

AR-GE ÇALIŞMALARI VE BEŞERİ SERMAYENİN EKONOMİK BÜYÜMEYE ETKİLERİ: MATEMATİKSEL BİR MODELLEMENİN EKONOMETRİK ÇÖZÜMÜ

THE EFFECTS OF R&D STUDIES AND HUMAN CAPITAL ON ECONOMIC GROWTH: ECONOMETRIC SOLUTION OF A MATHEMATICAL MODELING

Ali FILİZ¹

Öz

Ekonomik büyümenin artırılması tüm ülkelerin ortak bir hedefidir. Bilim insanları ekonomik büyümenin kaynaklarını belirleyebilmek için birçok matematiksel fonksiyonlar ve istatistiksel yöntemden yararlanmaktadır. Bu çalışmada ekonomik büyümenin matematiksel fonksiyonlar yardımıyla modellenmesi, tarihsel gelişim sırası içinde ele alınmış, elde edilen modelde yer alan teknoloji parametresi Ar-Ge çalışmaları ve beşerî sermayeyi kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu fonksiyonel kalıp, ekonometrik model haline getirilip, katsayıları; gelişmiş 40, gelişmekte olan 21 ülkenin 1996-2020 dönemi verileri kullanılarak panel veri analizi yöntemiyle tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; kişi başına düşen milli geliri, kişi başına düşen Ar-Ge harcamalarındaki %1'lik artış geliştirmekte olan ülkelerde %0.048-%0.067 aralığında, gelişmiş ülkelerde %0.197 artırmıştır. Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısındaki %1'lik artış kişi başına düşen milli geliri geliştirmekte olan ülkelerde %0.31-%0.49 aralığında, gelişmiş ülkelerde %0.158 yükseltmiştir. Kişi başına düşen eğitim harcaması %1 artırıldığında kişi başına düşen milli gelir geliştirmekte olan ülkelerde %0.223-%0.276 bandında, gelişmiş ülkelerde %0.225 oranında artmıştır. Kişi başına düşen sağlık harcamaları %1 arttığında milli gelir geliştirmekte olan ülkelerde %0.242-%0.267 aralığında artarken, gelişmiş ülkelerde %0.257 oranında yükselmiştir. İşgücü başına düşen sabit sermaye stoku %1 arttığında kişi başına düşen milli gelir gelişmiş ülkelerde %0.302, gelişmiş ülkelerde %0.194 oranında artmıştır. Tüm bunlar, Ar-Ge çalışmaları ile eğitim ve sağlık yatırımlarının ülkelerin ekonomik büyümelerini artırmanın önemli birer vesilesi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Matematiksel Modelleme, Ar-Ge Harcamaları, Ar-Ge Alanında Çalışan Araştırmacılar, Eğitim Harcamaları, Sağlık Harcamaları, Sermaye Stoku, Panel Veri Analizi.

Abstract

Increasing economic growth is a common goal of all countries. Scientists use many mathematical functions and statistical methods to determine the sources of economic growth. In this study, the modeling of economic growth with the help of mathematical functions has been handled in the order of historical development, and the technology parameter in the obtained model has been expanded to include R&D studies and human capital. This functional pattern was turned into an econometric model and estimated by panel data analysis method using the data of the period 1996-2020 of 40 developed and 21 developing countries. According to the findings; a 1% increase in the R&D expenditures per capita increased 0.048-0.067% increased gross domestic per capita in developing countries and 0.197% in developed countries. The 1% increase in the number of researchers working in the field of R&D increased the national income by 0.31-0.49% in developing countries and by 0.158% in developed countries. When the education expenditure per capita was increased by 1%, the per capita income increased by 0.223-0.276% in developing countries and 0.225% in developed countries. When health expenditures per capita increased by 1%, national income increased by 0.242%-0.267% in developing countries, while it increased by 0.257% in developed countries. Lastly, when the fixed capital stock per labor force increased by 1%, the per capita income increased by 0.302% in developed countries and by 0.194% in developed countries. All of these show that R&D studies and investments in education and health are important means of increasing the economic growth of countries.

Keywords: Economic Growth, Mathematical Modeling, R&D Expenditure, Researchers Working in the Field of R&D, Education Expenditure, Health Expenditure, Capital Stock, Panel Data Analysis.

¹ Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Denizli, alifiliz@pau.edu.tr, Orcid: 0000-0002-0011-0635

1. GİRİŞ

Tarihteki ilk bilim dalı olarak felsefe kabul edilmektedir (Frank, 1952, s. 116) ve ondan ayrılan ilk bilim dalı da matematiktir (Stewart, 2017, s. 3). Günümüzde 550 tane alt disiplini olan matematik, mühendislikten ekonomiye, tıptan çevre bilimine kadar birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Frankel, 2019, s. 3-4). Matematik bu bilimlere fonksiyonel modeller (kalıplar) sunmaktadır. İlgili bilimdeki büyüklüklerin bu modellere dâhil edilmesi, karmaşık ilişkilerin analitik bir düzelmeye incelenbilmesini olanaklı hale getirmektedir (Sevüktekin, 2013, s. 12-15).

Günümüzde matematiğin en yaygın kullanıldığı bilim dallarından biri de ekonomi olup, bu bilim dalında logaritmadan, tümevarıma (toplam ve çarpım sembollerine), limitten türev ve integrale kadar birçok matematiksel işlemde yararlanılmaktadır (Jones, 2001, s. 106-108; Tari, 2012, s. 6-8). Unutulmamalıdır ki Avusturyalı bilim insanı Peter F. Drucker'ın de dediği gibi “*Ölçemediğiniz bir şeyi yönetemezsiniz*” (Drucker, 2016). O halde ekonomiyi doğru biçimde yönetebilmek için doğru ölçüm tekniklerine, bunun için de matematik ve istatistik bilimine ihtiyaç vardır. Ekonomideki büyüklükleri, bunların değişim hızlarını ve birbirilerine olan etki düzeylerini belirleyebilmek için de matematiksel kalıplar (fonksiyonlar) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Dikmen, 2012, s. 1-3).

Bu çalışmada matematiğin, ülkelerin ekonomik büyümelerini açıklamada nasıl kullanıldığı, matematiksel fonksiyonlar ve operatörler (işlemler) yardımıyla açıklanacaktır. Çalışmanın; matematiğin ne işe yaradığını soran lise ve üniversite öğrencilerine ışık tutucu olması, matematiğin ne işe yaradığını öğrenmenin verdiği gereklilik duygusuyla matematiği severek ve anlayarak öğrenmelerine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Öğrencilerine matematiği sevdirmekte zorlanan matematik öğretmenleri ve akademisyenler için de kullanışlı bir ders materyali olabilecek olan bu çalışmanın, disiplinler arası çalışmaya güzel bir örnek teşkil etmesi umulmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; ekonomik büyümenin tarihsel gelişim süreci içinde matematiksel modellemesi yapıp, elde edilen nihai modelin ekonometrik forma dönüştürülmesi gösterilecek, üçüncü bölümünde; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere ilişkin iki farklı ülke sepetinde ekonomik büyümenin belirleyicileri, 1996-2020 dönemi için panel veri analizi yöntemiyle ortaya çıkartılacaktır. Sonuç ve değerlendirmelerle çalışma tamamlanacaktır.

2. MODELLEME

Ekonomi biliminde üretim ve dolayısıyla milli gelir, genel olarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılarak modellenmektedir. Bu modelde milli gelir (Y), işgücü (L) ve sermaye stokunun (K) bir fonksiyonu olarak ele alınmaktadır. Temel Cobb-Douglas üretim fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Yıldırım, Karaman ve Taşdemir, 2009, s. 496-497):

$$Y = L^{\alpha} K^{\beta} \quad (1)$$

Burada α ve β üretimin sırasıyla emek ve sermayeye olan duyarlılığını ifade etmektedir. $\alpha + \beta = 1$ olduğunda; ölçeğe göre sabit getiri durumunun söz konusu olduğu kabul edilmektedir. Bir ekonomide $\alpha > \beta$ olduğunda emek yoğun, $\alpha < \beta$ olduğunda ise sermaye yoğun üretim stratejilerinin uygulandığı kabul edilmektedir (Dinler, 2012, s. 150-152).

Solow (1956) üretimin emek ve sermaye ile açıklanamayan kısmını²; “*Gökten Düşen Elma*”ya benzettiği “*Teknoloji*” ile ifade etmiş A teknoloji parametresi ile Denklem (1)’e ilave etmiştir (Jones, 2001, s. 33-36).

$$Y = AL^{\alpha}K^{\beta} \quad (2)$$

Solow (1956) ve Swan (1956) teknolojik gelişmeyi ekonomik büyüme modeli içinde açıklayamadıkları için bunu dışsal kabul etmişlerdir. Bu nedenle kurdukları modele de Dışsal Ekonomik Büyüme Modeli ya da Neoklasik Ekonomik Büyüme Modeli adı verilmiştir (Yay, 1993). Bu modelde emek ve sermayenin azalan marjinal verimleri gereği sınırlı bir ekonomik büyüme söz konusudur. Yani ekonomik büyüme belirli bir seviyeye kadar artacak, sonra durağan durum dengesine ulaşacaktır (Mixon ve Sockwell, 2007). Bu durumu bir grafik yardımıyla inceleyebilmek için Denklem (2)’deki değişken sayısı ikiye indirilebilir. Bu amaçla Denklem (2)’nin her iki tarafı L’ye bölünebilir (Yıldırım vd. 2009, s. 497):

$$\frac{Y}{L} = \frac{AL^{\alpha}K^{\beta}}{L} \quad (3)$$

$$\frac{Y}{L} = A \frac{K^{\beta}}{L^{1-\alpha}} \quad (4)$$

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı gereği $\alpha + \beta = 1$ idi. Buradan $1 - \alpha = \beta$ elde edilir. Bu ifade Denklem (4)’te yerine yazıldığında;

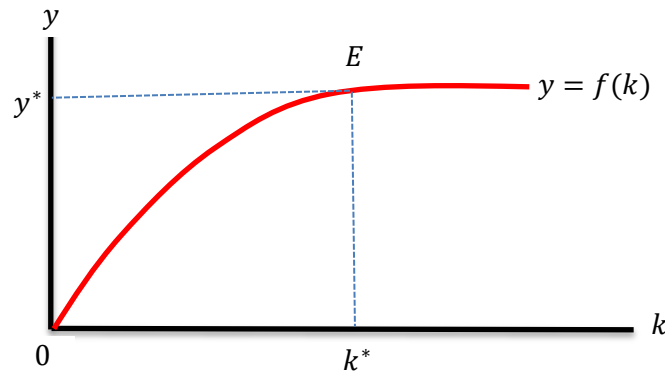
$$\frac{Y}{L} = A \frac{K^{\beta}}{L^{\beta}} \quad (5)$$

$$\frac{Y}{L} = A \left(\frac{K}{L}\right)^{\beta} \quad (6)$$

Denklem (6) düzenlendiğinde işgücü başına üretim miktarı ($y = \frac{Y}{L}$), işgücü başına sabit sermaye stokunun ($k = \frac{K}{L}$) bir fonksiyonu haline gelecektir.

$$y = Ak^{\beta} \quad (7)$$

Artık ekonomik büyüme (üretim), Denklem (7) kullanılarak, Şekil 1’deki gibi çizilebilir.



Kaynak: Yıldırım vd. (2009, s. 497).

Şekil 1: Dışsal Büyüme Modeli

² Sonraki araştırmacılar bu kısım için “*Solow Artığı*” tanımlamasını kullanmışlardır (Raa ve Shestalova, 2010, s. 72).

Şekil 1'e göre 0'dan k^* seviyesine kadar işgücü başına düşen sabit sermaye stoku (makine-teçhizat) arttıkça, işgücünün marjinal verimi de artacak, böylece üretim ve ekonomik büyüme y^* seviyesine kadar ulaşacaktır. Ancak bu seviyede (E noktasından itibaren) artık sermayenin azalan verimleri yasası devreye girecek ve ekonomik büyüme duracaktır (Bairoliya, 2014). Tabii ki bu durum insanlık ve medeniyet gelişimi için istenen bir sonuç değildir.

Bu sorun Romer (1986) ve Lucas (1988)'in çalışmalarıyla geliştirilen ve teknolojik ilerlemeyi (A) de modele dâhil ederek açıklayan İçsel Büyüme Modeli sayesinde çözülmüştür. Bu modelde teknolojik ilerleme, işgücünün verimliliğini artıran bir faktör olarak ele alınmış ve emek faktöründen modele dâhil edilmiştir (Parker, 2012). Yazarlar bunu Denklem (2)'deki Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu yeniden düzenleyerek gerçekleştirmişlerdir (Jones, 2001, s. 35):

$$Y = (AL)^\alpha K^\beta \quad (8)$$

Burada Denklem (8)'in her iki tarafı AL'ye bölünmüştür:

$$\frac{Y}{AL} = \frac{(AL)^\alpha K^\beta}{AL} \quad (9)$$

$$\frac{Y}{AL} = \frac{K^\beta}{(AL)^{1-\alpha}} \quad (10)$$

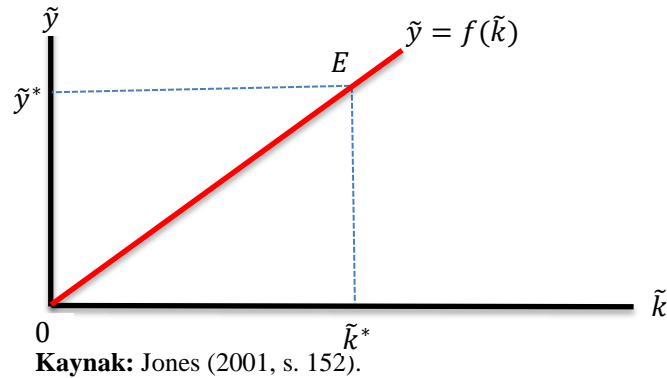
Yine ölçüğe göre sabit getiri varsayımı gereği $\alpha + \beta = 1$ olup, buradan $1 - \alpha = \beta$ elde edilerek, Denklem (10)'da (4)'te yerine yazıldığında;

$$\frac{Y}{AL} = \frac{K^\beta}{(AL)^\beta} \quad (11)$$

Elde edilir. Denklem (11) biraz daha düzenlendiğinde; etkin işgücü başına üretim miktarı (\tilde{y}), etkin işgücü başına düşen sabit sermaye stokunun (\tilde{k}) bir fonksiyonu haline gelecektir.

$$\tilde{y} = \tilde{k}^\beta \quad (12)$$

Artık burada \tilde{k} sadece sabit sermaye stokuna değil, işgücünün verimlilik dercesine de bağlıdır. Böyle bir durumda işgücünün verimliliğini artıran; eğitim ve sağlık harcamaları ve her türlü Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) çalışması, \tilde{k} 'ı sonsuza kadar artırarak, sınırsız ekonomik büyümeyi olanaklı hale getirecektir (Spear ve Young, 2016). Bu durum Şekil 2 yardımıyla incelenebilir:



Şekil 2: İçsel Büyüme Modeli

Şekil 2’de görüldüğü gibi İçsel Büyüme Modelinde nitelikli işgücü başına düşen sabit sermaye miktarı (\tilde{k}) arttıkça, üretim ve milli gelir de sonsuza kadar artmaya devam edecektir.

Romer (1986) Ar-Ge çalışmaları (Research and Development: RD) üzerinde dururken, Lucas (1988) “Beşerî Sermaye: Human Capital (HC)” olarak adlandırdığı nitelikli işgücü ya da işgücünün verimliliğine vurgu yapmıştır (Güvel, 2011, s. 92-111). Bu değişkenler Denklem (2)’deki A yerine Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna eklenecek olursa:

$$Y = (RD; HC; L)^{\alpha} K^{\beta} \quad (13)$$

Haline gelir. Burada Ar-Ge çalışmaları; Ar-Ge harcamaları (Research and Development Expenditure: RDE) ve Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısı (Research and Development Reseracher: RDR) ile temsil edilebilirken, beşerî sermaye de kısaca eğitim harcamaları (Education Expenditure: EE) ve Sağlık Harcamaları (Health Expenditure: HE) ile ölçülebilir. Bu faktörler de Denklem (13)’e ilave edildiğinde;

$$Y = (RDE; RDR; EE; HE; L)^{\alpha} K^{\beta} \quad (14)$$

Denklem (14) için ölçeğe göre sabit getiri varsayımı gevşetilir, her bir faktörün üretim üzerindeki etkileri ayrıştırıldığında Denklem (15)’e ulaşılır.

$$Y = RDE^{\gamma} RDR^{\delta} EE^{\theta} HE^{\varphi} L^{\alpha} K^{\beta} \quad (15)$$

Dikkat edilecek olursa buraya kadar yapılanlar sadece matematiksel modelleme işlemleridir. Denklem (15)’te yer alan faktörlerin üretime olan katkılarını (üstel parametreleri) bulabilmek için birkaç matematiksel düzenlemeye daha ihtiyaç vardır. Bu kapsamda öncelikle Denklem (15)’i doğrusal forma getirebilmek için her iki tarafın doğal logaritması alınabilir (Akgül, 2020):

$$\ln(Y) = \ln(RDE^{\gamma} RDR^{\delta} EE^{\theta} HE^{\varphi} L^{\alpha} K^{\beta}) \quad (16)$$

Logaritmanın özellikleri gereği; çarpımsal ifadeler ayrı ayrı logaritmik ifadeler içinde yazılabilir:

$$\ln(Y) = \ln(RDE^{\gamma}) + \ln(RDR^{\delta}) + \ln(EE^{\theta}) + \ln(HE^{\varphi}) + \ln(L^{\alpha}) + \ln(K^{\beta}) \quad (17)$$

Yine logaritmanın özelliği gereği, üstel konumdaki değerler, logaritmik ifadenin başına çarpımsal olarak alınabilir:

$$\ln(Y) = \gamma \ln(RDE) + \delta \ln(RDR) + \theta \ln(EE) + \varphi \ln(HE) + \alpha \ln(L) + \beta \ln(K) \quad (18)$$

Bu modeli tahmin edip, eğitim, Ar-Ge çalışmaları, işgücü sayısı ve sabit sermaye stokunun ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini ayrı ayrı belirleyebilmek için milli gelirin (Y), her bir faktöre göre kısmi türevini almak gerekecektir. Burada söz konusu işlem örnek olarak sadece Ar-Ge harcamaları (RDE) için yapılacaktır:

$$\frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(RDE)} = \gamma \frac{\partial \ln(RDE)}{\partial \ln(RDE)} \quad (19)$$

$$\frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(RDE)} = \gamma \quad (20)$$

Denklem (20)'de eşitliğin sol tarafı açıldığında;

$$\frac{\frac{Y'}{\bar{Y}}}{\frac{1}{RDE}} = \gamma \quad (21)$$

olacaktır. Denklem (21) düzenlendiğinde;

$$\frac{\frac{1}{\bar{Y}}Y'}{\frac{1}{RDE}} = \gamma \quad (22)$$

$$\frac{\frac{1}{\bar{Y}} \frac{dY}{dRDE}}{\frac{1}{RDE}} = \gamma \quad (23)$$

$$\frac{\frac{dY}{Y}}{\frac{dRDE}{RDE}} = \gamma \quad (24)$$

Haline gelecektir. Matematikteki çok küçük değişimler d (difference) ile gösterilirken, görece daha büyük değişimler delta Δ ile ifade edilmektedir (Açıkalın ve Özata, 2012). Bu durumda Denklem (24) tekrar düzenlenirse:

$$\frac{\frac{\Delta Y}{Y}}{\frac{\Delta RDE}{RDE}} = \gamma \quad (25)$$

Haline gelir. Artık Denklem (25)'in sol tarafı; RDE 'deki %1'lik değişime karşılık, Y 'de meydana gelen yüzde değişimi göstermekte olup, kısaca RDE %1 arttığında Y 'nin % γ kadar artacağını ifade etmektedir. Elde edilen bu sonucun ekonomideki karşılığı; milli gelirin (Y), Ar-Ge harcamalarına (RDE) olan esnekliğidir. Benzer kısmi türevler diğer açıklayıcı değişkenler için de alınabilir.

Buraya kadar elde edilen matematiksel modelleri ekonometrik formda ifade edebilmek için verilere zaman (t) ve/veya yatay kesit (i) bileşenleri eklenip, modele sabit terim (c) ve hata terimi (ε) ilave edilmelidir (Brandt, 2014). Bu durumda Denklem (18) aşağıdaki hale gelecektir:

$$\ln(Y_{it}) = c + \gamma \ln(RDE_{it}) + \delta \ln(RDR_{it}) + \theta \ln(EE_{it}) + \varphi \ln(HE_{it}) + \alpha \ln(L_{it}) + \beta \ln(K_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (26)$$

Denklem (26)'da yer alan katsayıları da ekonometrik formda göstermek gerekirse;

$$\ln(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(RDE_{it}) + \beta_2 \ln(RDR_{it}) + \beta_3 \ln(EE_{it}) + \beta_4 \ln(HE_{it}) + \beta_5 \ln(L_{it}) + \beta_6 \ln(K_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (27)$$

modeli elde edilir. Bu modelde β_1 ; milli gelirin Ar-Ge harcamalarına olan duyarlılığını, β_2 ; milli gelirin Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısına olan duyarlılığını, ... β_6 ; milli gelirin sermaye stokuna olan duyarlılığını göstermektedir. Böylece matematiksel olarak çözümlenen bir modelin, ekonometrik olarak tahmin edilebilir ve yorumlanabilir bir haline erişilmiş olmaktadır.

1. AMPİRİK BİR UYGULAMA

Çalışmanın bu aşamasında; Denklem (27)'de elde edilen ekonometrik modelin bir tahminlemesi yapılacaktır. Bu amaçla gelişmiş 40 ve gelişmekte olan 21 ülkenin, 1996-2020 dönemi yıllık veri setinden yararlanılmıştır. Burada gelişmekte olan ülkeler “*deney grubu*”, gelişmiş ülkeler de “*kontrol grubu*” olarak ele alınmıştır. Ülke sepetleri oluşturulurken; ülkelerin Ar-Ge ve Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayılarına erişilebilmesi temel alınmış, analiz dönemi belirlenirken de veri setine ulaşılabilen en geniş dönem tercih edilmiştir³. Çalışmada gelişmiş ülkeler olarak; World Bank (2021a)'ya göre kişi başına düşen milli geliri 12695 Dolar'dan fazla olan *Yüksek Gelirli Ülkeler* seçilirken, *Gelişmekte Olan Ülkeler* olarak da yine aynı kaynakta kişi başına düşen milli geliri 4095 Dolar'dan fazla olan *Üst-Orta Gelirli Ülkelerin* analize dâhil edilmesi tercih edilmiştir⁴. Veriler OECD (2021) ve World Bank (2021b)'den derlenmiştir.

Çalışmada Denklem (27), Denklem (7)'de olduğu gibi işgücü başına düşen milli gelir (y), işgücü başına düşen Ar-Ge harcaması (rde), bir milyon kişi içinde Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısı (rdr), kişi başına düşen eğitim harcaması (ee), kişi başına düşen sağlık harcaması (he) ve işgücü başına düşen sabit sermaye stoku (k) şekline getirilerek, Denklem (28) elde edilmiştir:

$$\ln(y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(rde_{it}) + \beta_2 \ln(rdr_{it}) + \beta_3 \ln(ee_{it}) + \beta_4 \ln(he_{it}) + \beta_5 \ln(k_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (28)$$

Denklem (28)'de yer alan katsayılar (parametreler); panel veri analizi yöntemlerinden Havuzlanmış Panel En Küçük Kareler (Panel Ordinary Least Squares: POLS), Sabit Etkiler (Fixed Effects: FE) ve Rassal Etkiler (Random Effects: RE) yöntemleriyle tahmin edilmiştir. Böylece olası tüm durumlar göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır. Bu tahminler sonucunda ulaşılan bulgular Tablo 1'de gösterilmiştir.

³ Analize dâhil edilen ülkeler Ek 1'de yer almaktadır.

⁴ Bu tercihin arkasında yatan en önemli motivasyon; söz konusu ülkelerin düzenli verilerine daha rahat ulaşılabilmesidir. Ülkelerin gelir düzeyleri ve gelişmişlik seviyeleri azaldıkça, düzenli veri setlerine ulaşmak da güçleşmektedir.

Tablo 1: Panel Veri Analizi Sonuçları

	Gelişmekte Olan Ülkeler			Gelişmiş Ülkeler		
	POLS	FE	RE	POLS	FE	RE
$Ln(rde_{it})$	0.018 (0.10)	0.067*** (0.00)	0.048*** (0.00)	0.251*** (0.00)	0.197*** (0.00)	0.202*** (0.00)
$Ln(rdr_{it})$	0.016* (0.12)	0.049*** (0.00)	0.031** (0.02)	0.253*** (0.00)	0.158*** (0.00)	0.158*** (0.00)
$Ln(ee_{it})$	0.159*** (0.00)	0.223*** (0.00)	0.276*** (0.00)	0.442*** (0.00)	0.225*** (0.00)	0.251*** (0.00)
$Ln(he_{it})$	0.258*** (0.00)	0.242*** (0.00)	0.267*** (0.00)	0.148*** (0.00)	0.257*** (0.00)	0.312*** (0.00)
$Ln(k_{it})$	0.415*** (0.00)	0.302*** (0.00)	0.302*** (0.00)	0.060*** (0.00)	0.194*** (0.00)	0.167*** (0.00)
Sabit Terim	2.828*** (0.00)	3.735*** (0.00)	3.263*** (0.00)	5.878*** (0.00)	4.915*** (0.00)	4.539*** (0.00)
R^2	0.93	0.98	0.97	0.95	0.99	0.97
\bar{R}^2	0.93	0.98	0.97	0.95	0.99	0.97
F	1515.698 (0.00)	551.896 (0.00)	3251.455 (0.00)	4492.688 (0.00)	1988.813 (0.00)	6585.542 (0.00)
DW	1.71	1.94	1.97	1.84	1.83	1.87
Gözlem	525	FE Test 19.797 (0.00)	Hausman Test 19.49 (0.00)	Gözlem 1000	FE Test 76.812 (0.00)	Hausman Test 0.00 (1.00)

Not: *, ** ve ***; İlgili katsayıların sırasıyla %10, %5 ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmada FE testi; *Redundant Fixed Effects Tests* yöntemiyle yapılmıştır. FE testinin boş hipotezi; “*Sabit etkiler yoktur*” şeklinde olup (Gujarati, 2004, s. 640), her iki ülke grubunda da olasılık değeri 0.05’ten küçük olduğu için bu hipotez reddedilmiş ve modelde sabit etkilerin var olduğuna karar verilmiştir. Çalışmada rassal etkilerin varlığı; Hausman testi ile sınanmıştır. Hausman testinin boş hipotezi; “*Rassal etkiler yoktur*” şeklinde olup (Baltagi, 2011: 308), gelişmekte olan ülkelerde olasılık değeri 0.05’ten küçük olduğu için boş hipotez reddedilerek rassal etkilerin var olduğuna karar verilirken, gelişmiş ülkelerde boş hipotez reddedilememiş ve rassal etkilerin olmadığına karar verilmiştir. Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerde sabit etkiler modeli ve rassal etkiler modeli bulguları eşanlı olarak geçerli iken gelişmiş ülkelerde sabit etkiler modelinin bulgularının yorumlanması daha doğru olacaktır.

Tablo 1’de yer alan bulgulara göre; kişi başına düşen milli geliri, diğer faktörler sabitken, kişi başına düşen Ar-Ge harcamalarındaki %1’lik artış geliştirmekte olan ülkelerde ortalama %0.048 ile %0.067 arasında, gelişmiş ülkelerde ortalama %0.197 artırmıştır. Ar-Ge alanında çalışan araştırmacı sayısındaki %1’lik artış kişi başına düşen milli geliri geliştirmekte olan ülkelerde ortalama %0.31 ile %0.49 arasında, gelişmiş ülkelerde ortalama %0.158 artırmıştır. Ar-Ge alanındaki harcamaların ve bu alandaki araştırmacı sayısının gelişmiş ülkelerde daha etkili çıkmasının nedeninin; bu ülkelerde Ar-Ge alanındaki harcamaların daha etkin kullanılması ve Ar-Ge alanında çalışan araştırmacıların niteliğinin daha yüksek olması olduğu değerlendirilmektedir.

Kişi başına düşen eğitim harcaması %1 artırıldığında kişi başına düşen milli gelir geliştirmekte olan ülkelerde %0.223-%0.276 civarında, gelişmiş ülkelerde %0.225 oranında artmıştır. Kişi başına düşen sağlık harcamaları %1 arttığında milli gelir geliştirmekte olan ülkelerde %0.242-%0.267 artarken, gelişmiş ülkelerde %0.257 oranında yükselmiştir. Kişi başına düşen eğitim ve sağlık harcamalarının milli gelir üzerinde her iki ülke grubunda da benzer etkilere sahip olması; Lucas (1988)’i doğrular nitelikte olup, beşerî sermayenin artırılmasının, tüm ülkelerin yararına olacağını ortaya koymaktadır.

İşgücü başına düşen sabit sermaye stoku %1 arttığında gelişmiş ülkelerdeki kişi başına düşen milli gelir %0.302 artarken, gelişmiş ülkelerde ki milli gelir %0.194 oranında yükselmiştir. Burada sermayenin ekonomik büyümeye katkısının geliştirmekte olan ülkelerde daha yüksek olması, Solow (1956) tarafından dile getirilen “*geliştirmekte olan ülkelerde sermayenin marjinal verimliliğinin, gelişmiş ülkelerdekinden daha yüksek olacağı ve zamanla geliştirmekte olan ülkelerin, ekonomik büyüme noktasında gelişmiş ülkelere yakınsayacağı*” fikrini desteklemektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ekonomik büyümenin artırılması ve yurttaşların refahının yükseltilmesi bütün ülkelerin ortak ideali olup, bilim insanları ve politikacılar bu alanda sürekli bir çaba içindedirler. Ekonomistler ekonomik büyümeyi ölçebilmek ve kaynaklarını ortaya çıkarabilmek için pek çok matematiksel fonksiyonlar ve istatistiksel yöntemden yararlanmaktadır.

Bu çalışmada ekonomik büyümenin matematiksel fonksiyonlar yardımıyla nasıl modellenebileceği, tarihsel gelişim sırası içinde gösterilmiştir. Elde edilen İçsel Büyüme Modelinde yer alan teknoloji parametresi tarafımızdan Ar-Ge çalışmaları ve beşerî sermayeyi (eğitim ve sağlık harcamalarını) kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Elde edilen bu matematiksel model, daha sonra zaman ve birey boyutları ile sabit terim ve hata terimleri serisi eklenerek, ekonometrik model haline getirilmiştir. Ekonometrik modelde yer alan katsayılar (parametreler) OLS, FE ve RE yöntemleriyle tahmin edilmiş, bu yöntemlerden hangisine ait bulguların daha geçerli olacağına F ve Hausman testleri kullanılarak karar verilmiştir. Ar-Ge çalışmaları, beşerî sermaye ve işgücü başına düşen sabit sermaye stokunun ekonomik büyümeye etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koyabilmek için; geliştirmekte olan ülkeler “*deney grubu*”, gelişmiş ülkeler de “*kontrol grubu*” olarak konumlandırılmış, analizler 1996-2020 dönemi verileri kullanılarak, her iki grup için ayrı ayrı gerçekleştirilip, ulaşılan bulgular karşılaştırılmıştır.

Çalışmada ulaşılan sonuçlara göre; Ar-Ge alanında yapılan harcamalar ve bu alanda istihdam edilen araştırmacılar gelişmiş ülkelerde yeterince verimli olamamaktadır. Söz konusu ülkelerin bu alanlarda verimliliği önceleyici politikalar izlemeleri yararlarına olacaktır. Eğitim ve sağlık harcamalarının her iki ülke grubunda da ekonomik büyüme üzerinde benzer etkilere sahip oldukları görülmüş olup, bu durum gelişmiş ülkelerin beşerî

sermayelerini artırma noktasında doğru stratejiler izlediklerini göstermektedir. İşgücü başına düşen sabit sermaye stokunun ekonomik büyümeye etkisinin gelişmekte olan ülkelerde daha yüksek olduğu görülmüş olup, buradan iki sonuç çıkarılabilir. Birincisi; gelişmekte olan ülkelerde sermayenin marjinal verimliliği fazladır ve bu ülkeler zamanla gelişmiş ülkelere yakınsayabileceklerdir. İkincisi de gelişmiş ülkelerin artık sermaye stokunu artırarak değil, beşerî sermayeyi artırarak ekonomik büyümeye odaklanmaları daha gerçekçi bir tutum olacaktır. Gelişmiş ülkeler sermaye stoku noktasında bir doyuma erişmiş gözükmektedirler.

KAYNAKÇA

- Açıkalin, S. ve Özata, E. (2012). *Matematiksel İktisat*. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını, No: 2669, Eskişehir.
- Akgül, A. (2020). R’da Ekonometri Uygulamaları. <https://rpydaneogrendim.github.io/rEkonometri/>, (Erişim: 12.05.2022).
- Bairoliya, N. (2014). ECON3102-005 Chapter 6: Economic Growth: The Solow Growth Model (Part 1). <https://scholar.harvard.edu/files/nbairoliya/files/lec08.pdf>, (Erişim: 12.05.2022).
- Baltagi, B. H. (2011). *Econometrics* (Fifth Edition). Springer Heidelberg Dordrecht, London, New York.
- Brandt, S. (2014). *Data Analysis. Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers*. (Fourth Edition). Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London
- Dikmen, N. (2012). *Ekonometri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Dora Basım Yayın Ltd. Şti., Bursa.
- Dinler, Z. (2012). *İktisada Giriş*. Ekin Yayınları, Bursa.
- Drucker, P.F. (2016). *Peter Drucker’ın En Önemli Beş Sorusu: Bugünün Liderleri İçin Sürdürülebilir Bilgelik*. Sola Unitas Yayınları, İstanbul.
- Frank, P. (1952). The Origin of the Separation between Science and Philosophy. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 80(2): 115-139.
- Frankel, E. (2019). *Aşk ve Matematik: Saklı Gerçekliğin Kalbi*. Paloma Yayınevi, İstanbul.
- Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics*. (Fourth Edition). McGraw–Hill, New York.
- Güvel, E.A. (2011) *Ekonomik Büyüme Kuramları. Ulusların Zenginliği’nin Dinamikleri*. Karahan Yayınevi, Adana.
- Jones, C.I. (2001). *İktisadi Büyümeye Giriş* (Çev: Sanlı Ateş, İsmail Tuncer). Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Mixon, W. and Sockwell, W. D. (2007). The Solow Growth Model. *The Journal of Economic Education*, 38(4): 483-483.
- OECD (2021). OECD.Stat. <https://stats.oecd.org/>, (Erişim: 07.09.2021).
- Parker, J. (2012). Theories of Endogenous Growth. https://www.reed.edu/economics/parker/s13/314/Coursebook/Ch_05.pdf, (Erişim: 12.05.2022).
- Raa, T. and Shestalova, V. (2010). The Solow Residual, Domar Aggregation, and Inefficiency: A Synthesis of TFP Measures. *Journal of Productivity Analysis*, 36(1): 71-77. DOI:10.1007/s11123-010-0205-z
- Sevüktekin, M. (2013). *Ekonometriye Giriş*. Dora Basım Yayın Ltd. Şti., Bursa.

- Spear, S. E. and Young, W. (2016). Endogenous Growth Theory and Models: The "First Wave", 1952-1973. *Econstar, Working Paper*, No. 2016-02.
- Stewart, I. (2017). *Matematiğin Kısa Tarihi*. Alfa Yayınları, İstanbul.
- Tarı, R. (2012). *Ekonometri*. Umuttepe Yayınları, Kocaeli.
- World Bank (2021a). New World Bank country classifications by income level: 2021-2022. <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-world-bank-country-classifications-income-level-2021-2022>, (Erişim: 08.09.2021).
- World Bank (2021b). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>, (Erişim: 09.09.2021).
- Yay, G. G. (1993). Yeni Schumpeterci Büyüme ve Konjonktür Modelleri. *Uludağ Üniversitesi, İİBF Dergisi*, XIV (1-2): 1-13.
- Yıldırım, K., Karaman, D. ve Taşdemir, M. (2009). *Makroekonomi*. Seçkin Yayınevi, Ankara.

EKLER

Ek 1. Analize Dâhil Edilen Ülkeler

Sıra No	Gelişmekte Olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	
1	Arjantin	Avusturalya	Letonya
2	Bosna Hersek	Avusturya	Litvanya
3	Brezilya	Belçika	Lüksemburg
4	Bulgaristan	Kanada	Malta
5	Çin	Şili	Hollanda
6	Kolombiya	Hırvatistan	Yeni Zelanda
7	Kosta Rika	Kıbrıs	Norveç
8	Ekvator	Çek Cumhuriyeti	Polonya
9	Guatemala	Danimarka	Portekiz
10	Irak	Estonya	Romanya
11	Kazakistan	Finlandiya	Singapur
12	Malezya	Fransa	Slovak cumhuriyeti
13	Meksika	Almanya	Slovenya
14	Moldova	Yunanistan	İspanya
15	Kuzey Makedonya	Macaristan	İsveç
16	Panama	İzlanda	İsviçre
17	Paraguay	İrlanda	Birleşik Krallık
18	Rusya	İtalya	Amerika Birleşik Devletleri
19	Güney Afrika	Japonya	Uruguay
20	Tayland	Güney Kore	
21	Türkiye	Kuveyt	