



## OECD Ülkelerinde Ar-Ge ve İleri Teknoloji İhracatının Ekonomik Performansa Etkisi: Panel Veri Analizi

Nil Sirel Öztürk<sup>1</sup>

### Öz

Bu çalışma, OECD ülkelerinde Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji ihracatı ve eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini Solow büyüme modeli çerçevesinde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Solow modeli, uzun vadeli ekonomik büyümenin sermaye birikimi, iş gücü artışı ve teknolojik ilerlemeyle belirlendiğini öne sürmektedir. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler (Ar-Ge harcamaları, yüksek teknoloji ihracatı ve eğitim harcamaları), Solow modelinin temel unsurları olan sermaye ve teknolojik ilerlemenin yansımaları olarak ele alınmıştır. Analizler, yüksek teknoloji ihracatının ve Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, eğitim harcamalarının da büyüme üzerinde güçlü bir etkisi olduğu bulunmuştur. Sonuçlara göre, yüksek teknoloji ihracatındaki %1'lik artış, GSYİH'da yaklaşık %0,0456; Ar-Ge harcamalarındaki %1'lik artış, yaklaşık %0,1910; eğitim harcamalarındaki %1'lik artış ise yine yaklaşık olarak %0,4773 oranında bir büyüme sağlamaktadır. Bu bulgular, Solow büyüme modelinin OECD ülkelerinde geçerliliğini koruduğunu ve sermaye, iş gücü ve teknolojik ilerlemenin büyümedeki temel belirleyiciler olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ar-Ge harcamaları, Ekonomik Büyüme, İleri Teknoloji İhracatı, Panel Data analizi

**JEL Kodları:** O30, C23, F43

## The Impact of R&D and High Technology Exports on Economic Performance in OECD Countries: A Panel Data Analysis

### Abstract

This study aims to analyze the effects of R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures on economic growth within the framework of the Solow growth model in OECD countries. The Solow model suggests that long-term economic growth is determined by capital accumulation, labor force growth, and technological progress. In this context, the independent variables used in the study (R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures) reflect the core elements of the Solow model, namely capital and technological progress. The analysis reveals that high-tech exports and R&D expenditures have a positive and statistically significant effect on economic growth. Additionally, education expenditures are found to have a strong impact on growth. Specifically, a 1% increase in high-tech exports leads to a 0.0456% rise in GDP, a 1% increase in R&D expenditures results in a 0.1910% growth, and a 1% increase in education expenditures corresponds to a 0.4773% rise in GDP. These findings support the validity of the Solow growth model in OECD countries, demonstrating the key roles of capital, labor, and technological progress in driving economic growth.

**Keywords:** R&D Expenditures, Economic Growth, High Technology Exports, Panel Data Analysis

**JEL Codes:** O30, C23, F43

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Trakya Üniversitesi, Keşan Yusuf Çapraz Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, nilsirelozturk@trakya.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6106-0029

## Giriş

Endüstri Devrimleri, üretim yöntemleri ve süreçlerinde meydana gelen büyük değişimlerle ekonomileri, sosyal ve kültürel yapıları, nüfus dinamikleri gibi birçok değişkeni derinden etkilemiştir. Sanayi devrimleri, özellikle ekonomik etkileriyle ülkeler, devletler ve şirketlerin yeni endüstriyel yaklaşımları yakından takip etmesine yol açmıştır. Bu aktörler, geçmiş devrimlerden elde ettikleri deneyimlerle yeni stratejiler oluşturmak için çalışmalar yürütmektedir. Yeni bir sanayi devriminin eşiğinde, öngörülerde bulunabilmek için endüstriyel dönüşümlerin tarihsel süreçlerini iyi anlamak gereklidir

18. yüzyılda İngiltere’de başlayan Birinci Endüstri Devrimi, Avrupa’ya yayılarak sanayi devrimlerinin öncüsü olmuştur. Bu devrimler, yeni sektörler yaratırken bazı sektörler ve kurumlar geçerliliğini yitirmiştir. Her sanayi devrimi, teknoloji, yatırım, beşerî sermaye, hukuk ve sosyo-kültürel yapı gibi değişkenler açısından benzerlikler taşımakla birlikte kendine özgü sonuçlar da ortaya koymuştur. Dördüncü Sanayi Devrimi’ne hazırlanırken, önceki devrimlerin etkilerini ve sonuçlarını analiz etmek, yeni dönemin dinamiklerini anlamak için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, ülkeler ve şirketler sanayi devrimlerinden edindikleri deneyimlerle yeni endüstri yaklaşımlarını izlemekte ve stratejilerini bu doğrultuda şekillendirmektedir (Çelik et al., 2018: 90).

Endüstri devrimlerinde en çok karşımıza çıkan kavramlardan biri Ar-Ge ve yeniliktir. Ar-Ge kavramının geniş tanımı, sık sık Ar-Ge ve yenilik kavramlarının karıştırılmasına yol açmaktadır. Yenilik, bilimsel, teknolojik, organizasyonel ve ticari adımları içeren, yeniliklere öncülük eden ve bu yenilikleri tetikleyen süreçleri ifade eder. Ar-Ge’den farklı olarak yenilik, süreç yeniliklerini, teknolojinin sınıflandırılmamış alanlarını, üretim başlangıcını, pazarlama stratejilerini, geliştirilmiş ürün ve hizmetlerin pazarlanmasını da kapsar. Ar-Ge ise, bilgi dağarcığını artırarak yeni uygulamaların sistematik bir şekilde yürütüldüğü, toplum ve insan yararına geliştirilen yenilikçi çalışmaları tanımlar (Manual, 1997: 34).

Sanayi devrimlerinin geçirdiği dönüşüm sürecinin bir sonucu olarak günümüzde Endüstri 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, özellikle Alman hükümeti tarafından başlatılan ve sanayi üretim süreçlerini dijitalleştirmeyi hedefleyen stratejik bir girişim olarak dikkat çekmektedir. Endüstri 4.0’ın temel amacı, geleneksel üretim yöntemlerini modern teknolojilerle birleştirerek endüstriyel süreçleri daha verimli, esnek ve akıllı hale getirmektir. Bu girişim, Nesnelerin İnterneti (IoT), siber-fiziksel sistemler, yapay zekâ, büyük veri analizi, robotik ve bulut bilişim gibi yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu yoluyla üretim hatlarında büyük bir dönüşüm sağlamayı hedeflemektedir. Dolayısıyla, Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijitalleşme, otomasyon, veri paylaşımı ve akıllı sistemlerin daha etkin kullanımını mümkün kılarak, sanayiye çok daha ileri bir noktaya taşımayı amaçlamaktadır (Rojko, 2017: 26).

Sanayi devrimleri detaylı bir şekilde incelendiğinde, ülkeler arasındaki teknolojik farklılıkların, bu ülkelerin ekonomik büyüme düzeylerini, uluslararası ticaret hacimlerini ve küresel ekonomideki rekabet güçlerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Özellikle yüksek teknoloji ihracatında üstünlük sağlayan ülkeler, daha hızlı ekonomik büyüme gerçekleştirerek küresel piyasalarda rekabet avantajı kazanmaktadır. Yüksek teknoloji ürünlerinin ihracatı, yalnızca gelir artışına katkıda bulunmakla kalmayıp, aynı zamanda bilgi birikiminin artmasına ve yenilikçi üretim kapasitelerinin gelişmesine olanak tanıyarak

ekonomik büyümeyi destekleyen önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Şeker ve Özcan, 2019: 872)

Çalışmada yüksek teknoloji ihracatının, kamunun yaptığı eğitim ve Ar-Ge harcamalarının GSYİH üzerine olan etkisi incelenmiş, dışsal büyüme modeli çerçevesince değerlendirilmiştir.

### 1. Teorik Çerçeve

Neo-Klasik büyüme modeline göre teknoloji ve teknolojik değişim, ekonomik olmayan dışsal faktörler olarak ekonomiyi etkiler. Ancak, bu modelin sermaye birikimi ile ülkelerin uzun vadeli büyüme oranlarını ve uluslararası gelir farklılıklarını tam olarak açıklayamaması, modelin önemini yitirmesine yol açmıştır. Buna karşılık, içsel büyüme teorisi, teknoloji ve teknolojik değişimi ekonominin içsel bir bileşeni olarak değerlendirir ve uluslararası ekonomide ülkelerin rekabetçi yapılarını ve karşılaştırmalı üstünlüklerini belirleyen en önemli unsurların teknolojik ve bilimsel gelişmeler olduğunu savunmaktadır (Palley, 2012: 154).

Solow büyüme modeli, Robert Solow tarafından 1956 yılında geliştirilmiş ve ekonomik büyüme teorisine önemli katkılar sağlamıştır. Bu model, uzun dönem ekonomik büyümenin sermaye birikimi, işgücü artışı ve teknolojik ilerleme gibi temel faktörler tarafından belirlendiğini öne sürer. Solow modelinin en önemli özelliklerinden biri, sermayenin azalan getiriler yasasıdır; bu, bir ekonomide sermaye birikiminin sürekli artışının, ekonomik büyüme oranında sürekli bir artış sağlamayacağını ifade eder. Aksine, sermaye birikimi belirli bir seviyeye ulaştığında, yalnızca teknolojik ilerleme ekonomik büyümeyi sürdürebilir hale gelir (Solow, 1956: 90).

(Romer, 1986), teknolojiyi dışsal bir şok olarak görmek yerine, sistemin kendi içinde ürettiği bir değer olarak değerlendirmiştir ve bu yaklaşımı içsel büyüme teorilerinin temelini oluşturmuştur. (Romer, 1990) yılındaki çalışmasında ise içsel teknolojik gelişmenin sağlanmasında inovasyonun ve teknolojinin kritik rolüne dikkat çekmiştir. (Lucas Jr, 1988) ile başlayan ve sonrasında (Rebelo, 1991), (Grossman & Helpman, 1993) ile (Aghion, 1990) gibi iktisatçıların çalışmaları, bir bütün olarak incelendiğinde teknoloji ve beşerî sermayeyi ekonomik büyümenin merkezine koyan teoriler geliştirmiştir (Saridoğan, 2019: 22).

Matematiksel olarak Solow büyüme modeli şu temel denklemlerle ifade edilir:

$$Y(t) = A(t) \cdot K(t)^\alpha \cdot L(t)^{1-\alpha} \quad (1)$$

Burada,  $Y(t)$  toplam çıktıyı (GSYİH),  $K(t)$  sermaye stokunu,  $L(t)$  işgücü miktarını ve  $A(t)$  ise teknoloji düzeyini temsil eder.  $\alpha$  ise sermayenin çıktıya olan katkısını ifade eden parametredir ve genellikle 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu denklem, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu olarak da bilinir ve Solow modelinin temelini oluşturur. Üretim fonksiyonu, teknolojik ilerlemenin etkisi ile, sermaye ve işgücünün ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini de hesaba katar.

Solow modelinde uzun dönem dengesi (steady state), sermaye birikiminin ve işgücü artışının ekonomik büyümeyi tek başına sürdüremeyeceği noktada gerçekleşir. Bu durumda, ekonomik büyüme yalnızca teknolojik ilerleme ile sağlanabilir. Modelin bir diğer önemli unsuru ise, modelin "altın kural" olarak bilinen optimal sermaye birikimi seviyesini

belirlemesidir(Çiftçi Durusu, 2015). Altın kural, uzun dönem tüketimi maksimize eden sermaye birikim oranını ifade eder. Bu durum şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{dY(t)}{dK(t)} = \delta + n + g \quad (2)$$

Burada,  $\delta$  sermayenin amortisman oranı,  $n$  işgücü artış oranı ve  $g$  teknolojik ilerleme oranını temsil eder. Bu denklem, sermayenin marjinal ürününün, işgücü artış oranı, teknolojik ilerleme oranı ve sermayenin amortisman oranının toplamına eşit olması gerektiğini gösterir.

Solow modelinin bir diğer kritik özelliği, bu modelin uzun dönemde ülkeler arasındaki büyüme farklılıklarını açıklamak için teknoloji düzeyinin kritik bir değişken olduğunu vurgulamasıdır. Model, ülkelerin teknoloji düzeylerinin farklı olması durumunda, uzun dönemde ekonomik büyüme oranlarının da farklı olacağını öngörür. Teknoloji, Solow modelinde dışsaldır (exogenous) ve zamanla ekonomik büyümeye katkıda bulunan en önemli faktör olarak kabul edilir. Teknolojik ilerleme, mevcut sermaye ve işgücünün daha verimli kullanılmasını sağlar, bu da üretim kapasitesini ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi artırır (Çakmak & Yapraklı, 2004: 13).

Bu çalışma bağlamında Solow büyüme modeli, OECD ülkelerinde AR-GE harcamaları, ileri teknoloji ihracatı ve eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini analiz etmek için teorik bir çerçeve sunmaktadır. Model, bu üç önemli değişkenin, teknolojik ilerleme ve sermaye birikimi yoluyla ekonomik büyümeye katkıda bulunabileceğini öngörmektedir. Özellikle AR-GE ve ileri teknoloji ihracatı, Solow modelinde teknolojik ilerlemenin birer yansıması olarak kabul edilebilir ve bu yolla ekonomik büyümeye uzun dönemde pozitif bir katkı sağlayabilir.

Solow büyüme modeli, AR-GE, teknoloji ve eğitimin ekonomik büyüme üzerindeki rollerini vurgularken, ülkeler arasındaki teknoloji farklarının büyüme hızlarındaki farklılıklara yol açabileceğini öne sürer. Bu nedenle, çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemler, Solow modelinin öngördüğü uzun dönem denge ve teknoloji odaklı büyüme dinamiklerini test etmeyi amaçlamaktadır.

## 1. Literatür Taraması

Ar-Ge faaliyetleri, yüksek teknoloji ihracatı ve diğer makro ekonomik değişkenlerin büyüme ile ilişkisini inceleyen pek çok çalışma literatürde yer almaktadır. Bunlarda bir kısmı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 1:** Literatür Tablosu

Araştırmacı(lar)	Ülke(ler)	İncelenen Dönem	Yöntem	Sonuç
(Gülmez Yardımcıoğlu, 2012)	& 21 adet OECD ülkesi	1990-2010	Panel Nedensellik	AR-GE harcamaları ve büyüme arasında iki yönlü nedensellik tespit edilmiştir.
(Doruk Söylemezoğlu, 2014)	& 22 adet Gelişmekte olan ülke	2000-2007	Bond Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM)	Ar-Ge harcamalarının ekonomik büyümeye olumlu etki ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tablo 1'in devamı.

(Sokolov-Mladenović et al., 2016)	28 AB ülkesi	2002-2012	Dinamik Panel Veri	Ar-Ge harcamalarının reel büyüme oranı üzerinde olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.
(Kaya & Abay, 2020)	10 AB ülkesi ve Türkiye	1996-2018	Bond Sistem Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM)	Ar-Ge yatırımlarındaki artışın, diğer faktörlere kıyasla ekonomik büyüme üzerinde daha güçlü bir etkisi olduğu görülmüştür.
(Ustaoglu, 2021)	AB ülkeleri ve Türkiye	2007-2018	Panel (AMG) Veri	Ar-Ge harcamaları genel olarak ekonomik büyüme üzerinde olumlu olduğu tespit edilememiştir.
(Konak, 2018)	Seçilmiş OECD ülkeleri ve Türkiye	1992-2016	Panel Veri	Türkiye'nin ihracatının büyük kısmı "düşük", "düşük-orta" ve "orta-yüksek" teknolojiye dayalıdır. Bu alanda Türkiye, diğer OECD ülkelerinin oldukça gerisinde kalmaktadır.
(Göçer, 2013)	11 Asya Ülkesi	1996-2012	Panel (AMG) Veri	Ar-Ge harcamalarındaki %1'lik bir artışın, yüksek teknoloji ürün ihracatını %6,5, bilgi ve iletişim teknolojileri ihracatını %0,6 ve ekonomik büyümeyi %0,43 oranında artırdığı belirlenmiştir.
(Kılavuz & Topcu, 2012)	22 tane gelişmekte olan ülke	1998-2006	Panel Veri	Sadece yüksek teknoloji imalat sanayi ihracatı, yatırımlar ve düşük teknoloji imalat sanayi ithalatının büyüme üzerinde pozitif ve anlamlı bir etki yarattığını göstermiştir.
(Coşkun & Eygü, 2020)	Türkiye	1990-2018	Zaman ARDL Serisi	Ar-Ge harcamalarının ihracat üzerinde kısa dönemde negatif, uzun dönemde pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.
(Canbay, 2020)	Türkiye	2004-2017	Zaman ARDL Sınır Testi	Ar-Ge harcamalarının kısa ve uzun dönemde ihracatı arttırdığı yönünde bulgulara ulaşılmıştır.
(Koçakoğlu & Bayraktar, 2019)	Türkiye	2001-2015	Doğrusal Regresyon Analizi	Patent başvuruları harcamaları ile yüksek teknoloji ürünlerin yıllık ihracata oranı arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

## 2. Metaryal ve Yöntem

Çalışmada, 38 tane OECD'ye üye ülke (Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Güney Kore, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Meksika, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri) verisi kullanılmıştır. OECD ülkelerini bu çalışmada inceleme konusu olarak seçilmesinin temel nedeni, bu ülkelerin ekonomik kalkınma, teknoloji kullanımı ve inovasyon kapasitesi açısından dünyanın en ileri gelen ekonomilerine sahip olmalarıdır. OECD (Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü), üyelerinin ekonomik performanslarını iyileştirmek ve küresel ekonomik istikrarı artırmak amacıyla politika analizi, öneriler ve karşılıklı iş birliği sağlama gibi işlevleri üstlenir. OECD ülkeleri, gelişmiş ekonomiler olarak hem yüksek düzeyde Ar-Ge yatırımları yapma kapasitelerine hem de bu yatırımların ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini analiz edebilmek için yeterli veriye sahiptir. Dolayısıyla, OECD ülkeleri, teknoloji ve inovasyon politikalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemek için uygun bir örneklem sunmaktadır.

Bunun yanı sıra, OECD ülkeleri arasında ekonomik, sosyal ve teknolojik göstergelerde önemli farklılıklar bulunmakta ve bu durum ülkeler arası karşılaştırmalı analiz yapmayı mümkün kılmaktadır. OECD ülkeleri, Ar-Ge harcamaları, eğitim seviyeleri, yüksek teknoloji ihracatı ve inovasyon kapasitesi gibi faktörlerde önde gelen birer örnek teşkil ederken, aynı zamanda bu ülkelerde uygulanan politikaların sonuçlarının değerlendirilebilmesi açısından da zengin bir veri kaynağı sunmaktadır. Bu çalışma, OECD ülkelerinin Ar-Ge yatırımları ve ileri teknoloji ihracatının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini inceleyerek, bu alanda politika geliştirme sürecine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. OECD ülkeleri, küresel ekonomik sistemdeki öncü rolleri ve politika geliştirme süreçlerindeki etkileri nedeniyle bu çalışmanın odağı olarak seçilmiştir.

OECD ülkelerine ilişkin 2007-2021 dönemine ait GSYİH, kamunun yaptığı AR-GE harcamaları, kamunun eğitim harcamaları ve yüksek teknoloji ihracat değerleri yıllık olarak <https://data.worldbank.org/> adresinden temin edilmiştir. Veriler Stata18 paket programı ile panel veri yöntemi ile analiz edilmiştir.

**Tablo 2:** Değişkenler ve Tanımları

Değişkenler	Simge	Birim	Kaynak
GSYİH	lnGDP	Cari ABD doları	WB
Kamunun Ar-Ge harcamaları	lnRD	Cari ABD doları	WB
Kamunun Eğitim harcamaları	lnEdu	Cari ABD doları	WB
Yüksek Teknoloji İhracatı	lnHTex	Cari ABD doları	WB

**Not:** Doğal logaritması alınan veriler simge olarak "ln" ile başlamaktadır.

## 2.1. Araştırma Bulguları

Değişkenler için yapılan analiz sonuçları aşağıda bölümler halinde verilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı ve eğitim homojenliği tespit edilen veri setinde ikinci nesil birim kök testlerinden CADF ile bağımlı ve bağımsız değişken durağanlık seviyeleri dikkate alınarak, AMG testi uygulanmıştır. Ayrıca hata terimlerinin normalliği, varyanslarının sabitliği ve otokorelasyon varlığı gibi kritik unsurlar da analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

### 2.1.1. Yatay Kesit Bağımlılığı (Cd) Test

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testi, panel veri analizlerinde çapraz kesit bağımlılığını tespit etmek amacıyla kullanılır. Bu test, genellikle "CD testi" olarak adlandırılır ve panel veri setlerindeki çapraz kesitler arasındaki potansiyel bağımlılıkların varlığını saptar. Bu testin matematiksel formülasyonu, panel verilerin ortak stokastik eğilimleri nedeniyle meydana gelebilecek bağımlılıkları ortaya çıkarmayı amaçlar (Demir, 2020:32). Pesaran'ın CD testi, panel veri setindeki bireysel seriler arası korelasyonları ölçer. Test, şu formülle ifade edilir:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{P}_{ij} \quad (3)$$

Burada;  $N$  panel üye sayısını,  $T$  zaman serisi uzunluğunu,  $P_{ij}$  ise  $i$  ve  $j$  panel üyeleri arasındaki tahmini korelasyon katsayısını temsil eder.

Testin değeri, sıfıra yaklaştıkça panel üyeleri arasında bağımlılık olmadığını gösterirken, büyük değerler (pozitif ya da negatif) çapraz kesit bağımlılığının varlığını işaret eder. Bu test,

özellikle büyük N (panel üye sayısı) ve T (zaman serisi uzunluğu) için asymptotik olarak normal dağılıma sahiptir (Pesaran, 2004: 121).

Pesaran'ın testi, ekonometrik modelleme yapılırken, özellikle makroekonomik ve finansal verilerin analizi sırasında karşılaşılan çapraz bağımlılık problemlerini gidermede oldukça yararlıdır. Bu bağımlılıklar, global ekonomik faktörler, politika değişiklikleri ya da belirli sektörlerdeki gelişmeler gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu noktadan hareketle veri setine ilişkin Pesaran (2004) CD testi sonuçlarına ilişkin tablo aşağıda sunulmuştur.

**Tablo 3:** Pesaran (2004) CD Testi Sonuçları ve Ortalama Korelasyon Katsayıları

Değişken	CD-testi	p-değeri	Ortalama Korelasyon	Mutlak Ortalama Korelasyon
lnGDP	45.43	.000	.442	.538
lnHTex	16.66	.000	.162	.448
lnRD	48.96	.000	.477	.573
lnEdu	31.80	.000	.310	.465

**Not:** Çapraz kesit bağımsızlığı için sıfır hipotezi altında,  $CD \sim N(0,1)$ . Anlamlılık düzeyi %1'den küçüktür ( $p < 0.01$ ).

Tablo 3 'dan anlaşılacağı üzere tüm değişkenler için CD testi sonuçları çok yüksek ve p-değerleri 0.000'dır, bu da çapraz kesit bağımsızlığı hipotezinin reddedildiğini gösterir. Yani, panel veri setindeki tüm değişkenler arasında çapraz kesit bağımlılığı vardır. Bu durum, ülkeler arasında güçlü bir etkileşim veya ortak şokların bulunduğunu göstermektedir.

### 2.1.2. Eğim Homojenliği (Heterogenite) Testi

Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen eğim homojenliği testi, panel veri setlerinde eğim katsayılarının homojen olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır. Bu test, genellikle "Delta testi" olarak adlandırılır ve eğim katsayılarının homojenliği hipotezini test eder. Testin matematiksel formülasyonu, panel verilerdeki bireysel eğim katsayılarının ortalamadan sapmalarını değerlendirmeyi amaçlar.

Delta testi şu formüllerle ifade edilir:

$$1. \text{ Standart Delta Testi: } \Delta = \sqrt{\frac{N}{2}} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_i - \beta \right) \quad (4)$$

$$2. \text{ Genişletilmiş Delta Testi (Delta_tilde): } \tilde{\Delta} = \sqrt{N} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\hat{\beta}_i - \beta}{\sigma_i} \right) \quad (5)$$

Burada;  $N$ , panel üye sayısını,  $\hat{\beta}_i$ ,  $i$ 'inci panel üyesi için tahmin edilen eğim katsayısını,  $\beta$ , ortalama eğim katsayısını,  $\sigma_i$ ,  $i$ 'inci panel üyesi için tahmin edilen eğim katsayısının standart hatasını temsil eder.

Bu testlerin değeri, sıfır hipotezinin (eğim katsayılarının homojen olduğu) reddedilme durumunu belirler. Büyük değerler, eğim katsayılarının heterojen olduğunu, yani panel üyeleri arasında farklılık gösterdiğini işaret eder.

Pesaran and Yamagata (2008) testleri, panel veri analizlerinde eğim homojenliği hipotezini test ederek, bireysel birimlerin farklı tepkilerini ve davranışlarını dikkate almayı sağlar. Bu testler, özellikle makroekonomik ve finansal verilerin analizi sırasında eğim katsayılarının homojen olup olmadığını değerlendirmek için kullanışlıdır. Aşağıda, veri setine ilişkin eğim homojenliği test sonuçlarına dair tablo sunulmuştur.

**Tablo 4:** Eğim Homojenliği Test Sonuçları

Test Türü	Delta	p-değeri	Sonuç
Standart Test	12.964	.000	Eğilim katsayıları heterojendir.
Düzeltilmiş Test	15.878	.000	Eğilim katsayıları heterojendir.

**Not:** Eğim homojenliği için sıfır hipotezi altında, Delta ve adj. Delta testleri asimptotik olarak normal dağılıma sahiptir. Anlamlılık düzeyi %1'den küçüktür ( $p < 0.01$ ).

- **Hipotez (H0):** Eğim katsayılarının homojen olduğu (yani, tüm kesitlerde aynı olduğu) varsayılmaktadır.
- **Alternatif Hipotez (H1):** Eğim katsayılarının heterojen olduğu (yani, farklı kesitlerde farklı olduğu) varsayılmaktadır.

Bulunun sonuçlara göre, her iki test türü için de p-değerlerinin 0.05'ten (ve hatta 0.01'den) çok daha küçük olduğunu göstermektedir. Bu, H0 hipotezinin reddedildiğini ve eğilim katsayılarının heterojen olduğunu gösterir.

### 2.1.3. Birim Kök Testi

Pesaran'ın (2007) Yatay Kesit Bağımlılığına Duyarlı Augmented Dickey-Fuller (CADF) testi, panel veri setlerinde birim kök varlığını test etmek için kullanılır. Bu test, geleneksel birim kök testlerinin göz ardı ettiği çapraz kesit bağımlılıklarını dikkate alarak, analizlerde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar (Pesaran, 2007)

Panel veri seti için standart Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi aşağıdaki gibi ifade edilir:  $\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{it} + \sum_{k=1}^{p_i} \gamma_{ik} \Delta y_{it-k} + \epsilon_{it}$  (6)

Burada;  $y_{it}$ , i panel üyesinin t zamanındaki gözlemini,  $\alpha_i$ , sabit terimi,  $\beta_i$ , yavaş düzeltme katsayısını,  $\gamma_{ik}$ , gecikmeli farkların katsayılarını,  $\epsilon_{it}$ , hata terimini temsil eder.

Pesaran'ın CADF testi, çapraz kesit bağımlılığını dikkate alarak şu şekilde düzenlenmiştir:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{it} + \sum_{k=1}^{p_i} \gamma_{ik} \Delta y_{it-k} + \epsilon_{it} + \delta y_{i,t-1} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

Burada  $y_{i,t-1}$ , çapraz kesit ortalamasını ifade eder.

CADF testi sonuçları, t-bar istatistiği ve kritik değerler (cv) karşılaştırılarak yorumlanır. Sıfır hipotezi, serinin birim kök içerdiği. t-bar istatistiğinin kritik değerlerden küçük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilir ve serinin durağan olduğu kabul edilir. Aşağıda, veri setine ilişkin CADF test sonuçları tablo halinde sunulmuştur:

**Tablo 5:** Pesaran's CADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	Seviye/Fark	t-bar	10% Kritik Değer	5% Kritik Değer	1% Kritik Değer	Z [t-bar]	P-değeri	Sonuç
lnGDP	Birinci Fark	-2.182	-2.030	-2.110	-2.260	-2.614	.004**	Birinci farkta durağan
lnHTex	Birinci Fark	-2.083	-2.030	-2.110	-2.260	-2.054	.020**	Birinci farkta durağan
lnRD	Birinci Fark	-2.286	-2.030	-2.110	-2.260	-3.203	.001**	Birinci farkta durağan
lnEdu	Seviye	-2.171	-2.030	-2.110	-2.260	-2.548	.005**	Düzeyde durağan

**Not:** \*\*\*, \*\*, ve \* sırasıyla yüzde 1, 5 ve 10 % anlamlılık düzeylerini göstermektedir

Tablo 5'ten anlaşılacağı üzere bağımlı değişken olan GSYİ I(I) seviyesinde yani birinci farkında durağan olduğunu, yine aynı şekilde bağımsız değişkenlerden Yüksek Teknoloji



ihracatı (lnHTex) ve Ar-Ge harcamaları (lnRD) I(1) seviyesinde durağan olmasına rağmen, Eğitim harcamaları I(0) yani düzeyde durağan olarak tespit edilmiştir.

Yukarıda sunulan bulgular çerçevesinde, modelde kullanılan veri setinin bağımlı değişkeni olan logaritmik GSYİH'nın (lnGDP) birinci farkında durağan olduğu (I(1)), bağımsız değişkenlerin ise (lnRD, lnHTex ve lnEdu) hem düzeyde (I(0)) hem de birinci farkında (I(1)) durağanlık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, panel veri analizinde uygulanacak yöntemin seçiminde kritik bir rol oynamaktadır. Değişkenlerin farklı durağanlık seviyelerinde olması, uzun dönemli ilişkilerin araştırılmasında Panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) testinin uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, analizde kullanılan veri setinin cross-sectional bağımlılığa sahip olması ve eğitim katsayılarının homojen olmaması, geleneksel panel ARDL yöntemlerinin ötesinde daha gelişmiş ve sağlam yöntemlerin kullanılmasını gerektirmiştir. Bu bağlamda, özellikle heterojen panel veri setlerinde uzun dönem ilişkilerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen AMG (Augmented Mean Group) yöntemi tercih edilmiştir. AMG, geleneksel Mean Group (MG) tahmincisini, cross-sectional bağımlılığı dikkate alan bir ortak dinamik süreç ekleyerek genişletmektedir. Bu yöntem, paneller arası heterojenliği korurken, ortak faktörlerin etkisini de hesaba katarak daha tutarlı ve güvenilir tahminler sunmaktadır.

#### 2.1.4. Normallik, Heteroskedastisite, Otokorelasyon ve Model Özet İstatistikleri

Modelin güvenilir sonuçlar üretebilmesi için temel varsayımların test edilmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda, hata terimlerinin normalliği, varyanslarının sabitliği ve otokorelasyon varlığı gibi kritik unsurlar analiz edilmiştir. Normallik testi, hata terimlerinin normal dağılıma uyup uymadığını değerlendirmek amacıyla Skewness/Kurtosis testleri ile gerçekleştirilmiştir (Jarque & Bera, 1987). Ayrıca, heteroskedastisite problemi Breusch and Pagan (1979) testiyle test edilmiş ve otokorelasyon Baltagi and Wu (1999) ile Durbin and Watson (1992) testleri kullanılarak incelenmiştir. Her bir testin sonuçları, modelde potansiyel sorunların tespit edilmesine ve bu sorunların etkisini azaltmaya yönelik yöntemlerin uygulanmasına olanak tanımıştır. Aşağıdaki tabloda normallik testi bulguları sunulmaktadır.

**Tablo 6:** Normallik Testi Sonuçları

Test Türü	Değer	Sonuç
Skewness p-değeri	0.0000	Hata terimleri çarpık (normallik sağlanmadı).
Kurtosis p-değeri	0.0000	Hata terimleri basık (normallik sağlanmadı).
Ortak Test (Prob > chi2)	0.0000	Normallik reddedildi

Modelin hata terimlerinin normal dağılıp dağılmadığını kontrol etmek amacıyla Skewness/Kurtosis testi uygulanmıştır. Sonuçlar, hata terimlerinin normal dağılıma uymadığını göstermiştir (p-value = 0.0000). Hata terimindeki normallik varsayımının sağlanamaması durumunda, modelin sağlamlığını artırmak için robust standart hatalar kullanılmıştır. Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırarak potansiyel sapmaları minimize etmektedir.

**Tablo 7:** Değişen Varyans (Heteroskedastisite) Testi

Test Türü	Yöntem	Chi <sup>2</sup> değeri	p- değeri	Sonuç
Heteroskedastisite Testi	Breusch-Pagan Testi	19.46	0.0001	Heteroskedastisite tespit edildi
Heteroskedastisite Testi	Robust Standart Hatalar	-	-	Heteroskedastisite etkisi azaltıldı

Breusch-Pagan testi sonuçlarına göre heteroskedastisite tespit edilmiştir (Chi<sup>2</sup> = 19.46, p < 0.05). Hata terimlerinin sabit bir varyansa sahip olup olmadığını test etmek amacıyla sabit etkiler modeli ile robust standart hatalar kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yöntem sayesinde heteroskedastisite etkisi büyük ölçüde azaltılmıştır. Sabit etkiler modeli kullanılarak, panel veri analizlerinde karşılaşılabilecek değişen varyans sorunları kontrol altına alınmıştır.

**Tablo 8:** Değişen Varyans (Heteroskedastisite) Testi

Test Türü	Değer	p-değeri	Sonuç
Baltagi-WuLBI Otokorelasyon Testi	2.03	0.041	Otokorelasyon tespit edildi (p < 0.05)
Durbin-Watson Testi	1.85	-	Hafif otokorelasyon tespit edildi

Baltagi-Wu LBI testi sonuçları, modelde hata terimleri arasında otokorelasyon olduğunu ortaya koymuştur (rho\_ar = 0.846). Zaman serisi boyunca hata terimlerinin birbiriyle ilişkili olduğu bu bulgular, otokorelasyonun etkisini hafifletmek amacıyla modele uygun yöntemlerin kullanıldığını göstermektedir. Sabit etkiler modelinin robust standart hatalarla birleştirilmesi, otokorelasyon etkisinin sonuçlar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmıştır.

**Tablo 9:** Modelin Uygunluk İstatistikleri (R<sup>2</sup> ve F-Testi)

Ölçüt	Değer
Within R <sup>2</sup>	0.1284
Between R <sup>2</sup>	0.6044
Overall R <sup>2</sup>	0.5876
F-Testi	F(4, 37) = 3.84, p-value = 0.0105

R<sup>2</sup> değerleri (Within R<sup>2</sup> = 0.1284, Between R<sup>2</sup> = 0.6044, Overall R<sup>2</sup> = 0.5876) modelin bağımlı değişken olan GSYİH'yı açıklama gücünü göstermektedir. Modelin genel anlamlılığını test eden F-istatistiği sonucunda modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur (F(4, 37) = 3.84, p = 0.0105). Özellikle overall R<sup>2</sup> değeri, modelin yaklaşık %58.76 oranında açıklama gücüne sahip olduğunu göstermekte olup, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır.

### 2.1.5. Augmented Mean Group (AMG) Tahmin Sonuçları

AMG (Augmented Mean Group) tahmincisi, heterojen panel veri setlerinde uzun dönem ilişkilerini tahmin etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir (Pesaran & Smith, 1995). Bu yöntem, geleneksel Mean Group (MG) tahmincisini genişleterek cross-sectional bağımlılığı hesaba katan ortak bir dinamik süreç ekler (Eberhardt, 2012)

Panel veri modelinde,  $y_{it}$  bağımlı değişken,  $x_{it}$  ise kx1 boyutunda bağımsız değişkenler vektörü olmak üzere, genel model şu şekilde ifade edilebilir:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + u_{it} \quad (7)$$

Burada;  $i=1, \dots, N$  ülkeleri temsil eder,  $t=1, \dots, T$  zaman dönemlerini temsil eder,  $\alpha_i$  ülkeye özgü sabit etkileri temsil eder,  $\beta_i$  ise her ülke için kx1 boyutunda katsayılar vektörüdür,  $u_{it}$  hata terimidir.

Cross-sectional bağımlılığı hesaba katmak için,  $u_{it}$  şu şekilde modellenir:

$$u_{it} = \lambda_i f_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Burada;  $\lambda_i$  ülkeye özgü faktör yüklerini temsil eder,  $f_t$  ise ortak faktörleri (ortak dinamik süreç) temsil eder,  $\varepsilon_{it}$  idiosinkratik hata terimidir.

AMG tahmincisi, ortak faktörleri hesaba katmak için  $u_{it}$  terimini genişletir ve modele ortak bir dinamik süreç ( $R_c$ ) ekler:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + \gamma_i R_c + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Burada  $R_c$  ortak dinamik süreci temsil eder ve bu süreç  $f_{it}$  ile ilişkilidir.

AMG tahmincisi, panel veri analizinde heterojenlik ve cross-sectional bağımlılığı aynı anda ele alan bir yöntemdir. Geleneksel MG (Mean Group) tahmincisi, ülkeler arasındaki farklılıkları (heterojenliği) dikkate alırken, cross-sectional bağımlılığı göz ardı eder. AMG tahmincisi ise, bu eksikliği gidermek için modele ortak bir dinamik süreç ekleyerek cross-sectional bağımlılığı da hesaba katar. AMG tahmin sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 10:** AMG Tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı	Std.Hata	z	P> z	%95 G.A.
lnHTex	.0456	.0226	2.02	.044**	.0013-.0900
lnRD	.1910	.0576	3.31	.001*	.0781-.3040
lnEdu	.4773	.0609	7.84	.000*	.3581-.5966
00000R_c	.8698	.1325	6.57	.000*	.6102-1.1294
Sabit	9.9487	.8206	12.12	.000*	8.3403-11.5571

Not: \*\*\*, \*\*, ve \* sırasıyla yüzde 1, 5 ve 10 % anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tabloda verilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere, yüksek teknoloji ihracatı (lnHTex) için katsayı 0.0456 olup, %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır (p-değeri = 0.044). Bu, yüksek teknoloji ihracatında %1'lik bir artışın, diğer faktörler sabit tutulduğunda, GSYİH'da %0.0456'lık bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, OECD ülkelerinde yüksek teknoloji ihracatının ekonomik büyümeye olan olumlu ve anlamlı katkısını vurgulamaktadır. Ar-Ge harcamaları (lnRD) için katsayı 0.1910 olup, p-değeri 0.001 ile güçlü bir istatistiksel anlamlılık taşımaktadır. Ar-Ge harcamalarında %1'lik bir artış, GSYİH'da %0.1910'luk bir artışla ilişkilendirilmiştir. Bu sonuç, Solow büyüme modelinin teknolojik ilerlemeye yaptığı vurgu ile uyumlu olarak Ar-Ge yatırımlarının ekonomik büyümeyi destekleyen kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Eğitim harcamaları (lnEdu) için katsayı 0.4773 olup, p-değeri 0.000 ile oldukça anlamlıdır. Eğitim harcamalarındaki %1'lik bir artış, GSYİH'da %0.4773'lük bir artışa karşılık gelmektedir. Bu sonuç, eğitimin ekonomik büyüme üzerindeki önemli rolünü vurgulamakta ve insan sermayesinin uzun vadeli gelişimine katkıda bulunduğunu göstermektedir.

### Sonuç

Bu çalışmada, OECD ülkelerinde AR-GE harcamaları, ileri teknoloji ihracatı ve eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkileri, Solow büyüme modeli çerçevesinde analiz edilmiştir. Solow büyüme modeli, uzun dönemde ekonomik büyümenin temel belirleyicilerinin sermaye birikimi, işgücü artışı ve teknolojik gelişme olduğunu öne sürer. Bu

bağlamda, çalışmamızda kullanılan bağımsız değişkenler (AR-GE harcamaları, ileri teknoloji ihracatı ve eğitim harcamaları) Solow modelinin temel unsurları olan sermaye ve teknolojik gelişmenin yansımaları olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, bu faktörlerin OECD ülkelerinde ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve modelin geçerliliğini desteklemiştir.

İleri teknoloji ihracatının (lnHTex) ekonomik büyüme üzerindeki etkisi %5 anlamlılık düzeyinde pozitif ve anlamlı bulunmuştur. Yüksek teknoloji ihracatında %1'lik bir artışın, ekonomik büyümede %0.0456'lık bir artışa yol açtığı görülmüştür. Bu bulgu, Solow büyüme modelinin teknolojik ilerlemeye atfettiği önemin altını çizirken, özellikle OECD ülkelerinde yüksek teknoloji sektörlerinin ekonomiyi büyüten önemli bir unsur olduğunu göstermektedir. Yüksek teknoloji ihracatının ekonomik büyümeye olan katkısı, küresel rekabet ortamında teknoloji yoğun sektörlerin desteklenmesinin ve bu alanlardaki ihracatın artırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

AR-GE harcamalarının (lnRD) ekonomik büyüme üzerindeki etkisi de pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. %1'lik bir AR-GE harcaması artışı, GSYİH'da %0.1910'luk bir artışla sonuçlanmaktadır. Bu sonuç, Solow büyüme modelinin teknolojik ilerleme ve yenilikçiliğin ekonomik büyüme üzerindeki uzun vadeli etkilerini vurgulayan teorik yapısını destekler niteliktedir. AR-GE harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki bu olumlu etkisi, ülkelerin teknolojiye dayalı bir büyüme stratejisi geliştirmesi gerektiğini ve AR-GE yatırımlarının artırılmasının kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Eğitim harcamaları (lnEdu) da ekonomik büyüme üzerinde oldukça etkili bulunmuştur. %1'lik bir eğitim harcaması artışı, GSYİH'de %0.4773'lük bir artışla ilişkilendirilmiştir. Eğitim, Solow modelinde işgücü kalitesinin artırılması ve dolayısıyla toplam faktör verimliliğinin yükseltilmesi açısından önemli bir faktördür. Bu çalışma, eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki uzun vadeli pozitif etkilerini ortaya koymakta ve insan sermayesinin geliştirilmesinin, ülkelerin ekonomik performanslarını artırmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Eğitim politikalarının, özellikle nitelikli işgücü yetiştirme ve teknolojik ilerlemeyi destekleme odaklı olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

Bu tespitler, Solow büyüme modelinin OECD ülkelerinde geçerliliğini koruduğunu ve ekonomik büyümenin temel belirleyicileri olan sermaye, işgücü ve teknolojik gelişmenin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini göstermektedir. Çalışmamızda, hem AR-GE harcamalarının hem de ileri teknoloji ihracatının ekonomik büyümeyi olumlu etkilediği, eğitim harcamalarının ise bu süreçte kritik bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, OECD ülkelerinde ekonomik büyümenin itici güçlerini analiz etmiş ve Solow büyüme modelinin sunduğu teorik çerçeveyi ampirik bulgularla desteklemiştir. Özellikle AR-GE harcamaları, ileri teknoloji ihracatı ve eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki pozitif etkileri, bu ülkelerin büyüme stratejilerini bu alanlar üzerine yoğunlaştırmaları gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu faktörlerin farklı ülke grupları üzerindeki etkilerini karşılaştırarak daha kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır. Bu bulgular, ekonomik büyümeyi sürdürülebilir kılma ve teknolojik ilerlemeyi hızlandırma yolunda ülkelerin alması gereken önlemleri belirlemeleri açısından önem arz etmektedir.

## Extended Abstract

This study explores the impact of R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures on economic growth in OECD countries, using the Solow growth model as a theoretical framework. The Solow model highlights capital accumulation, labor force growth, and technological progress as essential drivers of long-term economic growth, with technological advancement being treated as an exogenous factor. The study aims to empirically test how variables representing technological progress and human capital—specifically R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures—contribute to economic performance in advanced economies.

OECD countries were selected for the analysis due to their highly developed economies, characterized by robust institutions, advanced infrastructure, and substantial investments in R&D and education. These countries are also global leaders in high-tech industries, making them crucial for examining the relationship between technological innovation, human capital, and economic growth. The findings from OECD countries can offer valuable policy insights not only for these nations but also for other regions seeking to achieve similar levels of economic development.

The study utilizes panel data analysis, a method that is particularly effective for datasets that vary across time and between countries. The stationarity of the data series was tested using panel unit root tests to ensure that the variables do not contain unit roots, which could otherwise lead to misleading conclusions. The results indicated that the dependent variable (lnGDP) is stationary at the first difference (I(1)), while the independent variables—R&D expenditures (lnRD), high-tech exports (lnHTex), and education expenditures (lnEdu)—exhibit stationarity at both levels (I(0)) and first differences (I(1)). Given this mix of integration orders, the study employs a panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) approach to model both short- and long-term relationships between the variables.

To estimate the long-term relationships accurately, the study adopts the Augmented Mean Group (AMG) estimator, developed by Bond & Eberhardt (2009) and Eberhardt & Teal (2010). The AMG estimator is designed to handle heterogeneous panel data and cross-sectional dependence, which is crucial for datasets where unobserved common factors may influence the results. This method provides more reliable estimates of long-term relationships, making it particularly suited to the OECD data used in this study.

The empirical findings of the study are both significant and instructive. High-tech exports (lnHTex) have a positive and statistically significant impact on economic growth. Specifically, a 1% increase in high-tech exports results in a 0.0456% increase in GDP, with a 5% significance level. This underscores the critical role of high-tech industries in driving economic growth in OECD countries, consistent with the Solow model's emphasis on technological progress as a key factor for sustained growth. OECD countries, being leaders in global technological innovation, benefit significantly from their high-tech sectors, suggesting that further investment in these industries is essential for maintaining and enhancing economic growth.

R&D expenditures (lnRD) were also found to have a positive and statistically significant relationship with economic growth. A 1% increase in R&D spending is associated with a

0.1910% rise in GDP, with a highly significant p-value of 0.001. This finding is consistent with the Solow model, which highlights technological progress as a vital driver of long-term growth. Investment in R&D fosters innovation and enhances productivity, leading to higher economic output. The strong positive impact of R&D expenditures on growth in OECD countries emphasizes the need for sustained public and private investments in research and development to promote continued innovation and productivity gains.

Among the variables analyzed, education expenditures (lnEdu) had the most substantial impact on economic growth. A 1% increase in education expenditures leads to a 0.4773% increase in GDP, with a highly significant p-value of 0.000. This finding highlights the critical role that education plays in driving economic performance. By improving the quality of the labor force—through the enhancement of skills, knowledge, and productivity—education contributes significantly to higher economic output. This is consistent with the human capital theory within the Solow model, which posits that improvements in labor quality are essential for sustaining long-term economic growth. For OECD countries, which already have well-developed education systems, further investments in education can yield considerable economic benefits, reinforcing the need for continued attention to educational policy and funding.

Overall, the study validates the Solow growth model's relevance in the context of OECD countries. The model's emphasis on capital accumulation, labor force growth, and technological progress as the primary drivers of long-term growth is supported by the empirical results. The positive and significant effects of R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures on economic growth suggest that these factors are indeed critical for sustaining economic performance in advanced economies. The use of the AMG estimator, which accounts for cross-sectional dependence and heterogeneity across countries, provides a nuanced and reliable understanding of the complex relationships between these variables.

The findings have important implications for policymakers. The positive effect of high-tech exports on economic growth highlights the importance of supporting and expanding high-tech sectors. Policies aimed at fostering innovation, supporting high-tech startups, and enhancing the global competitiveness of high-tech industries are crucial for sustaining growth. Similarly, the strong positive impact of R&D expenditures suggests that governments should continue to incentivize private sector R&D and consider increasing public investment in research activities that drive technological progress.

The substantial effect of education expenditures on economic growth emphasizes the need for continued investment in education. Policymakers should focus on improving the quality of education, expanding access to educational opportunities, and aligning curricula with the demands of a modern, technology-driven economy. In particular, STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education should be prioritized to support innovation and the high-tech sectors that are critical to long-term economic growth.

In conclusion, this study provides strong empirical support for the Solow growth model in the context of OECD countries. The positive and significant effects of R&D expenditures, high-tech exports, and education expenditures on economic growth highlight the importance of these factors in driving long-term economic performance. The study's findings offer valuable

insights for policymakers and suggest that continued investments in R&D, high-tech industries, and education are essential for sustaining economic growth in advanced economies.

---

**Etik Beyanı:** Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti hâlinde Artvin Çoruh Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarına aittir.

---

**Ethical Approval:** The authors declares that ethical rules are followed in all preparation processes of this study. In the case of a contrary situation, Artvin Coruh University International Journal of Social Sciences has no responsibility, and all responsibility belongs to the study's author.

---

### Kaynakça

- Aghion, P. (1990). A model of growth through creative destruction.
- Baltagi, B. H., & Wu, P. X. (1999). Unequally spaced panel data regressions with AR (1) disturbances. *Econometric theory*, 15(6), 814-823.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1287-1294.
- Canbay, Ş. (2020). Türkiye'de araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) harcamalarının ihracat üzerindeki etkileri. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(63), 131-140.
- Coşkun, H. ve Eygü, H. (2020). Ar-Ge harcamaları ve ihracat ilişkisinin incelenmesi: Türkiye Örneği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 233-242.
- Çakmak, E. ve Yapraklı, S. (2004). Eğitim ve ekonomik büyüme bir literatür araştırması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 5(1).
- Çelik, K., Güleriyüz, S. ve Özköse, H. (2018). 4. Endüstri devrimine kuramsal bakış. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(9), 86-95.
- Çiftçi Durusu, D. (2015). Finansal gelişme ve ekonomik büyüme ilişkisi: bir genişletilmiş solow büyüme modeli denemesi ve ampirik uygulama.
- Doruk, Ö. T. ve Söylemezoğlu, E. (2014). Gelişmekte olan ülkelerde Ar-Ge'ye dayalı büyümenin varlığının sınanması. *1.Ulusal Üretim Ekonomisi Kongresi*.
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1992). Testing for serial correlation in least squares regression. II. In *Breakthroughs in Statistics: Methodology and Distribution* (pp. 260-266). Springer.
- Göçer, İ. (2013). Ar-Ge harcamalarının yüksek teknoloji ürün ihracatı, dış ticaret dengesi ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri. *Maliye Dergisi*, 165(2), 215-240.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1993). *Innovation and growth in the global economy*. MIT press.
- Gülmez, A. ve Yardımcıoğlu, F. (2012). OECD ülkelerinde Ar-Ge harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Panel eşbütünleşme ve panel nedensellik analizi (1990-2010). *Maliye Dergisi*, 163(1), 335-353.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1987). A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 163-172.
- Kaya, İ. T. ve Abay, M. Ç. (2020). Türkiye ile Avrupa Birliği üyesi 10 ekonominin Arge-Büyüme ilişkisi: Panel veri analizi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2), 81-95.
- Kılavuz, E., & Topcu, B. A. (2012). Export and economic growth in the case of the manufacturing industry: panel data analysis of developing countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 2(2), 201-215.

- Koçakoğlu, M. A., & Bayraktar, Ö. V. (2019). AR-GE harcamaları, patent başvuruları ve yüksek teknoloji içeren ürünlerin ihracat rakamları arasındaki ilişkiye yönelik bir çalışma. *İktisadi Yenilik Dergisi*, 6(2), 120-128.
- Konak, A. (2018). Yüksek teknoloji içeren ürün ihracatının ihracat hacmi ve ekonomik büyüme üzerine etkisi; seçilmiş OECD ülkeleri ve Türkiye örneği. *JOMELIPS-Journal of Management Economics Literature Islamic and Political Sciences*, 3(2), 56-80.
- Lucas Jr, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Manual, O. (1997). OECD proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. In: Paris.
- Palley, T. I. (2012). The rise and fall of export-led growth. *Investigación Económica*, 71(280), 141-161.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers. *Economics*, 1240(1), 1.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H., & Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of econometrics*, 68(1), 79-113.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Rebelo, S. (1991). Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 99(3), 500-521.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, 11(5).
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Sarıdoğan, H. Ö. (2019). Yüksek teknoloji ihracatı, bilişim hizmetleri ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: türkiye ve ab ülkeleri için bir panel veri analizi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 19-30.
- Sokolov-Mladenović, S., Cvetanović, S., & 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. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Şeker, A., ve Özcan, S. (2019). Yüksek teknoloji ürünü ihracatı ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye örneği. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 6(3), 865-884.
- Ustaoglu, M. O. (2021). *AR-GE harcamalarının ekonomik büyüme üzerine etkisi: AB ülkeleri ve Türkiye örneği* [Trakya Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>