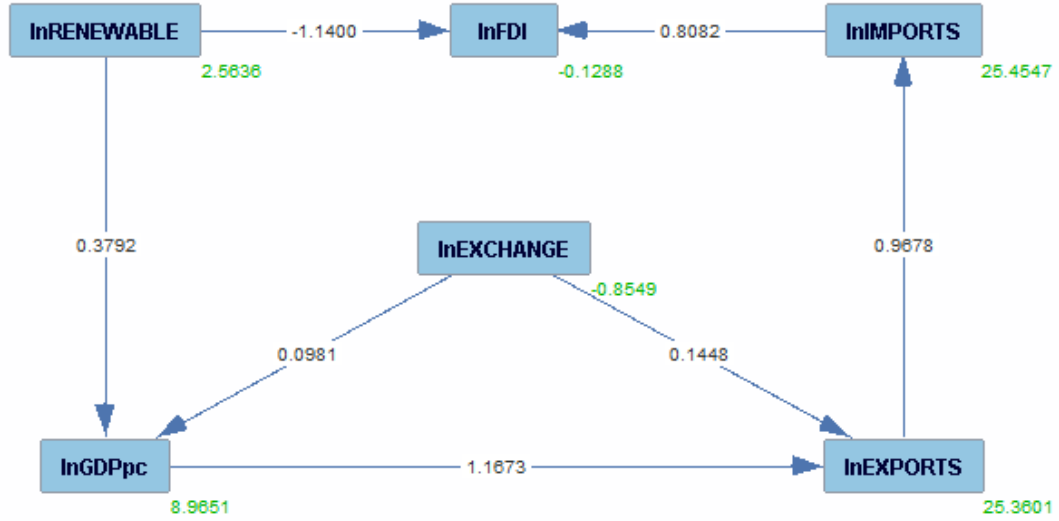
- Döviz Kuru → İhracat: Döviz kuru ihracatta değişikliklere neden olmaktadır.
- Döviz Kuru → Kişi Başı GSYİH: Döviz kuru aynı zamanda kişi başı GSYİH’de de değişikliklere neden olmaktadır.

Elde edilen bulgular yenilenebilir enerji tüketimi ile ticaret (ihracat ve ithalat) arasındaki ilişkinin, modelde dolaylı olarak ortaya çıktığını göstermektedir.

- Yenilenebilir Enerji → Kişi Başı GSYİH → İhracat: Yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başı GSYİH’yi etkilemekte ve kişi başı GSYİH’deki değişiklikler de ihracat düzeyini etkilemektedir. Başka bir deyişle, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme veya gelir düzeyleri üzerindeki etkisi aracılığıyla ihracatı dolaylı olarak etkilemektedir.
- Yenilenebilir Enerji → Kişi Başı GSYİH → İhracat → İthalat: Aynı dolaylı etkinin ithalat için de geçerli olduğu ifade edilebilir. İhracat ithalatı etkilediği için, yenilenebilir enerji tüketimi, önce kişi başı GSYİH’yi etkileyerek ihracatı değiştirmekte ve bu ihracat değişiklikleri de ithalatı etkilemektedir.

Dolayısıyla, yenilenebilir enerji ile ticaret (ihracat ve ithalat) arasındaki ilişkinin dolaylı olduğu ifade edilebilir. Yenilenebilir enerji tüketimi önce kişi başı GSYİH’yi etkilemekte; bu da ihracatı değiştirmekte ve bu ihracat değişiklikleri de ithalatı etkilemektedir. Başka bir ifadeyle, yenilenebilir enerji ticareti doğrudan değil, nedensellik zinciri üzerinden dolaylı olarak etkilemektedir.

TETRAD yazılım programı, parametre (düğüm) değerlerine ait maksimum olabilirlik tahminlerinin (maximum likelihood estimates) hesaplanmasını da sağlamaktadır. Bu bağlamda, ayrıt katsayılarını (ayrıntlar üzerinde belirtilmiş) ve değişkenlerin ortalama değerlerini (yeşil renkle gösterilen yazı tipinde) içeren yönlendirilmiş döngüsüz graflar Şekil 5’te sunulmuş olup, ayrıtlarla ilgili istatistikler ise Tablo 3’te verilmiştir. Logaritmik dönüşüm sayesinde bu katsayılar elastikiyet yorumu yapılmasına olanak vermektedir. Başka bir deyişle, bir yol katsayısı ilgili değişkende yüzde birimlik değişimin bağlantılı değişken üzerinde ne kadarlık bir yüzde değişime karşılık geldiğini göstermektedir. Örneğin bir katsayının 1.16 olması, bağımsız değişkende meydana gelen %1’lik artışın bağımlı değişkende yaklaşık %1.16’lık bir değişime yol açtığını ifade etmektedir. Bu özellik, DAG yapısındaki ilişkilerin yalnızca yönsel değil, aynı zamanda büyüklük bakımından da anlamlandırılabilmesine imkân tanımaktadır.



Şekil 5: Yönlendirilmiş Graf ve Ayrıtlara İlişkin Katsayılar

Tablo 3: Ayrıtl İstatistikleri

Ayrıtl	Katsayı	Standart Hata	t-stat	Olasılık Değeri (P)
$\ln RENEWABLE \rightarrow \ln GDP_{pc}$	0.379	0.122	3.110	0.004
$\ln GDP_{pc} \rightarrow \ln EXPORTS$	1.167	0.076	15.430	0.000
$\ln EXPORTS \rightarrow \ln IMPORTS$	0.968	0.027	36.087	0.000
$\ln IMPORTS \rightarrow \ln FDI$	0.808	0.103	7.832	0.000
$\ln EXCHANGE \rightarrow \ln GDP_{pc}$	0.098	0.009	10.486	0.000
$\ln EXCHANGE \rightarrow \ln EXPORTS$	0.145	0.009	16.110	0.000
$\ln RENEWABLE \rightarrow \ln FDI$	-1.140	0.362	-3.146	0.003

Not: P ve t için sıfır hipotezi, parametrenin sıfır olduğudur.

Elde edilen bulgulara şu şekilde özetlenebilir:

- Yenilenebilir Enerji → DYY (Negatif Etki): Yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın doğrudan yabancı yatırımlar üzerinde olumsuz bir etkisi mevcuttur. Bu, yenilenebilir enerji projelerinin yerel kaynaklardan sağlanması veya dış yatırımlara olan ihtiyacı azaltmasıyla açıklanabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektöründeki yerel projeler ve devlet destekli yatırımlar, dış yatırımcıların ilgi alanını daraltabilir. Örneğin, yabancı sermaye fosil yakıt sektörüne daha fazla odaklanırken, yenilenebilir enerji yatırımları iç pazara yönelebilir.
- Yenilenebilir Enerji → Kişi Başı GSYİH (Pozitif Etki): Yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başı GSYİH'yi pozitif yönde etkilemektedir. Bu, ekonominin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yaparak daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesiyle bağlantılı olabilir. Yenilenebilir enerji yatırımları, enerji maliyetlerini düşürerek üretim maliyetlerini azaltabilir ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi hızlandırabilir. Ayrıca, bu sektörlerde oluşan yeni iş imkanları da kişi başı gelir artışına katkıda bulunabilir. Dolayısıyla, yenilenebilir enerji gelişimi uzun dönemde ekonomik refahı artırabilir.
- Kişi Başı GSYİH → İhracat (Pozitif Etki): Kişi başı GSYİH'daki artışlar, ihracat hacmini artırmaktadır. Bu durum, ülkenin üretim kapasitesinin ve rekabet gücünün arttığını, dolayısıyla daha fazla mal ve hizmet üretebilecek duruma

geldiğini göstermektedir. Ekonomik büyüme, hem mal kalitesini artırarak hem de üretim miktarını çoğaltarak dış pazarlara yönelik ihracatın artmasına imkan verebilir. Aynı zamanda, teknolojik gelişim ve inovasyon, yerli ürünlerin dış piyasada daha çekici hale gelmesine yardımcı olabilir.

- İhracat → İthalat (Pozitif Etki): İhracattaki artışlar, ithalatı artırmaktadır. İhracatın büyümesi, ülkeye daha fazla döviz girdisi sağladığı için ithalat yapma kapasitesini genişletmektedir. Ayrıca, Türkiye, ihracata dayalı bir büyüme stratejisi izlerken aynı zamanda üretim süreçlerinde kullanılacak ara malları ve teknolojileri ithal etmektedir. Bu ilişki, küresel tedarik zincirlerinde artan bağımlılıkla da uyumludur; daha fazla ihracat yapmak, üretimde kullanılacak ithal girdilerin de artması anlamına gelebilir.
- İthalat → DYY (Pozitif Etki): İthalat düzeyindeki artışlar, doğrudan yabancı yatırımları artırmaktadır. İthal edilen ürünler genellikle teknolojik ekipmanlar, ara mallar veya üretimde kullanılan hammaddeler olabilir. Bu durum, yabancı yatırımcılar için cazip bir yatırım ortamı yaratabilir; çünkü Türkiye gibi ithalat kapasitesinin yüksek olduğu ülkelerde üretim süreçlerinin devamlılığı sağlanabilir ve bu da yabancı firmaların ilgisini çekebilir. Örneğin, yüksek teknoloji ithalatının, yabancı yatırımcıları Türkiye’de üretim tesisleri kurmaya teşvik ettiği ifade edilebilir.
- Döviz Kuru → İhracat (Pozitif Etki): Döviz kurundaki değişimler ihracat üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Yerel para biriminin değer kaybetmesi (devalüasyon), yerli ürünlerin yabancı piyasalarda daha ucuz hale gelmesini sağlar ve bu da ihracatın artmasına yol açar. Döviz kuru, rekabet gücünü belirleyen önemli bir faktördür; kurun dış piyasalarda avantaj sağlaması, ülkenin ihracatını artırabilir. Örneğin, Türk Lirası gibi zayıf bir yerel para birimi, yabancı alıcılar için maliyet avantajı yaratır ve talebi yükseltir.
- Döviz Kuru → Kişi Başı GSYİH (Pozitif Etki): Döviz kuru, aynı zamanda kişi başı GSYİH üzerinde de etkilidir. Döviz kurunun ekonomik büyümeyi artıran bir etken olduğu durumlarda, ithalat maliyetleri yükselse de yerel üretim ve ihracatın teşvik edilmesi, büyüme üzerinde olumlu bir etki yaratabilir. Başka bir deyişle, döviz kurundaki dalgalanmalar, ihracatı artırırken kişi başı geliri de yükseltebilir. Ancak bu durum, ithalat bağımlılığı olan sektörler için aynı ölçüde geçerli olmayabilir; ithalatın daha pahalı hale gelmesi bazı sektörlerde üretim maliyetlerini yükseltebilir.

Özetle, eldeki bulgulara göre yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve dış ticaret dinamiklerinde önemli bir role sahiptir. Yenilenebilir enerji yatırımları, doğrudan yabancı yatırımları azaltırken, kişi başı geliri artırarak ihracatı desteklemektedir. Bu ihracat artışı, ithalatı da artırmakta ve ithalatta görülen artış, yeni yabancı yatırımlar için uygun bir ortam yaratmaktadır. Döviz kuru ise, hem ihracat üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir hem de ekonomik büyümeyi şekillendirmektedir. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji, ticaret ve yatırım dinamiklerinin dolaylı ama birbirine bağlı olduğu bir ekonomik yapının ortaya çıktığı ifade edilebilir.

SONUÇ

Bu çalışma, 1987-2023 döneminde Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı yatırım ve ticaret (ihracat ve ithalat) arasındaki nedensel ilişkileri, DAGs yöntemi ile analiz etmektedir. Elde edilen ampirik

bulgular, yenilenebilir enerji tüketiminin makroekonomik göstergeler üzerindeki dolaylı etkilerine dair önemli sonuçlar sunmaktadır.

İlk olarak, analizler, yenilenebilir enerji tüketiminin kişi başına düşen GSYİH üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu ve bunun ihracat ve ithalatı dolaylı olarak etkilediğini göstermektedir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerjinin, enerji maliyetlerini düşürerek ekonomik büyümeyi desteklediği ve Türkiye'nin ihracat rekabetçiliğini artırdığı ifade edilebilir. İhracattaki artışın ithalatı da tetiklemesi dolayısıyla ticaret dinamiklerinin birbirine bağlı olduğu söylenebilir. İkinci olarak, yenilenebilir enerji tüketiminin doğrudan yabancı yatırımı üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji altyapısına yapılan büyük ölçekli kamu yatırımlarının yabancı yatırımcıların ilgisini sınırlamasıyla açıklanabilir. Ayrıca, yerli enerji kaynaklarının kullanılması, dış yatırım ihtiyacını azaltarak doğrudan yabancı yatırımların azalmasına neden olabilir.

Bulgular ayrıca döviz kurunun ihracat ve kişi başına GSYİH üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Türk lirasının değer kaybetmesi, yerli ürünlerin dış piyasalarda daha ucuz hale gelmesine ve ihracatın artmasına yol açmaktadır. Bunun da ekonomik büyümeye pozitif katkı sağladığı ifade edilebilir.

DAG çıktılarının ortaya koyduğu ilişkiler, yalnızca yönsel bağlantıları değil aynı zamanda ekonomi politik bağlamda önemli mekanizmaları da yansıtmaktadır. Örneğin, yenilenebilir enerji tüketiminden kişi başına GSYİH'ye doğru gözlenen pozitif etki, enerji maliyetlerinin azalması ve yeni istihdam olanaklarının artması yoluyla ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Bu artışın ihracat ve ithalat üzerindeki dolaylı etkileri ise Türkiye'nin dış ticaret yapısında yenilenebilir enerjiye geçişin rolünü vurgulamaktadır. Benzer şekilde, döviz kurunun ihracat üzerindeki yönlü etkisi, rekabet gücünü belirleyen temel bir mekanizma olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda DAG çıktıları yalnızca istatistiksel bir gösterim değil, Türkiye'nin enerji ve ticaret politikalarının şekillenmesinde dikkate alınması gereken nedensel yolların görsel bir haritası niteliğindedir.

Elde edilen sonuçlar literatürdeki bulgularla büyük ölçüde uyumludur. Örneğin, Bulut ve Muratoglu (2018), Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi desteklediğini vurgulamış, bizim çalışmamız da bu sonucu teyit etmektedir. Benzer şekilde, enerji tüketimi ile dış ticaret açıklığı arasındaki güçlü bağ, Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda da (örn. Şahbudak & Şahin, 2016) ortaya konmakta, bizim bulgularımız dış ticaret kanalı üzerinden ortaya çıkan dolaylı etkilerle bu sonuçları desteklemektedir. Ayrıca Naimoğlu (2021), dış ticaret açıklığı ve teknolojik gelişmenin yenilenebilir enerji kullanımını artırdığını göstermektedir; çalışmamızda elde edilen bulgular da Türkiye'nin dış ticaret dinamiklerinin enerji dönüşümünde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Son olarak, Türkiye'nin de içinde yer aldığı MINT ülkeleri üzerine yapılan araştırmalarda (Suleman vd., 2025), enerji ve ticaret arasındaki ilişkilerin güçlü olduğu görülmekte; bu da çalışmamızın ulaştığı sonuçların ülke grupları bağlamında da geçerli olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, sonuçlarımız yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik büyüme ve dış ticaret üzerinde kritik etkiler yarattığını, ancak yabancı sermaye açısından daha karmaşık bir tablo sunduğunu ortaya koymaktadır. Literatürdeki bulgularla ilişkilendirildiğinde, Türkiye'nin sürdürülebilir büyüme hedefleri için yenilenebilir enerjiye yöneliminin yalnızca içsel ekonomik dinamikler açısından değil, aynı zamanda dış ticaret ve uluslararası sermaye dengeleri bakımından da stratejik bir zorunluluk olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın gözlemsel veriye dayanması nedeniyle elde

edilen bulguların koşullu bağımlılıklar üzerinden kurulan nedensellik yapısını yansıttığı ve mutlak nedensellik iddiası taşımadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, yenilenebilir enerji tüketimi, Türkiye’nin dışa bağımlılığını azaltarak ticaret dengesini iyileştirmekte ve ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Ancak, çalışmadan elde edilen bulgulara göre yenilenebilir enerji tüketiminin doğrudan yabancı yatırımı üzerindeki olumsuz etkisi dikkate alınarak, yabancı yatırımcıları yenilenebilir enerji sektörüne çekmeye yönelik politikaların geliştirilmesi gerektiği aşıkardır. Nitekim gelecekteki çalışmaların, bu dinamiklerin uzun dönemde sürdürülebilirliğini daha ayrıntılı bir şekilde incelemesi yerinde olacaktır.

Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin artırılması ve ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin sürdürülebilir hale getirilmesi amacıyla birtakım politika çıkarımları yapılabilir. İlk olarak, yenilenebilir enerji projelerine yönelik doğrudan yabancı yatırımları artırmak için sektördeki yerli projelere yabancı sermaye entegrasyonu sağlanmalıdır. Bu amaçla, yenilenebilir enerji yatırımlarında yabancı yatırımcılar için teşvik paketleri geliştirilmeli, özellikle vergilendirme ve bürokratik engeller azaltılmalıdır. Ayrıca, kamu-özel ortaklıklarının teşvik edilmesi, büyük ölçekli yenilenebilir enerji projelerinde yabancı yatırımcıların ilgisini çekebilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji alanında yerli teknolojilerin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları teşvik edilmelidir. Türkiye’nin enerji sektöründe dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji teknolojilerinde yerli üretim kapasitelerinin artırılması gerekmektedir. Ar-Ge yatırımlarını destekleyen vergi indirimleri ve fonlar, yenilikçi çözümler geliştiren firmaların rekabet gücünü artırabilir.

Çalışmada gözlemlenen doğrudan yabancı yatırımlardaki düşüş, Türkiye’nin enerji sektörünün yapısal özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının büyük ölçüde kamu kaynakları ve yerli firmalar tarafından gerçekleştirilmesi, yabancı sermayenin projelere katılımını sınırlamaktadır. Özellikle elektrik üretiminde kullanılan güneş ve rüzgâr enerjisi projelerinin önemli bir kısmı yerli finansmanla hayata geçirilmiş, bu da yabancı yatırımcıların sektördeki rolünü daraltmıştır. Ayrıca, yabancı sermayenin geleneksel olarak fosil yakıt sektörlerine daha fazla yönelmesi, Türkiye’de yenilenebilir enerji alanındaki doğrudan yatırımların sınırlı kalmasına neden olmuştur. Bu bağlamda, DYY’nin azalması yalnızca ekonomik tercihlerden değil, aynı zamanda küresel yatırımcıların sektörel önceliklerinden kaynaklanmaktadır.

Türkiye’nin durumu, benzer yapıya sahip yükselen ekonomilerle kıyaslandığında da dikkat çekicidir. Örneğin, Brezilya ve Hindistan gibi ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımlarında kamu-özel işbirlikleri ve uluslararası finansman araçları daha yoğun şekilde kullanılmakta, bu da yabancı sermayeyi sektöre çekmektedir. Türkiye’de ise benzer mekanizmaların sınırlı kalması, DYY’nin daha düşük düzeylerde seyretmesine yol açmaktadır. Bu karşılaştırma, politika önerilerinin yalnızca ulusal düzeyde değil, aynı zamanda karşılaştırmalı perspektiften de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Türkiye’nin benzer ekonomilerle kıyaslandığında geri planda kaldığı noktaların belirlenmesi, politika yapıcılarının daha hedefli stratejiler geliştirmesine yardımcı olabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmak için finansal teşviklerin artırılması da önem arz etmektedir. Devlet, yenilenebilir enerji projelerine yönelik sübvansiyonlar, düşük faizli krediler ve yatırım destek fonları sağlayarak özel sektörün bu alandaki yatırımlarını teşvik edebilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar için amortisman sürelerinin kısaltılması gibi mali kolaylıklar sunulmalıdır. Yenilenebilir enerji yatırımlarına ek olarak, enerji

verimliliğini artıran projeler teşvik edilmelidir. Sanayi ve ticaret sektörlerinde enerji verimliliğini artıran teknolojilere yatırım yapan firmalar için vergi indirimleri, finansman destekleri ve teknik yardımlar sağlanarak enerji tasarrufu teşvik edilmelidir. Bu sayede, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeye katkısı daha da artırılabilir.

Türkiye, yenilenebilir enerji ekipmanları ve teknolojilerinin ihracatını artırarak dış ticaret dengesini güçlendirebilir. Özellikle güneş enerjisi panelleri, rüzgar türbinleri gibi ürünlerde yerli üretim artırılmalı ve dış pazarlara yönelik stratejik hedefler belirlenmelidir. Uluslararası pazarlarda Türkiye'nin rekabet avantajı elde etmesi için küresel sertifikasyon standartlarına uygun üretim yapılmalı ve ihracat teşvikleri geliştirilmelidir. Döviz kurundaki dalgalanmalar ihracat üzerinde doğrudan etkilere sahiptir. Bu nedenle, döviz kuru istikrarını sağlayacak para politikaları geliştirilmeli ve özellikle enerji sektörü ihracatını artıracak düzenlemelere öncelik verilmelidir. Ayrıca, ihracatçılar için döviz kuru riskine karşı koruma sağlayan finansal araçlar daha erişilebilir hale getirilmelidir.

Son olarak, Türkiye'nin uzun vadeli enerji politikaları, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu olacak şekilde yeniden şekillendirilmelidir. Bu kapsamda, enerji sektöründe karbon emisyonlarını azaltmayı amaçlayan stratejiler benimsenmeli ve yenilenebilir enerjiye dayalı üretim süreçlerinin yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. Ulusal enerji politikaları, hem çevresel sürdürülebilirliği hem de ekonomik büyümeyi aynı anda sağlayacak bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

ETİK BEYAN VE AÇIKLAMALAR

Etik Kurul Onay Bilgileri Beyanı

Çalışma, etik kurul izni gerektirmeyen bir çalışmadır.

Yazar Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar tüm çalışmaları birlikte yürütmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada potansiyel bir çıkar çatışması bulunmamaktadır

KAYNAKÇA

- Acar, Y. & Benli, M. (2020). Current Account Deficit–Budget Deficit–Debt Sustainability Triangle in Turkey: A Data Based Causality Analysis. *BİLTÜRK Journal of Economics and Related Studies*, 2(2), 398-409.
- Akusta, E. (2023). *Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Kapasite Kullanım Oranının Değerlendirilmesi*. S. Alpağut (Ed), *Ekonomi ve Finans Çalışmaları* (153-169) İçinde. Özgür Yayınları, Gaziantep.
- Ari, Y. O. (2020). The Relationship Between Renewable Energy Consumption, Trade Openness and Economic Growth: The Case of Bosnia and Herzegovina. *Economic Review: Journal of Economics and Business*, 18(1), 49-59.
- Arslan, E. & Solak, A. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İthalat Üzerindeki Etkisi. *OPUS International Journal of Society Researches*, 10(17), 1380-1407.
- Ayhan, B. & İnancılı, S. (2021). Enerji Politikalarının Belirlenmesinde Alternatif Politikalar ve Uygulanabilirliği. *Econder International Academic Journal*, 5(2), 223-254.
- Ben Jebli, M., Ben Youssef, S. & Apergis, N. (2019). The Dynamic Linkage Between Renewable Energy, Tourism, CO2 Emissions, Economic Growth, Foreign Direct Investment, and Trade. *Latin American Economic Review*, 28(1), 1-19.
- Benli, M. (2019). Yabancı Portföy Yatırımı-İktisadi Büyüme İlişkisi: Yönlendirilmiş Döngüsüz Graflar Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 53, 59-72.
- Berradia, H., Abid, M., Sakrafi, H., Gheraia, Z. & Abdelli, H. (2023). The Effect of Renewable Energy Consumption on Economic Growth in KSA: A Bootstrap Causality Test. *Energy & Environment*, 34(6), 1787-1804.
- Bulut, U. & Muratoglu, G. (2018). Renewable Energy in Turkey: Great Potential, Low but Increasing Utilization, and an Empirical Analysis on Renewable Energy-growth Nexus. *Energy policy*, 123, 240-250.
- Demiralp, S. & Hoover, K. D. (2003). Searching for the Causal Structure of a Vector Autoregression. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65, 745-767.
- Direkçi, T. B. & Gövdeli, T. (2017). The Relationship Between Renewable Energy Consumption and Economic Growth in non-OECD Countries. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(4), 298-307.
- Ghazouani, T., Boukhatem, J. & Sam, C. Y. (2020). Causal Interactions between Trade Openness, Renewable Electricity Consumption, and Economic Growth in Asia-Pacific Countries: Fresh Evidence from a Bootstrap ARDL Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110094.
- Hao, Y. (2022). The Relationship Between Renewable Energy Consumption, Carbon Emissions, Output, and Export in Industrial and Agricultural Sectors: Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63081-63098.
- International Monetary Fund (IMF). (2023). *World Economic Outlook: Navigating Global Divergences*. Washington, DC, October.
- International Energy Agency (IEA) (2024). *World Energy Outlook 2024*. OECD/IEA, Paris.
- World Bank, WHO. (2022). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. World Bank, Washington DC.
- Iqbal, A., Tang, X. & Rasool, S. F. (2023). Investigating the Nexus between CO2 Emissions, Renewable Energy Consumption, FDI, Exports and Economic Growth: Evidence from BRICS Countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2234-2263.
- İlarslan, K. (2021). Gelişmekte Olan Ülkelerde Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Finansal Belirleyicileri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(IERFM Özel Sayısı), 79-96.
- Khan, S. A. R., Yu, Z., Belhadi, A. & Mardani, A. (2020). Investigating the Effects of Renewable Energy on International Trade and Environmental Quality. *Journal of Environmental Management*, 272, 111089.
- Kwon, D. H. & Bessler, D. A. (2011). Graphical Methods, Inductive Causal Inference, and Econometrics: A Literature Review. *Computational Economics*, 38, 85-106.
- Li, Y., Woodard, J. D. & Leatham, D. J. (2013). Causality among Foreign Direct Investment and Economic Growth: A Directed Acyclic Graph Approach. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 45(4), 617-637.

- Liu, X., Zhang, S. & Bae, J. (2018). Renewable Energy, Trade, and Economic Growth in the Asia-Pacific Region. *Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(2), 96-102.
- Montague, C., Raiser, K., & Lee, M. (2024, July). *Bridging the Clean Energy Investment Gap* (OECD Environment Working Papers No. 245). https://www.oecd.org/en/publications/bridging-the-clean-energy-investment-gap_1ae47659-en.html
- Naimoğlu, M. (2021). The Impact of Economic Growth, Technological Development, and Trade Openness on Renewable Energy Use in Turkey: The Fourier Engle-Granger Cointegration Approach. *Ege Academic Review*, 22(3), 309-322.
- Rahman, M. M. & Vu, X. B. (2020). The Nexus between Renewable Energy, Economic Growth, Trade, Urbanisation and Environmental Quality: A Comparative Study for Australia and Canada. *Renewable Energy*, 155, 617-627.
- Sebri, M. & Ben-Salha, O. (2014). On the Causal Dynamics between Economic Growth, Renewable Energy Consumption, CO2 Emissions and Trade Openness: Fresh Evidence from BRICS Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14-23.
- Seenivasan, R. (2014). Analysis of the Relationship between FDI And Economic Growth. *Advances in Management*, 7(1), 47.
- Shakouri, B. & Khoshnevis Yazdi, S. (2017). Causality between Renewable Energy, Energy Consumption, and Economic Growth. *Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(9), 838-845.
- Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Fradera R., Pathak, M. Khourdajie, A., Belkacemi, M., van Diemen, R., Hasjia, A., Lisboa, G.Luz, S., Malley, J., McCollum, D., Some, S. & Vyas, P. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of climate change (*Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*), 10, 9781009157926.
- Spirtes, P., Glymour, C. & Scheines, R. (2001). *Causation, Prediction, and Search*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Suleman, S., Nawaz, F., Kayani, U., Aysan, A. F., Sohail, M., Thaker, H. M. T., & Haider, S. A. (2025). Drivers of Trade Market Behavior Effect on Renewable Energy Consumption: A study of MINT (Mexico, Indonesia, Nigeria, and Turkey) Economies. *Discover Sustainability*, 6(1), 141.
- Şahbudak, E., & Şahin, D. (2016). Relationship between Energy Consumption, Economic Growth and Trade Openness in Turkey. *Journal of International Social Research*, 9(42).
- UNDP. (2022). *UNDP Support to Energy Access and Transition: Evaluation of UNDP Support to the Energy Sector*. United Nations Development Programme. New York.
- UNDP. (2023). *Annual Report 2023*. United Nations Development Programme. New York.
- Ümit, A. Ö. & Dağdemir, A. (2025). The Relationship between Renewable Energy, Economic Growth and Trade Openness: New Evidence for EU Countries. *Sosyoekonomi*, 33(63), 161-182.
- Verma, T. & Pearl, J. (1990). *Causal Networks: Semantics and Expressiveness*. R.D. Shachter, T. S. Levitt, L. N. Kanal, J. F. Lemmer (Eds), Machine Intelligence and Pattern Recognition (69-76), In: Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Yılmaz, O. & Hotunluoğlu, H. (2015). Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 74-97.
- Zeren, F. & Akkuş, H. T. (2020). The Relationship between Renewable Energy Consumption and Trade Openness: New Evidence from Emerging Economies. *Renewable Energy*, 147, 322-329.
- Zhang, J., Bessler, D. A. & Leatham, D. J. (2006). Does Consumer Debt Cause Economic Recession? Evidence Using Directed Acyclic Graphs. *Applied Economics Letters*, 13(7), 401-407.
- Zhang, M., Zhang, S., Lee, C. C. & Zhou, D. (2021). Effects of Trade Openness on Renewable Energy Consumption in OECD Countries: New Insights from Panel Smooth Transition Regression Modeling. *Energy Economics*, 104, 105649.