

Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Ar-Ge Harcamaları ve Teknolojik İnovasyon Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Mücahit Ülger¹

Özet

Bu çalışma, Türkiye ekonomisinde emek, sermaye, teknolojik inovasyon, Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Analiz, veri kısıtları nedeniyle 1996–2021 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin belirlenmesinde, farklı durağanlık derecelerine sahip serilerle çalışmaya imkân tanıyan Toda–Yamamoto nedensellik yaklaşımı tercih edilmiştir. Elde edilen bulgular, ekonomik büyümeden emeğe ve teknolojiye doğru tek yönlü nedensellik ilişkilerinin varlığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik tespit edilirken, ekonomik büyüme ile sermaye arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye ekonomisinde sürdürülebilir büyüme sürecinde sermaye birikimi ve Ar-Ge faaliyetlerinin kritik rol oynadığını ve büyüme dinamiklerinin istihdam ve teknolojik inovasyon üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

1. Giriş

Küresel ekonomide sürdürülebilir büyümenin temel belirleyicilerinden biri teknolojik ilerleme olup, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) harcamaları inovasyon süreçlerinin ve ekonomik büyümenin başlıca itici güçlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Konya vd., 2022). Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi, yeterli kamu ve özel sektör finansmanının sağlanması ve nitelikli insan sermayesi ile bütünleşmesi; teknolojik yeniliklerin üretilmesi ve yayılmasını kolaylaştırarak firmaların rekabet gücünü artırmakta, ekonomik yapıların modernizasyonuna katkıda bulunmakta ve ülkelerin uzun dönemli

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, mucahit.ulger@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0300-099X

refah düzeylerinin yükselmesine zemin hazırlamaktadır (Badulescu vd., 2024). Eğitim harcamaları da insan sermayesinin niteliğini artırarak bilgi üretimini ve inovasyon kapasitesini güçlendiren önemli bir unsur olarak ekonomik büyüme sürecini desteklemektedir (Ertürkmen, 2023a). Bu bağlamda Ar-Ge harcamaları yalnızca endüstriler ve piyasalar arasındaki rekabeti güçlendirmekle kalmayıp, üretim, tüketim ve ihracatı teşvik ederek makroekonomik istikrarın sağlanmasında ve sürdürülebilir büyümenin tesis edilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Ahmad, 2021). Nitekim Ar-Ge yatırımlarının ekonomik büyüme düzeyinin korunmasında etkili olduğu kabul edilmekte ve bu durum ekonomilerin Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla kaynak ayırmasını teşvik etmektedir (Tulchynska vd., 2021). Teknoloji yoğun üretim yapısına geçiş, katma değeri yüksek sektörlerin gelişimini destekleyerek ülkelerin küresel değer zincirlerinde daha üst basamaklara yükselmesine olanak tanımakta; bu süreç aynı zamanda istihdam yapısının dönüşmesine ve nitelikli işgücü talebinin artmasına yol açmaktadır.

Özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından Ar-Ge faaliyetlerine öncelik verilmesi, üretim yapısının dönüşümü, dışa bağımlılığın azaltılması ve büyüme performansının hızlandırılması açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Özkan, 2022). Bu ülkelerde Ar-Ge yatırımlarının artırılması, teknoloji transferinin etkinleştirilmesi ve inovasyon ekosisteminin güçlendirilmesi, uzun vadede sürdürülebilir ve kapsayıcı büyümenin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla Ar-Ge harcamaları, yalnızca ekonomik büyümenin niceliksel artışını değil, aynı zamanda büyümenin niteliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini belirleyen temel unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Teknolojik inovasyon, günümüz küresel ekonomisinde ekonomik büyümenin ve rekabet gücünün temel belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Küreselleşme süreci ve piyasaların artan entegrasyonu, firmaları ve ülkeleri yenilikçi üretim yapıları geliştirmeye zorlamakta; inovasyon, farklı sektörlerde rekabetçi başarının başlıca itici gücü haline gelmektedir (Ahmad ve Zheng, 2023). Bu bağlamda teknolojik inovasyon, yalnızca firmaların piyasa koşullarına uyum sağlayarak varlıklarını sürdürebilmeleri için değil, aynı zamanda küresel büyüme ve ekonomik gelişmenin sağlanması açısından da kritik bir rol üstlenmektedir (Chaudhry vd., 2021). Ayrıca bilgi ve iletişim teknolojileri, bilgi akışını hızlandırarak ve iletişim süreçlerini kolaylaştırarak modern ekonomik ve toplumsal yapının dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır (Eryer, 2025). Teknolojik yenilik; ürün, hizmet ve üretim tekniklerinde önemli iyileştirmeler sağlayan yeni teknolojilerin, süreçlerin ve yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması sürecini ifade etmekte olup, verimlilik artışları yoluyla ekonomik performansı doğrudan etkilemektedir (Challoumis,

2024). Bu süreç, özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından üretim yapısının dönüşümünü hızlandıran ve ülkeleri daha rekabetçi ve iddialı konuma taşıyan başlıca itici güçlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Mohamed vd., 2022).

Nitekim Romer (1990), bilgi ve teknolojinin rakipsiz nitelikte olması nedeniyle ölçüğe göre artan getiriler yarattığını ve bu durumun uzun dönemli büyümenin sürdürülebilirliğini desteklediğini ileri sürmektedir. Teknolojik yeniliklere yapılan yatırımlar, verimlilik artışlarını teşvik ederek daha yüksek ve sürdürülebilir ekonomik büyüme düzeylerinin elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Sokolov-Mladenović vd., 2016). Dolayısıyla teknolojik inovasyon, yalnızca üretim kapasitesini artıran bir unsur değil, aynı zamanda büyümenin niteliğini, verimliliğini ve küresel rekabet gücünü belirleyen stratejik bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Ekonomik büyüme sürecinde sermaye ve emek, üretim kapasitesini belirleyen temel faktörler arasında yer almakta ve büyüme dinamiklerinin şekillenmesinde kritik roller üstlenmektedir. Fiziksel sermaye birikimi, üretim süreçlerinde verimlilik ve etkinliği artırarak, yenilik faaliyetlerini teşvik etmekte ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen nitelikli bir işgücünün oluşumuna katkı sağlamaktadır (Pomi vd., 2021). Bu yönüyle sermaye birikimi, yalnızca üretim hacmini genişleten bir unsur değil, aynı zamanda teknolojik ilerleme ve yapısal dönüşümün önemli bir taşıyıcısı olarak ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Nitekim Solow (1996), uzun dönemli büyümenin açıklanmasında fiziksel sermaye birikimi ile teknolojik ilerlemenin birlikte belirleyici olduğunu vurgulayarak, sermaye oluşumunun büyüme sürecindeki merkezi rolüne dikkat çekmiştir. Emek faktörü ise büyümenin hem niceliksel hem de niteliksel boyutunu yansıtan önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. İşgücüne katılım oranı, çalışma çağındaki nüfusun ekonomik faaliyetlere aktif katılım düzeyini ölçen temel bir göstergedir olup, üretim kapasitesinin ve ekonomik dinamizmin önemli bir belirleyicisidir (Haque vd., 2019). Bunun yanı sıra istihdam düzeyi, bir ekonominin yalnızca üretim kapasitesini değil, aynı zamanda ekonomik refahı ve toplumsal uyumu yansıtan temel göstergelerden biri olarak değerlendirilmektedir (Ertürkmen, 2023b). Yüksek işgücüne katılım oranı, üretim faktörlerinin daha etkin kullanılmasına ve ekonomik büyümenin desteklenmesine katkı sağlarken, işgücünün niteliği ve teknolojik uyum kapasitesi de büyümenin sürdürülebilirliği açısından belirleyici olmaktadır.

Küresel ekonomide sürdürülebilir büyümenin sağlanmasında Ar-Ge faaliyetleri, teknolojik inovasyon ve sermaye birikimi gibi üretim faktörlerinin rolü giderek artmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde büyüme dinamiklerinin yalnızca geleneksel üretim faktörleriyle değil, aynı zamanda

teknoloji ve inovasyon kapasitesiyle şekillendiği görülmektedir. Bu bağlamda, ekonomik büyümenin istihdam, sermaye birikimi ve teknolojik dönüşüm üzerindeki etkilerinin anlaşılması, etkin kalkınma ve sanayi politikalarının oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Çalışma, Türkiye ekonomisinde büyüme sürecinin hangi kanallar aracılığıyla şekillendiğini ortaya koyma ihtiyacından yola çıkarak gerçekleştirilmiştir. Bu motivasyondan hareketle çalışmanın amacı, Türkiye ekonomisinde 1996–2021 döneminde emek, sermaye, teknolojik inovasyon ve Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkilerini incelemek ve bu ilişkilerin yönünü belirlemektir. Bu bağlamda çalışma şu temel araştırma sorusuna yanıt aramaktadır: Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, emek, sermaye, teknolojik inovasyon ve Ar-Ge harcamaları arasında nedensellik ilişkisi var mıdır ve bu ilişkinin yönü nedir?

Türkiye, gelişmekte olan ekonomiler arasında sanayileşme, teknolojik dönüşüm ve üretim yapısında katma değer artışı hedefleri doğrultusunda önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Son yıllarda Ar-Ge harcamalarının artırılmasına yönelik politikalar, teknoloji odaklı üretim stratejileri ve istihdam yapısındaki değişimler, Türkiye’yi büyüme dinamiklerinin çok boyutlu olarak incelenmesi açısından önemli bir örnek haline getirmektedir. Bu nedenle Türkiye ekonomisi, üretim faktörleri, inovasyon ve büyüme arasındaki etkileşimi analiz etmek için uygun bir çalışma alanı sunmaktadır.

Bu çalışma literatüre birkaç açıdan katkı sağlamaktadır. Birincisi Türkiye ekonomisinde ekonomik büyüme, emek, sermaye, teknolojik inovasyon ve Ar-Ge harcamalarını birlikte ele alarak bu değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerini bütüncül bir çerçevede incelemektedir. İkincisi farklı durağanlık derecelerine sahip serilerle çalışmaya imkân tanıyan Toda–Yamamoto nedensellik yaklaşımını kullanarak yöntemsel açıdan güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Üçüncüsü elde edilen bulgular, büyüme sürecinin istihdam ve teknolojik inovasyon üzerindeki yönlendirici rolünü ortaya koyarak politika yapımcılar için önemli çıkarımlar sunmaktadır. Son olarak Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde sürdürülebilir büyüme stratejilerinin Ar-Ge yatırımları ve sermaye birikimi ile desteklenmesi gerektiğine yönelik ampirik kanıt sağlamaktadır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: ikinci bölümde ilgili literatür incelenmekte, üçüncü bölümde veri seti, model, yöntem ve ampirik bulgular sunulmaktadır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte ve politika çıkarımlarına yer verilmektedir.

2. Literatür

Literatür üç alt başlık altında incelenmiştir. İlk bölümde Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki ele alınmış, ikinci bölümde teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasındaki bağlantı incelenmiş, son bölümde ise emek ve sermaye faktörleri ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkilere yer verilmiştir. Çalışmada nedensellik analizi yöntemi kullanıldığından, literatür incelemesinde de ağırlıklı olarak nedensellik analizi yöntemine dayanan çalışmalara odaklanılmıştır.

2.1. Ar-Ge Harcamaları ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi nedensellik çerçevesinde inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde, literatürde ortak bir görüş birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Bu çalışmalar genel olarak üç grupta ele alınabilir: Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit eden çalışmalar, değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koyan çalışmalar ve iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi bulunmadığını belirleyen çalışmalar.

Literatürde Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit eden çalışmalar bulunmaktadır. Bu kapsamda Algan vd. (2017), Türkiye ekonomisini 1996–2015 dönemi için Granger nedensellik analizi kullanarak incelemiş ve Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Benzer şekilde Özkurt (2024), Türkiye ekonomisine ilişkin 1990–2020 dönemi verilerini Toda–Yamamoto nedensellik analizi ile incelemiş ve Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca Siokas ve Kremastioti (2026), Yunanistan ekonomisini 1986–2022 dönemi verileri ile Granger nedensellik analizi kullanarak incelemiş ve Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyümenin nedeni olduğunu tespit etmiştir.

Diğer taraftan bazı çalışmalar Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda Çınar ve Has (2022), Rusya, Çin, Japonya, Kore ve Türkiye’den oluşan beş ülkelik panel veri setini kullanarak 2000–2019 dönemini Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir. Benzer şekilde Badulescu vd. (2024), Romanya ekonomisi için 1995–2021 dönemi verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri Granger nedensellik analizi sonucunda Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmiştir.

Bununla birlikte literatürde iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisinin bulunmadığını ortaya koyan çalışma da yer almaktadır. Bu bağlamda Durucan ve Ulukök (2022), Türkiye ekonomisine ait 1990–2019 dönemi verilerini Toda–Yamamoto nedensellik analizi ile incelemiş ve Ar-Ge harcamaları ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi bulunmadığı sonucuna ulaşmıştır.

2.2. Teknolojik inovasyon ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde, literatürde bu iki değişken arasındaki ilişkinin yönü konusunda ortak bir görüş birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Bazı çalışmalar teknolojik inovasyondan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit ederken, bazı araştırmalar ekonomik büyümeden teknolojik inovasyona doğru tek yönlü nedensellik bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığını ortaya koyan çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

Literatürde teknolojik inovasyondan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit eden çalışmalar bulunmaktadır. Bu kapsamda Açıcı (2018), 13 OECD ülkesini kapsayan panel veri setini 2001–2016 dönemi için Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve teknolojik inovasyondan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Benzer şekilde Pradhan vd. (2018), 49 Avrupa ülkesine ait 1961–2014 dönemi verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri Granger nedensellik analizi sonucunda teknolojik inovasyondan ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca Mohamed vd. (2022), 20 gelişmekte olan ülke ekonomisini 1990–2018 dönemi için Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve teknolojik inovasyondan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir.

Buna karşılık bazı çalışmalar ekonomik büyümeden teknolojik inovasyona doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Örneğin Karataş ve Bozkurt (2022), 22 OECD ülkesinden oluşan panel veri setini 1980–2019 dönemi için panel nedensellik analizi ile incelemiş ve ekonomik büyümeden teknolojik inovasyona doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmiştir.

Literatürde teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koyan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu bağlamda Ramzi ve Wiem (2019), 25 ülke ekonomisini 1990–2014 dönemi için Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve iki değişken arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Dhar

vd. (2023), 34 OECD ülkesini kapsayan çalışmalarında 1961–2018 dönemi verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri Granger nedensellik analizi sonucunda teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir. Ayrıca Ülger vd. (2024), çok yüksek insani gelişme düzeyine sahip 15 ülke için 1990–2019 dönemini kapsayan çalışmalarında Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testini kullanarak ekonomik büyüme, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon arasındaki ilişkileri incelemiş ve teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur.

2.3. Emek ve Sermaye ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi

Emek ve sermaye ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde, literatürde bu değişkenler arasındaki ilişkinin yönü konusunda ortak bir görüş birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, bazı araştırmalar emek ve sermayeden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit ederken, bazı çalışmalar ekonomik büyümeden emek ve sermaye değişkenlerine doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığını tespit eden çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

Ljungberg ve Nilsson (2009), İsveç ekonomisini 1870–2000 dönemine ait verileri kullanarak Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve insan sermayesinden ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Wang vd. (2011), Çin ekonomisi için 1972–2006 dönemini kapsayan çalışmalarında sermaye, istihdam ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri Granger nedensellik testi ile analiz etmiş ve hem kısa hem de uzun dönemde sermaye ve istihdamdan ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Yenisu (2019) ise BRICS-T ülkelerini 1990–2017 dönemine ait verilerle incelemiş ve Granger nedensellik analizi sonucunda işgücü verimliliğinden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir.

Öte yandan bazı çalışmalar ekonomik büyümeden emek ve sermaye değişkenlerine doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Bu bağlamda Korkmaz (2017), 7 OECD ülkesini 2008–2014 dönemi için Granger nedensellik analizi ile incelemiş ve ekonomik büyümeden işgücü verimliliğine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Benzer şekilde Pasara ve Garidzirai (2020), Güney Afrika ekonomisi için 1980–2018 dönemini kapsayan çalışmalarında işsizlik, ekonomik büyüme ve brüt sermaye oluşumu arasındaki

ilişkileri incelemiş ve ekonomik büyümeden brüt sermaye oluşumuna doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Etokakpan vd. (2020) ise Malezya ekonomisini 1980–2014 dönemi için incelemiş ve ekonomik büyümeden brüt sermaye oluşumuna doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir. Benzer bir sonuca Artekin ve Erbay (2025) tarafından Norveç ekonomisi için 1991–2023 dönemini kapsayan Toda–Yamamoto nedensellik analizi sonucunda ulaşılmış ve ekonomik büyümeden işgücü verimliliğine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Literatürde emek ve sermaye ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koyan çalışmalar da bulunmaktadır. Maune ve Matanda (2022), Zimbabve ekonomisini 1960–2020 dönemine ait verilerle incelemiş ve Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik testi sonuçlarına göre brüt sermaye oluşumu ile ekonomik büyüme arasında hem tek yönlü hem de çift yönlü nedensellik ilişkileri bulunduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Moalla (2023), Latin Amerika ülkelerinden oluşan panel veri setini 1990–2018 dönemi için Dumitrescu–Hurlin nedensellik analizi ile incelemiş ve emek verimliliği ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir. Ayrıca Çelik ve Altıntaş (2025), Türkiye ekonomisini 1983–2022 dönemi için Toda–Yamamoto nedensellik analizi ile incelemiş ve ekonomik büyüme ile beşeri sermaye arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur.

3. Veri Tanımlama ve Model, Yöntem ve Ampirik Bulgular

3.1. Veri Tanımlama ve Model

Bu çalışma, Türkiye’de ekonomik büyüme, Ar-Ge harcamaları, teknolojik inovasyon, emek ve sermaye değişkenleri arasındaki nedensel ilişkiyi ve bu ilişkinin yönünü araştırmaktadır. Veri kısıtından dolayı çalışmanın analiz dönemi 1996-2021 yıllık verilerin oluşmaktadır. İlgili dönem Türkiye ekonomisinde önemli yapısal dönüşümleri kapsamakla birlikte, sınırlı gözlem sayısı zaman serisi analizlerinde örneklem büyüklüğüne duyarlı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, Toda–Yamamoto nedensellik testinden elde edilen bulgular küçük örneklem sınırlılığı dikkate alınarak ihtiyatlı biçimde yorumlanmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlerle ilgili detaylı bilgiler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Değişkenlerin Açıklamaları

Değişken Adı ve Gösterimi	Açıklama	Ölçüm	Veri Kaynağı
Ekonomik Büyüme (logGDPpc)	Kişi başına düşen GSYH	Sabit 2015 ABD doları	WDI
Ar-Ge Harcamaları (logAr&Ge)	Araştırma ve geliştirme harcamaları	(% GSYH)	WDI
Teknolojik İnovasyon (logT)	Toplam patent başvurusu sayısı (yerleşik ve yerleşik olmayanlar)	Binler	WDI
Emek (logE)	İşgücüne katılım	Oran	WDI
Sermaye (logS)	Brüt sabit sermaye oluşumu	% GSYH	WDI

Not: World Development Indicators (WDI)

3.2. Yöntem ve Bulgular

Çalışmanın ampirik uygulamasına ilk olarak serilerin durağan olup olmadıkları ve durağanlık derecelerinin araştırılması ile başlanmıştır. Serilerin birim kök içerip içermediği Arttırılmış Dickey-Fuller (ADF) testi ile araştırılmıştır. Değişkenlerin durağanlık deceleri tespit edildikten sonra serilere Toda-Yamamoto nedensellik testinin uygulanması gerektiğine karar verilmiştir. Toda-Yamamoto nedensellik testinin kullanılmasına karar verilmesinin nedeni, bu test için herhangi bir önkoşul ve eşbütünleşme ilişkisi analizi şartının bulunmamasıdır (Aytekin, 2021).

Zaman serisi analizlerinin en önemli ve ilk aşaması, modellerde kullanılan serilerin birim kök içerip içermediklerinin (durağan olup olmadıkları) sınanmasıdır. Seriler birim kök içerdiği durumlarda söz konusu serilerle yapılan analizlerin sağlıklı sonuçlar üretmediği bilinmektedir (Dikkaya ve Aytekin, 2020). Çalışmada serilerin birim kök içerip içermediklerinin araştırılması için Arttırılmış Dickey-Fuller (ADF) testinin kullanıldığı belirtilmiştir. Bu test, 1979 yılında Dickey ve Fuller tarafından oluşturulan Dickey-Fuller (DF) birim kök testinin geliştirilmiş halidir. Dickey ve Fuller'in 1981 yılında yayımladıkları çalışmalarında, DF birim kök testinin regresyon denklemlerinin bağımlı değişkenlerine gecikmeli değerlerini ekleyerek Arttırılmış Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi geliştirilmiştir. ADF testinin regresyon denklemleri şöyledir (Dickey ve Fuller, 1981);

$$\Delta Y_t = pY_{t-1} + \sum_{i=1}^n \theta_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (\text{Sabitli ve Trendli}) \quad (1)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^n \theta_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (\text{Sabitli}) \quad (2)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta T + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^n \theta_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (\text{Sabitli ve Trendli}) \quad (3)$$

ADF birim kök testinin sınamasında kullanılan test istatistiklerinin kritik değerleri, MacKinnon (1996) tarafından tablolaştırılmış olan kritik değerlerden oluşur. Dolayısıyla birim kök testinin üç regresyon denklemi için aynı hipotez testleri olan sıfır hipotez (H_0) ile alternatif hipotez (H_1) kullanılmaktadır (MacKinnon, 1996). Bu bağlamda Tablo 2 ADF birim kök test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2: ADF Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	Seviyede				Birinci Fark			
	Sabitli		Sabitli+Trendli		Sabitli		Sabitli+Trendli	
	t-ista.	p-değ.	t-ista.	p-değ.	t-ista.	p-değ.	t-ista.	p-değ.
LogGDPpc	0.346	0.976	-2.510	0.320	-4.404	0.002***	-4.464	0.008***
LogE	-1.692	0.422	-1.886	0.631	-4.423	0.002***	-4.605	0.006***
LogT	-1.314	0.605	-2.969	0.160	-2.943	0.055*	-2.865	0.189
LogAr&Ge	0.593	0.986	-3.680	0.042***	-7.090	0.000***	-7.306	0.000***
LogS	-1.541	0.498	-2.566	0.297	-5.121	0.000***	-5.017	0.002***

*Not: AIC bilgi kriterine göre gecikme uzunluğunu 1 olarak belirlenmiştir. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 önem düzeyini ifade etmektedir.*

Tablo 2'de yer alan istatistiklere bakıldığında bütün değişkenler için sabitli ve sabitli+trendli seçeneklerde test uygulanmıştır. Sadece LogAr&Ge değişkeninin sabitli ve trendli seçenekte seviyede durağan hale geldiği gözlenirken diğer değişkenlerin tamamında seviyede $I(0)$ sıfır hipotezi reddedilememiştir ve birim kök içerdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda diğer değişkenlerin birinci farkta $I(1)$ durağan olduğu tespit edilmiştir.

Değişkenlerin durağanlık derecelerinin belirlenmesinin ardından tahmin için analizde hangi modelin kullanılması gerektiğine karar verilir. Çalışmada birim kök testlerinin belirlenmesi ile birlikte Toda-Yamamoto nedensellik testinin uygulanmasına karar verilmiştir. Toda-Yamamoto nedensellik testinin

kullanılmasından önce VAR modelinin kurulması gerekmektedir ve bunun için de serilerin uygun gecikme uzunlukları belirlenmelidir. Bu doğrultuda Tablo 3 VAR modeli için uygun gecikme uzunluğunu göstermektedir.

Tablo 3: Serilerin Gecikme Uzunlukları

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	195.7280	NA	4.31e-14	-16.58505	-16.33820	-16.52296
1	298.2341	151.5306	5.43e-17	-23.32470	-21.84362	-22.95221
2	345.7007	49.53044*	1.11e-17	-25.27832	-22.56301*	-24.59543
3	384.7493	23.76869	1.09e-17*	-26.49994*	-22.55039	-25.50664*

Not: AIC: Akaike, SC: Schwarz ve HQ: Hannan-Quinn bilgi kriterlerini ifade etmektedir.

Serilerin gecikme uzunluklarının gösterildiği tablo 3'te; AIC, SC ve HQ gibi bilgi kriterlerinden en yıldız (*) işaretinin bulunduğu ikinci satır uygun gecikme uzunluğunu temsil etmektedir. Bu bağlamda VAR tahmin modeli için uygun gecikme uzunluğunun 3 olarak belirlenmesine karar verilmiştir. Serilerin durağanlık dereceleri ve VAR modelinin uygun gecikme kriterin belirlenmesiyle artık Toda-Yamamoto nedensellik testinin tahminine geçilebilecektir.

Toda-Yamamoto nedensellik testi, Toda ve Yamamoto (1995) tarafından VAR modeli üzerinden geliştirilmiş olan bir testtir. Bu testin en önemli avantajı, analizde kullanılacak olan serilerin farklı düzeylerde durağan olmalarına olanak tanınmasıdır. Çalışmada Toda-Yamamoto nedensellik testi için ilk olarak VAR modeli aracılığıyla serilerin gecikme uzunluğu sayısı 3 ($k=3$) olarak belirlenmiştir. Birim kök testleri ile de en yüksek düzeydeki durağanlık dereceleri 1 ($d_{max}=1$)'dir. Son aşamada ise $k=3$ olarak belirlenen gecikme uzunluğuna serilerin en yüksek düzeydeki durağanlık derecesi $d_{max}=1$ eklenir ($d_{max}+k=4$) ve serilere gecikme uzunluğu arttırılmış VAR modeliyle Toda-Yamamoto nedensellik testi uygulanır. Toda-Yamamoto testinin modeli şöyledir (Toda ve Yamamoto, 1995);

$$X_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} a_1 X_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} a_2 Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$X_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \beta_1 X_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \beta_2 Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

4 ve 5 numaralı denklemlerin sıfır hipotezleri sırasıyla şöyledir; H_0 : “ Y , X 'in Granger nedeni değildir”, H_0 : “ X , Y 'in Granger nedeni değildir”.

Bu testin istatistik değeri ki-kare (χ^2) dağılımının bulunduğu Wald testi ile araştırılır (Meçik ve Koyuncu, 2020). Bu çalışmada kullanılan değişkenler için farklı nedensellik tahmin modeli kurulmuştur ve kurulan bu tahmin modelleri şöyledir (Aytekin ve Kaya, 2022);

$$Büyüme_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_1 Büyüme_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_2 Emek_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_3 Teknoloji_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_4 Ar \& Ge_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_5 Sermaye_{t-i} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$Emek_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_1 Emek_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_2 Büyüme_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_3 Teknoloji_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_4 Ar \& Ge_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_5 Sermaye_{t-i} + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$Teknoloji_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_1 Teknoloji_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_2 Büyüme_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_3 Emek_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_4 Ar \& Ge_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_5 Sermaye_{t-i} + \varepsilon_t \quad (8)$$

$$Ar \& Ge_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_1 Ar \& Ge_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_2 Büyüme_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_3 Teknoloji_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_4 Emek_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_5 Sermaye_{t-i} + \varepsilon_t \quad (9)$$

$$Sermaye_t = \mu + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_1 Sermaye_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_2 Büyüme_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_3 Teknoloji_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_4 Ar \& Ge_{t-i} + \sum_{i=1}^{k+dmax} a_5 Emek_{t-i} + \varepsilon_t \quad (10)$$

Tablo 4: Toda-Yamamoto Nedensellik Test Sonuçları

Model 1					
Sonuç Serisi: Büyüme					
Açıklayıcı Seriler	$d_{max} + k = 4$	χ^2 değeri	P değeri	Karar	Sonuç
Emek	4	3.435	0.487	H_0 : Kabul	Emek \neq > Büyüme
Teknoloji	4	1.719	0.787	H_0 : Kabul	Teknoloji \neq > Büyüme
Ar&Ge	4	9.932	0.041	H_0 : Red	Ar&Ge \Rightarrow Büyüme
Sermaye	4	9.326	0.053	H_0 : Red	Sermaye \Rightarrow Büyüme
Tamamı	4	27.389	0.037	H_0 : Red	Tamamı \Rightarrow Büyüme
Model 2					
Sonuç Serisi: Emek					
Açıklayıcı Seriler	$d_{max} + k = 4$	χ^2 değeri	P değeri	Karar	Sonuç
Büyüme	4	1121.12	0.000***	H_0 : Red	Büyüme \Rightarrow Emek
Teknoloji	4	2686.98	0.000***	H_0 : Red	Teknoloji \Rightarrow Emek
Ar&Ge	4	1722.31	0.000***	H_0 : Red	Ar&Ge \Rightarrow Emek
Sermaye	4	1316.65	0.000***	H_0 : Red	Sermaye \Rightarrow Emek
Tamamı	4	12375.70	0.000***	H_0 : Red	Tamamı \Rightarrow Emek
Model 3					
Sonuç Serisi: Teknoloji					
Açıklayıcı Seriler	$d_{max} + k = 4$	χ^2 değeri	P değeri	Karar	Sonuç
Büyüme	4	22.932	0.000***	H_0 : Red	Büyüme \Rightarrow Teknoloji
Emek	4	2.755	0.599	H_0 : Kabul	Emek \neq > Teknoloji
Ar&Ge	4	10.591	0.031**	H_0 : Red	Ar&Ge \Rightarrow Teknoloji
Sermaye	4	13.318	0.009***	H_0 : Red	Sermaye \Rightarrow Teknoloji

Tamamı	4	101.308	0.000***	H_0 : Red	Tamamı => Teknoloji
Model 4					
Sonuç Serisi: Ar&Ge					
Açıklayıcı Seriler	$d_{\max} + k = 4$	χ^2 değeri	P değeri	Karar	Sonuç
Büyüme	4	6.301	0.177	H_0 : Kabul	Büyüme \neq > Ar&Ge
Emek	4	3.172	0.529	H_0 : Kabul	Emek \neq > Ar&Ge
Teknoloji	4	2.580	0.630	H_0 : Kabul	Teknoloji \neq > Ar&Ge
Sermaye	4	3.736	0.442	H_0 : Kabul	Sermaye \neq > Ar&Ge
Tamamı	4	29.775	0.019**	H_0 : Red	Tamamı => Ar&Ge
Model 5					
Sonuç Serisi: Sermaye					
Açıklayıcı Seriler	$d_{\max} + k = 4$	χ^2 değeri	P değeri	Karar	Sonuç
Büyüme	4	14.138	0.006***	H_0 : Red	Büyüme => Sermaye
Emek	4	4.952	0.292	H_0 : Kabul	Emek \neq > Sermaye
Teknoloji	4	2.376	0.667	H_0 : Kabul	Teknoloji \neq > Sermaye
Ar&Ge	4	15.303	0.004***	H_0 : Red	Ar&Ge => Sermaye
Tamamı	4	44.608	0.000***	H_0 : Red	Tamamı => Sermaye

*Not: => İşareti Granger nedenidir. \neq > İşareti ise Granger nedeni değildir. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 önem düzeyini ifade etmektedir.*

Tablo 4'ün ilk bölümünde yer alan birinci modele ilişkin bulgular incelendiğinde, Ar-Ge ve sermaye değişkenleri için boş hipotezin reddedildiği ve bu değişkenlerden ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisinin bulunduğu görülmektedir. Buna karşılık, emek ve teknoloji değişkenlerinden büyümeye doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. İkinci modele ait sonuçlar, tüm değişkenlerden emek değişkenine doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Üçüncü modelde ise emek değişkeni dışında kalan tüm değişkenler için boş hipotez reddedilmiş; bu durum ekonomik büyüme, Ar-Ge ve sermaye değişkenlerinden teknolojiye doğru nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. Dördüncü modelde, hiçbir değişken için boş hipotez reddedilememiş ve dolayısıyla diğer değişkenlerden Ar-Ge'ye doğru anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Son modelde ise emek ve teknoloji değişkenlerinden sermayeye doğru nedensellik ilişkisi bulunmazken, ekonomik büyüme ve Ar-Ge değişkenlerinden sermayeye doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, ekonomik büyümeden emeğe ve teknolojiye doğru tek yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir. Ayrıca, Ar-Ge harcamalarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik bulunurken, ekonomik büyüme ile sermaye arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Küresel ölçekte bilgi, teknoloji ve inovasyon odaklı üretim yapılarının yaygınlaşması, ekonomik büyümenin belirleyicilerini geleneksel faktörlerin ötesine taşımıştır. Bu süreçte emek ve sermaye gibi klasik üretim faktörlerinin yanı sıra Ar-Ge faaliyetleri ve teknolojik inovasyon, büyüme dinamiklerini şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde sürdürülebilir büyümenin sağlanabilmesi, üretim yapısının teknoloji yoğun sektörlere yönelmesi ve inovasyon kapasitesinin artırılması ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda çalışma Türkiye ekonomisinde emek, sermaye, teknolojik inovasyon, Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyüme değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmayı amaçlamaktadır. 1996-2021 yıllık verileri ile bu analiz gerçekleştirilmiştir. Nedensellik ilişkisi, bir çok avantajı bulunan Toda-Yamamoto nedensellik testi ile araştırılmıştır. Nedensellik testi sonuçlarına göre; büyüme ve sermaye arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Buna karşın büyüme, sermaye, teknoloji ve Ar&Ge’den emeğe doğru ise tek yönlü nedensellik ilişkisi gözlenmiştir. Yine aynı şekilde Ar&Ge, sermaye ve büyümeden de teknoloji değişkenine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. Ar&Ge’den de sermaye değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik bulunmuştur. Buna göre sadece büyüme ve sermaye arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Nedensellik testinden elde edilen bulgular kısmen beklenen yöndedir. Türkiye ekonomisinde büyüme ile sermaye birikimi arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi, yatırım odaklı büyüme modelinin bir yansıması olduğuna işaret etmektedir. Ekonomik büyüme süreci, kârlar ve tasarruflar aracılığıyla sermaye birikimini teşvik ederken; artan sermaye stoku da üretim kapasitesini genişleterek büyümeyi beslemektedir. Böylece karşılıklı bir geri besleme etkisi bulunmaktadır. Buna karşılık, büyüme, sermaye, teknoloji ve Ar-Ge’den emeğe doğru tespit edilen tek yönlü nedensellik ilişkisi, emek talebinin büyük ölçüde makroekonomik genişleme, yatırım hacmi ve teknolojik inovasyon tarafından belirlendiğini ortaya koymaktadır. Türkiye’de istihdam artışının çoğunlukla büyüme dönemlerinde hızlanması ve emeğin görece daha pasif bir üretim faktörü olarak konumlanması bu sonucu desteklemektedir. Ar-Ge, sermaye ve büyümeden teknolojiye doğru gözlenen tek yönlü nedensellik ise teknolojik ilerlemenin kendiliğinden değil, finansman, yatırım ve ölçek ekonomileri yoluyla gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca Ar-Ge’den sermayeye doğru

nedensellik, yenilik faaliyetlerinin yatırım kararlarını ve sermaye derinleşmesini teşvik ettiğini ortaya koymaktadır.

Ulaşılan bulgular ışığında, Türkiye ekonomisinde sürdürülebilir büyümenin gerçekleşmesi için sermaye birikimi ile Ar-Ge ve teknolojik inovasyon arasındaki etkileşimi artıran politikalara öncelik verilmesi gerekmektedir. Öncelikle, özel sektör Ar-Ge harcamalarını artırmaya yönelik vergi teşvikleri, uzun vadeli finansman mekanizmaları ve teknoloji odaklı yatırım destekleri yaygınlaştırılmalıdır. Bu sayede Ar-Ge'nin sermaye birikimi üzerindeki olumlu etkisi artacak ve böylece teknoloji temelli büyüme desteklenebilecektir. İkinci olarak, emek piyasasında teknolojiye uyumlu beceri dönüşümünü sağlayacak eğitim ve aktif işgücü politikalarına ağırlık verilmelidir. Çünkü nedensellik sonuçları, istihdamın büyüme ve teknolojiye duyarlı olduğunu göstermektedir. Nitelikli işgücü arzının artırılması, teknolojik inovasyonun istihdam yaratıcı etkisini güçlendirecektir. Son olarak, büyüme–sermaye arasındaki çift yönlü ilişki dikkate alındığında, makroekonomik istikrarı ve yatırım ortamını güçlendiren örneğin öngörülebilir para ve maliye politikaları, finansal derinleşme ve yatırım güvenliği gibi politikalar sürdürülebilir büyüme açısından kritik öneme sahiptir.

Gelecek çalışmalarda, ekonomik büyüme ile Ar-Ge harcamaları ve teknolojik inovasyon arasındaki ilişkilerin farklı veri setleri ve yöntemsel yaklaşımlar kullanılarak daha farklı biçimde incelenmesi literatüre önemli katkılar sağlayabilir. Özellikle sektörel düzeyde yapılacak analizler, teknoloji ve inovasyon faaliyetlerinin farklı üretim alanlarındaki büyüme etkilerini ortaya koyabilir. Ayrıca, Türkiye'nin benzer gelişmişlik düzeyindeki ülkelerle karşılaştırmalı olarak ele alınması, büyüme dinamiklerinin uluslararası bağlamda değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

Kaynakça

- Açıcı, Y. (2018). İnovasyon ve girişimcilik temelli ekonomik büyüme: seçilmiş OECD ülkeleri üzerine panel veri analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 543-554.
- Ahmad, M. (2021). Non-linear dynamics of innovation activities over the business cycles: Empirical evidence from OECD economies. *Technology in Society*, 67, 101721.
- Ahmad, M. ve Zheng, J. (2023). The cyclical and nonlinear impact of R&D and innovation activities on economic growth in OECD economies: A new perspective. *Journal of the Knowledge Economy*, 14(1), 544-593.
- Algan, N., Manga, M. ve Tekeoğlu, M. (2017). Teknolojik gelişme göstergeleri ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Conference on Eurasian Economies*,
- Artekin, A. Ö. ve Erbay, S. (2025). İnsan Kaynakları Yönetiminde Ekonomik Dinamikler: Norveç Örneğinde Ekonomik Büyüme, Çalışma Saatleri ve İşgücü Verimliliği İlişkisi. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 8(2), 503-513.
- Aytekin, İ. (2021). Kalkınma İnovasyon Ar-Ge Eğitim ve Sağlık Harcamaları Arasındaki İlişkinin Analizi: Türkiye Örneği. 3. *Uluslararası Sosyal Bilimler ve İnovasyon Kongresi, Ankara*.
- Aytekin, İ. ve Kaya, M. V. (2022). Investigation of the effects of digital money Bitcoin and Electronic Funds Transfers on electric energy consumption. 24th RSEP International Conference on Economics, Finance & Business,
- Badulescu, D., Gavrilut, D., Simut, R., Bodog, S.-A., Zapodeanu, D., Toca, C.-V. ve Badulescu, A. (2024). The relationship between sustainable economic growth, R&D expenditures and employment: a regional perspective for the North-West Development Region of Romania. *Sustainability*, 16(2), 760.
- Challoumis, C. (2024). The Role of Technological Innovation in Shaping Capital Accumulation and Economic Growth. *SSRN Electronic Journal*.
- Chaudhry, I. S., Ali, S., Bhatti, S. H., Anser, M. K., Khan, A. I. ve Nazar, R. (2021). Dynamic common correlated effects of technological innovations and institutional performance on environmental quality: Evidence from East-Asia and Pacific countries. *Environmental Science & Policy*, 124, 313-323.
- Çelik, M. ve Altıntaş, H. (2025). Ekonomik Büyüme ve Beşeri Sermaye İlişkisi: ARDL, NARDL ve Nedensellik Analizi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 47(3).
- Çınar, S. ve Has, B. (2022). Türkiye ve seçili Asya ülkelerinde 2000 sonrası Ar-Ge yoğunluğu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Nedensellik analizi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(3), 1-16.

- Dhar, B. K., Shaturaev, J., Kurbonov, K. ve Nazirjon, R. (2023). The causal nexus between innovation and economic growth: An OECD study. *Social Science Quarterly*, 104(4), 395-405.
- Dickey, D. A. ve Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057-1072.
- Dikkaya, M. ve Aytekin, İ. (2020). İktisadi büyüme işsizlik ve suç arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 6(2), 261-274.
- Durucan, A. ve Ulukök, E. (2022). Ar-Ge Harcamaları, İşsizlik ve Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 11(1), 1-27.
- Ertürkmen, G. (2023a). Finansal Gelişmişlik Ve Eğitim Harcamalarının Büyüme Üzerindeki Etkisinin ARDL Sınır Testi Yaklaşımı İle İncelenmesi: Türkiye İçin Ampirik Bir Analiz. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 12(12), 1410-1419.
- Ertürkmen, G. (2023b). Türkiye’de dezavantajlı gruplar ve istihdam. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 6(4), 388-411.
- Eryer, A. (2025). Bilgi iletişim teknoloji göstergelerinin iktisadi büyüme ile ilişkisi: Uygulamalı bir çalışma. *Amasya Üniversitesi Ekonomi Ticaret ve Pazarlama Dergisi*, 2(1), 20-27.
- Etokakpan, M. U., Solarin, S. A., Yorucu, V., Bekun, F. V. ve Sarkodie, S. A. (2020). Modeling natural gas consumption, capital formation, globalization, CO2 emissions and economic growth nexus in Malaysia: Fresh evidence from combined cointegration and causality analysis. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100526.
- Haque, A. U., Kibria, G., Selim, M. I. ve Smrity, D. Y. (2019). Labor force participation rate and economic growth: Observations for Bangladesh. *International Journal of Economics and Financial Research*, 5(9), 209-213.
- Karataş, A. ve Bozkurt, K. (2022). Ekonomik Büyüme ve Teknolojik Gelişmeler: Bir Nedensellik Analizi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 29(2), 209-219.
- Konya, S., Şakalak, A. ve Karaçor, Z. (2022). Can R&D Activities Trigger Economic Growth and Employment? Empirical Evidence from Selected Countries. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 20(3), 351-372.
- Korkmaz, S. (2017). The relationship between labor productivity and economic growth in OECD Countries. *International Journal of Economics and Finance*.
- Ljungberg, J. ve Nilsson, A. (2009). Human capital and economic growth: Sweden 1870–2000. *Clometrica*, 3(1), 71-95.
- MacKinnon, J. G. (1996). Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of applied econometrics*, 11(6), 601-618.

- Maune, A. ve Matanda, E. (2022). The nexus between gross capital formation and economic growth: Evidence from Zimbabwe. *The Journal of Accounting and Management*, 12(2).
- Meçik, O. ve Koyuncu, T. (2020). Türkiye’de göç ve ekonomik büyüme ilişkisi: Toda-Yamamoto nedensellik testi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(3), 2618-2635.
- Moalla, M. (2023). Labor productivity and economic growth in selected Latin American countries. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 10(98), 2155-2159.
- Mohamed, M. M. A., Liu, P. ve Nie, G. (2022). Causality between technological innovation and economic growth: Evidence from the economies of developing countries. *Sustainability*, 14(6), 3586.
- Özkan, N. (2022). R&D spending and financial performance: an investigation in an emerging market. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 18(1), 38-58.
- Özkurt, İ. C. (2024). Türkiye’de inovasyon faaliyetleri ve ekonomik büyüme ilişkisi: Nedensellik analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26(1), 164-176.
- Pasara, M. T. ve Garidzirai, R. (2020). Causality effects among gross capital formation, unemployment and economic growth in South Africa. *Economies*, 8(2), 26.
- Pomi, S. S., Sarkar, S. M. ve Dhar, B. K. (2021). Human or physical capital, which influences sustainable economic growth most? A study on Bangladesh. *Canadian Journal of Business and Information Studies*, 3(5), 101-108.
- Pradhan, R. P., Arvin, M. B. ve Bahmani, S. (2018). Are innovation and financial development causative factors in economic growth? Evidence from a panel granger causality test. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 130-142.
- Ramzi, T. ve Wiem, J. (2019). Causality nexus between economic growth, inflation and innovation. *Journal of the Knowledge Economy*, 10(1), 35-58.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Siokas, E. ve Kremastioti, V. (2026). Circular economy, innovation, entrepreneurship and their relationship with economic growth by using econometric analysis. *Sustainable Futures*, 11, 101780.
- Sokolov-Mladenović, S., Cvetanović, S. ve Mladenović, I. (2016). R&D expenditure and economic growth: EU28 evidence for the period 2002–2012. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 29(1), 1005-1020.
- Solow, R. M. (1996). Growth theory. In *A guide to modern economics* (pp. 229-247). Routledge.

- Toda, H. Y. ve Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Tulchynska, S., Vovk, O., Popelo, O., Saloid, S. ve Kostiuunik, O. (2021). Innovation and investment strategies to intensify the potential modernization and to increase the competitiveness of microeconomic systems. *International Journal of Computer Science & Network Security*, 21(6), 161-168.
- Ülger, M., Uçar, M., Atamer, M. A. ve Apaydın, Ş. (2024). Kentleşme, yenilenebilir enerji ve inovasyon ile ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki nedensellik ilişkileri: çok yüksek insani gelişme düzeyindeki ülkeler örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449-462.
- Wang, Y., Wang, Y., Zhou, J., Zhu, X. ve Lu, G. (2011). Energy consumption and economic growth in China: A multivariate causality test. *Energy policy*, 39(7), 4399-4406.
- Yenisu, E. (2019). BRICS-T ülkelerinde işgücü verimliliği ve ekonomik büyüme ilişkisi: panel veri analizi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 35-60.