



## Teknik Etkinsizlik Kaynaklı Üretim Kayıpları: BRICS-T Ülkeleri Örneğinde Bir Panel Veri Analizi

### Production Losses Due to Technical Inefficiency: A Panel Data Analysis on the Case of BRICS-T Countries

Nadide Yiğiteli\*

#### Öz

Çalışmada, BRICS-T ülkelerinin mevcut kaynaklarını ve teknolojiyi kullanma etkinliğinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, 1990-2019 dönemi ve 6 ülkeden oluşan bir panel veri seti ile stokastik sınır analizi (SSA) kullanılarak üretim sınırı modellenmektedir. Üretim sınırı ve teknik etkinsizlik belirleyicilerinin tahmini için tek aşamalı bir yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, modelde teknik etkinsizlik ile teknik etkinsizliğe ve istatistikî hata terimine ilişkin varyanslar, ülke nüfusu ve ihracatın ithalatı karşılama oranı değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada, söz konusu değişkenlerin, teknik etkinsizlik üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmektedir. Bulgular, analiz döneminde teknik etkinlik düzeyinin ortalama %91 olduğunu ve ülkelerin bu dönemde potansiyel çıktıların %9'unu kaybettiğini göstermektedir. Analiz döneminde ortalama teknik etkinlik katsayısı açısından ilk sırada yer alan ülke Türkiye, son sırada yer alan ülke ise Rusya olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin etkinsizlik kaynaklı üretim kaybı %3,4 iken Rusya'nın %23,3'tür. Ayrıca Rusya analiz dönemi süresince etkinliğini artıran tek ülke olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan analiz döneminde, yıllık ortalama olarak teknik etkinlik %0,064 azalış göstermiştir. Bu bulgu, ülkelerin mevcut teknolojilere uyumlarının giderek azaldığına ve etkinsizlik kaynaklı üretim kayıplarının arttığına işaret etmektedir. Gerek etkinsizlik kaynaklı üretim kayıpları gerekse analiz döneminde gözlemlenen etkinlik düşüşleri, sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından BRICS-T ülkelerinin potansiyellerini daha etkin kullanmalarının önemli bir fırsat alanı olduğunu göstermektedir.

#### Anahtar Kelimeler

Etkinlik, Üretim, Büyüme

Jel Kodları: D24, E23, O47

#### Abstract

This study aims to estimate the efficiency of using the available resources and technology of BRICS-T countries. In this context, the production limit is modelled using stochastic frontier analysis (SFA) within the scope of a panel data set consisting of six countries from 1990-2019. The production frontier and technical inefficiency determinants are estimated by a one-stage method. In addition, the technical inefficiency in the model and the variances related to technical inefficiency and statistical error are defined as a function of the variables' population and export-import ratios. The study has determined these variables to have no significant impact on technical inefficiency. The results show the average level of technical efficiency during the analysis period to be 91% and countries to have lost 9% of their

\* Sorumlu Yazar: Nadide Yiğiteli (Dr.), Sosyal Güvenlik Uzmanı, Sosyal Güvenlik Kurumu, Ankara, Türkiye.  
E-posta: nadidegulbay@gmail.com ORCID: 0000-0002-0632-7253

Atf: Yiğiteli, N. (2023). Teknik etkinsizlik kaynaklı üretim kayıpları: BRICS-T ülkeleri örneğinde bir panel veri analizi. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, Advanced Online Publication. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2023.38.1116692>



potential output. Turkey was determined as the country to rank first and Russia to rank last during the analyzed period in terms of the average coefficient of technical efficiency. Turkey's production loss due to inefficiency was 3.4%, while Russia's was 23.3%. On the other hand, technical efficiency decreased an average of 0.064% annually during the analysis period. This finding indicates countries' adaptation to existing technologies to gradually decrease and production losses due to inefficiency to increase. The production losses due to inefficiency and the efficiency decreases observed during the analysis period reveal an important opportunity for BRICS-T countries to use their potential more effectively in terms of sustainable economic growth.

**Keywords**

Efficiency, Production, Growth

**JEL Classification:** D24, E23, O47

***Extended Summary***

The degree to which the inputs are used effectively in current production technology is determined by the production function, which shows the functional relationship between the output and inputs used in production. Converting inputs into output takes place under a specific production technology. The maximum output obtained under a specific input composition or the minimum input composition needed to achieve a specific output level determines the upper frontier of production possibilities. Economic units produce at or below this frontier. Technical efficiency is achieved when the input-output composition defined by the production function is located at a point on the production frontier. Technical inefficiency is defined as a situation where a difference occurs between the maximum output values of the production technology and the actual observed production values, with the coefficient of technical efficiency taking values between 0 and 1 otherwise. A country's inefficiency and production losses increase as this value approaches 0, while a value of 1 indicates that the country is producing at the production frontier and using its full production potential. Economic units produce at a technically inefficient point and so cannot use their current potential effectively. In this case, production losses are experienced, and production being able to be increased by activating this potential. Technical efficiency and the capacity to absorb the existing technology of economies is an essential factor that increases the speed of catching up with developed economies with high per capita income. However, achieving the potential level of output contained in the production technology (i.e., increasing technical efficiency) is subject to countries' limitations in absorbing existing technology.

This study aims to estimate the efficiency of using the available resources and technology of BRICS-T countries. In this context, the production limit is modelled using stochastic frontier analysis (SFA) within the scope of a panel dataset consisting of six countries for the period of 1990-2019. The production frontier and technical inefficiency determinants are estimated by a one-stage method. In addition, the technical inefficiency and the variances related to technical inefficiency and statistical error in the model are defined as a function of the variables of countries' populations and export-import ratios. The study has determined that these variables

do not significantly affect technical inefficiency but do have a significant effect on the variances related to technical inefficiency and the statistical error term. The results show the average level of technical efficiency during the analysis period to be 91% and countries to have lost 9% of their potential output. Turkey was determined to have ranked first and Russia last in terms of the average coefficient of technical efficiency for countries during the analyzed period, with Turkey's production loss due to inefficiency being 3.4% and Russia's was 23.3%. Meanwhile, technical efficiency decreased an average of 0.064% annually during the analysis period. The other countries experienced efficiency losses during the analysis period, while Russia's technical efficiency increased by 0.74%. According to the study results, Russia's compliance with the current level of technology, therefore, increased during the analysis period and its production losses due to inefficiency decreased.

This finding indicates that the BRICS-T countries' adaptation to existing technologies to have gradually decreased, and production losses due to inefficiency to have increased. The production losses due to inefficiency as well as the efficiency decreases observed during the analysis period, show an important opportunity to exist for economies to use their potential more effectively in terms of sustainable economic growth. The countries' performances regarding to adapting to technologies require educational processes involving new technologies being learned and taught, as well as precise, predictable social, political, and economic structures.

## Giriş

Mevcut üretim teknolojisinde girdilerin ne derecede etkin kullanıldığı üretim fonksiyonu aracılığı ile elde edilmektedir. Üretim fonksiyonu, çıktı ile üretimde kullanılan girdiler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi göstermektedir. Girdilerin çıktıya dönüştürülme süreci belirli bir üretim teknolojisi altında gerçekleşmektedir (Kök & Deliktaş, 2003). Veri bir girdi bileşimi ile elde edilebilecek en çok çıktı ya da veri bir çıktı seviyesini elde edebilmek için ihtiyaç duyulan en az girdi bileşimi üretim olanaklarının üst sınırını tayin etmektedir. Bu sınır, belirli bir girdi setinden elde edilebilecek teknik olarak olanaklı maksimum çıktıyı temsil etmektedir. Ekonomik birimler bu sınırdan veya bu sınırın altında üretim faaliyetlerini gerçekleştirebilmektedir. Üretim fonksiyonu ile tanımlanan girdi-çıkıtı bileşimi üretim sınırındaki bir noktada yer almaktaysa bu durum teknik etkinliğin sağlandığına işaret etmektedir. Girdi-çıkıtı bileşiminin, üretim sınırının altındaki bir noktada yer alması durumunda ise bu sınıra olan uzaklık ile matematiksel olarak ifade edilebilecek bir teknik etkinsizlik söz konusu olmaktadır (Kumbhakar & Lovell, 2000). Dolayısıyla, üretim teknolojisi veri iken girdilerin çıktı üretiminde ne seviyede etkin kullanıldığı teknik etkinlik kavramı ile ifade edilmektedir. Veri üretim teknolojisindeki maksimum çıktı değerleri ile fiilen gözlenen üretim değerleri arasında fark olması durumu ise teknik etkinsizlik olarak tanımlanmaktadır (Albert, 1998). Üretim sınırına doğru hareketle teknik etkinsizlik azalmakta, daha etkin bir üretim gerçekleşmektedir. Ekonomik birimlerin üretimlerini teknik olarak etkin olmadıkları bir noktada gerçekleştirmeleri mevcut potansiyellerini etkin kullanamadıkları anlamına gelmektedir (Rao & Coelli, 1998). Bu durumda üretim kayıpları yaşanmakta ve bu potansiyelin etkinleştirilerek üretim artışı sağlanması mümkün olmaktadır. Ekonomilerin mevcut teknolojiyi özümseme kapasitesi ve teknik etkinliği, kişi başına geliri yüksek olan gelişmiş ekonomileri yakalama hızını artıran önemli bir faktördür. Veri üretim teknolojisinin içerdiği potansiyel çıktı seviyesine yaklaşma, yani teknik etkinlik artışı ise ülkelerin mevcut teknolojiyi özümseme kısıtlarına tabiidir.

Farell (1957) etkinlik ölçümüne ilişkin iki temel çerçeve tanımlamaktadır. Buna göre ekonomik birimler belirli bir çıktı düzeyini teknik olarak gerekli olandan daha fazla girdi ile üretebilmektedirler. Ya da girdi fiyatları ve bu girdilerin marjinal verimlilikleri dikkate alındığında, optimal olmayan bir girdi bileşimi kullanabilirler. Bu tanımlamalardan ilki teknik etkinsizliği diğeri ise tahsis etkinsizliğini oluşturmaktadır. Bu iki kavram birlikte toplam etkinsizlik olarak ifade edilmektedir (Herrera & Pang, 2005). Diğer yandan, veri üretim sınırı dikkate alındığında, bu sınırın genişlemesi teknik ilerlemenin gerçekleşmesi ile mümkün hale gelmektedir. Daha üretken üretim teknolojilerin benimsenmesi yani teknik ilerlemenin ortaya çıkması durumunda ülkenin üretim sınırı kaymaktadır. Teknik etkinlik değişimi ve teknolojik ilerlemeden oluşan bu iki bileşen birlikte toplam faktör verimliliği/üretkenliği olarak tanımlanmaktadır (Kumbhakar & Lovell, 2000). Dolayısıyla etkinlik kavramsal olarak toplam faktör verimliliğinin bir alt bileşenidir.

Ekonomilerin mevcut girdiler ve veri üretim teknolojisi altında mümkün olan en fazla çıktıyı üreterek üretim olanakları sınırlarında buldukları geleneksel bir varsayım olarak ampirik uygulamalarda yer edinmektedir. Çalışmada, iktisadi düşünce okulları tarafından büyük önem atfedilen üretkenliğin temel bir alt bileşeni olan teknik etkinlik analiz edilmektedir. Bu kapsamda, BRICS-T<sup>1</sup> ülke grubuna yönelik olarak üretim sınırının belirlenmesi ve bu sınırdan sapmaların ölçülmesi amaçlanmaktadır. Çalışma, analiz edilen ülke, dönem ve kapsanan değişkenler açısından literatüre güncel bir bakış açısı sunmaktadır. Ayrıca, BRICS-T ülkelerinin mevcut potansiyellerini kullanmaları açısından göreceli durumları karşılaştırılmakta olup sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından teknik etkinlik artışlarının sunduğu olanaklar irdelenmektedir. Diğer yandan, nüfus ve ihracatın ithalatı karşılama oranının teknik etkinlik etkisi de araştırılmaktadır.

Makalenin bu bölümünü takip eden bölümde, ampirik literatür gözden geçirilmektedir. Üçüncü bölümde çalışmanın dayandığı metodoloji özetlemektedir. Dördüncü bölümde ampirik analizde kullanılan veri seti ve model tanıtılmaktadır. Ampirik çalışmanın sonuçları beşinci bölümde sunulmakta olup makale sonuç ve değerlendirmeleri içeren altıncı bölüm ile sonlanmaktadır.

## Literatür

Mevcut üretim faktörleri ve veri üretim teknolojisi altında çıktı üreten ekonomik birimler olarak ülkelerin büyümelerini ve verimliliklerini etkileyen faktörlere ilişkin oldukça geniş bir ampirik literatür bulunmaktadır. Verimlilik ölçüm yöntemlerine ilişkin metodolojik gelişmeler söz konusu çalışma alanını analiz edilen ülke ve dönem bazında güncel tutmaktadır. Bu bölümde, çalışmanın ampirik uygulaması bağlamında literatür gözden geçirilmektedir.

Golany ve Thore (1997a), aralarında Brezilya, Hindistan ve Türkiye'nin de bulunduğu 72 ülke için teknik etkinlik ve ölçek etkinliği hesaplamışlardır. Çalışmada veri zarflama analizi kullanılmış olup bulgular 1970-1985 dönemine ilişkin olarak elde edilmektedir. Hindistan için etkinlik 0,632 olarak tahmin edilmiş ve ülkenin ölçeğe göre azalan getiri koşullarında bulunduğu tespit edilmiştir. Brezilya ve Türkiye'nin ise ölçeğe göre artan getiri koşullarında bulunduğu; etkinliklerinin ise sırasıyla 0,830 ve 1,000 olduğu bulunmuştur. Veri zarflama yönteminde metodolojik olarak örneklemedeki en etkin ekonomik birime kıyasla etkinlikler tahmin edildiği için Türkiye grubunda en etkin ülke olarak görülmektedir. Krüger vd. (2000) ise yine veri zarflama analizi yöntemi ile Brezilya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye'nin dahil olduğu 87 ülke için toplam faktör verimliliği hesaplanmıştır. Analiz 1960-1990 dönemini içermektedir. Ampirik bulgular seçilmiş ülkeler için raporlanmış olup Brezilya 1960-1973 alt döneminde en yüksek verimlilik artışı gösteren ülkeler

1 Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika ile Türkiye.

arasında yer almıştır. Ancak 1973-1990 döneminde söz konusu ülke için verimlilik düşüşü toplamda ise verimlilik artışı tespit edilmiştir. Etkinlik değişimi açısından ise Brezilya analiz döneminde en yüksek etkinlik değişimi yaşanan dördüncü ülke olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca çalışmada 1973-1990 dönemi için verimlilik artışında etkinlik artışına dikkat çekilmektedir. Forstner ve Isaksson (2002) ise, Hindistan ve Türkiye'yi de içermekte olan 57 ülke kapsamında veri zarflama analizi ve Malmquist Endeks kullanarak verimlilik analizi yapmaktadır. Çalışma 1980 ila 1990 yılları arasında kapsamaktadır. Hong Kong, Güney Kore ve Tayvan'ın büyümesinin temel olarak verimliliğe dayalı olduğu ve bunun içerisinde ise temel bileşenin teknik etkinlik artışı olduğu tespit edilmektedir. Analiz dönemi için ortalama teknik etkinlik değişimi bu ülkeler için %3,1; Türkiye için %1,8 ve Hindistan için %4,3 olarak tahmin edilmiştir. Akhremenko vd. (2019), BRICS ülkeleri dahil 149 ülke için yaptıkları çalışmada veri zarflama analizini kullanarak 1990-2013 periyoduna yönelik olarak toplam faktör verimliliğini analiz etmektedir. Çalışmada toplam faktör verimliliğinin bileşenlerinin yanı sıra makroekonomik belirleyicileri de modellenmektedir. Çalışmanın bulgularına göre kurumlar toplam faktör verimliliğinin makroekonomik belirleyicileri arasında ön plana çıkmaktadır.

Deliktaş ve Balcılar (2005), 1991-2000 dönemi ve Doğu Avrupa ve eski Sovyet ülkelerini içeren 25 ekonomi için verimlilik analizi yapmışlardır. Çalışmada SSA yöntemi kullanılarak translog üretim fonksiyonuyla üretim sınırı tahmin edilmektedir. Sovyetler Birliği'nin dağılması sonrasında geçiş ekonomileri olarak ifade edilen bu ülkelerde analiz dönemi için ortalama teknik etkinlik düzeyi 0,548 olarak tespit edilmektedir. Diğer yandan söz konusu ülkelerde yıllık ortalama teknik etkinlik değişimi ise %1,8 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, Rusya'nın ortalama teknik etkinlik seviyesi 0,401 olarak tahmin edilmiştir. Söz konusu ülkede teknik etkinlik seviyesi, analizin başlangıç dönemi olan 1991 yılından 2000 yılına kadarki süreçte 0,347'den 0,454'e yükselmiştir. Ayrıca çalışma, teknik etkinliğin belirleyicilerini tespit etmeye yönelik bir model de sunmaktadır. Kim ve Lee (2006), yine SSA yöntemi kullanarak aralarında Hindistan ve Türkiye'nin de bulunduğu 49 ülke için toplam faktör verimliliğini analiz etmektedir. Çalışmada 1965-1990 periyodu ele alınmaktadır. Toplam faktör verimliliği bileşenlerine ayrıştırılarak, Hong Kong, Japonya, Tayvan ve Kore'nin verimlilik artışındaki temel kaynağın teknik etkinlik değişimi olduğu bulgusu elde edilmiştir. Söz konusu ülkelerin teknik etkinlik değişimleri sırasıyla %2,73, %2,23, %1,75 ve %1,32 olarak tespit edilmiştir. G6 ekonomileri için ise teknik etkinlikte düşüş gözlenmiştir. Hindistan teknik etkinlik açısından en alt sırada; Türkiye ise 49 ülke arasında 42'inci sırada yer almaktadır. Kim vd. (2010), Brezilya, Güney Afrika, Çin ve Türkiye'nin de yer aldığı 53 ülke kapsamında yaptıkları çalışmada, 1991-2003 periyoduna ilişkin toplam faktör verimliliğini analiz etmektedir. Yöntemsel olarak yine SSA'nın kullanıldığı çalışmada ortalama olarak %0,55'lik teknik etkinlik düşüşü tespit edilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre Çin'in büyümesinin %33'ü teknik etkinlik

değişiminden kaynaklanmaktadır. Brezilya, Güney Afrika ve Türkiye’de ise teknik etkinlik değişimi negatif olarak tahmin edilmektedir. Çalışmanın bulgularına göre teknik etkinlik değişimi ekonomik büyümenin Brezilya’da -%21, Güney Afrika’da -%9 ve Türkiye’de -%74’nü oluşturmaktadır. Söz konusu ülkeler arasında Türkiye, -%2,3’lük oran ile teknik etkinlik düşüşü en fazla olan ülkedir. Analiz kapsamındaki tüm ülkeler arasında ise Türkiye teknik etkinlik düşüşünün en fazla olduğu beşinci ülkedir. Pires ve Garcia (2012), Brezilya, Hindistan ve Türkiye dahil 75 ülkenin toplam faktör verimliliğini analiz etmektedir. Çalışma 1950-2000 dönemini kapsamaktadır. Türkiye 0,958’lik teknik etkinlik düzeyi ile mevcut teknolojilere adaptasyon kabiliyeti en yüksek olan altıncı ülke konumundadır. Brezilya ve Hindistan ise sırasıyla 0,752 ve 0,640’lik teknik etkinlik seviyeleriyle 45 ve 65 inci sıralarda yer almaktadırlar. Bu dönemde, Türkiye %0,08 ve Brezilya %0,55 oranında teknik etkinlik değişimi yaşamıştır. Gelişmiş ülkeler ortalama %0,54, gelişmekte olan ülkeler %0,41 teknik etkinlik değişimi yaşamışlardır. Aguiar (2014), 34’ü OECD ülkesi olmak üzere toplamda 40 ülkeye yönelik çalışmada yine SSA çerçevesini kullanarak toplam faktör verimliliğini analiz etmektedir. 2001-2011 periyodunu içeren çalışma BRICS ülkelerini de içermektedir. Analiz edilen ülke ve dönemde ortalama teknik etkinlik düzeyi 0,64 olarak elde edilmiştir. Söz konusu oran OECD ekonomileri için 0,68; OECD üyesi olmayan ülkeler için ise 0,40’tır. Diğer yandan çalışmada, teknik etkinlik Türkiye’de 0,59, Brezilya’da 0,39, Rusya’da 0,48, Hindistan’da 0,30, Çin’de 0,37, Güney Afrika’da 0,59 olarak tahmin edilmektedir. 40 ülke içerisinde Çin teknik etkinlik açısından sondan ikinci sırada yer almaktadır. Heshmati ve Rashidghalam (2020), SSA yaklaşımını ile 190 ülke için toplam faktör verimliliği büyümesini incelemektedirler. 1996-2013 dönemini kapsayan çalışmada, teknik ilerleme ile toplam faktör verimliliğinin azalma gösterdiği bulgulanmaktadır. Ayrıca çalışmada, tüm ülke grupları için ölçüğe göre artan getiri tespit edilmektedir. Hou vd. (2020) ise Çin, Brezilya, Hindistan, Rusya, Güney Afrika’nın da yer aldığı 16 ülkeye yönelik olarak yaptıkları çalışmada, SSA, Battese ve Coelli (1995) yaklaşımını kullanarak verimliliği analiz etmektedir. 1991-2014 dönemini içeren çalışmada, toplam faktör verimliliği, teknolojik ilerleme, teknik etkinlik ve ölçek etkinliği bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Yıllık ortalama %1,4’lük toplam faktör verimliliği büyümesinin tespit edildiği çalışmada, %0,006’lık bir ortalama etkinlik değişimi elde edilmiştir. Çalışmada toplam faktör verimliliği büyümesinin etkinlik değişiminden ziyade teknolojik ilerleme tarafından motive edildiği tespitine vurgu yapılmaktadır.

### Metodoloji

Çalışmada, analiz edilen döneme ilişkin ülkelerin üretim kayıpları yani üretim potansiyellerine olan uzaklıkları hesaplanarak tahmin edilmektedir. Bu kapsamda, ülkelerin teknik etkinlikleri hesaplanarak analiz döneminde mevcut girdi setleri ile çıktı üretme yeteneği tahmin edilmektedir. Belirli bir dönemde üretim sınırı veri iken, gözlemlenen üretim değeri ile maksimum üretim değeri arasındaki fark



parametrik ve parametrik olmayan yöntemler kapsamında hesaplanabilmektedir. Parametrik olmayan yöntem veri zarflama analizini içerirken, parametrik yöntemler Stokastik Sınır Analizi (SSA) ve Bayesian Yaklaşım (BY) olmak üzere iki temel başlık altında toplanmaktadır. Parametrik olmayan yaklaşımda parametrik yaklaşımın aksine, üretim, maliyet veya kâr fonksiyonuna ilişkin fonksiyonel bir form tahmin edilmekte ve istatistiki hata yapısı modele dahil edilmemektedir. Bu duruma bağlı olarak parametrik yöntemde sınırdan tüm sapmalar etkinsizlik terimi tarafından yakalanmaktadır. Modelde yer almakta olan birleşik bir hata terimi yapısı, parametrik yöntemi parametrik olmayan yönteme göre güçlü kılmaktadır. Parametrik yöntemlerin içermiş olduğu birleşik hata yapısına bağlı olarak teknik etkinsizlik ve istatistiki rastgele hata terimi birbirinden ayrılmakta böylece üretim sınırından istatistiksel sapmalar teknik etkinsizliğe atfedilmemektedir. Diğer yandan, parametrik yöntemlerde üretim sınırı, veri zarflama analizinin tersine, örneklemedeki en iyi performansa göre değil her birimin kendi en iyi üretim performansına göre belirlenmektedir. Bu nedenle parametrik yöntemin, örneklemede uç değerler söz konusu olduğunda bu değerlere duyarlılığı daha azdır (Kumbhakar & Lovell, 2000; Mahadevan, 2004).

Parametrik olmayan yöntem olan veri zarflama analizinde, sınırın fonksiyonel formuna ve dağılımsal özelliklerine ilişkin daha az varsayımda bulunmaktadır. Dolayısıyla bu yöntemde belirli fonksiyonel kısıtlamalar getirilmeden, sınır doğrudan verilerden hesaplanmaktadır. Bu nedenle parametrik yöntemler (SSA, BY) ekonometrik tekniklere dayanırken, parametrik olmayan yöntemler (veri zarflama analizi) matematiksel programlama tekniklerine dayanmaktadır (Herrera & Pang, 2005).

Çalışmada parametrik yöntemin bir alt kategorisi olan SSA, analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, etkinsizlik teriminin dağılımsal formu, zamanla değişen etkinsizlik varsayımı, teknik etkinsizlik ile birim etkilerin ayrıştırılması veya kalıcı teknik etkinsizlik kavramının modellere dahil edilmesi gibi oldukça geniş bir yelpazede farklı model spesifikasyonu bulunmaktadır (Battese & Coelli, 1988, 1992, 1995; Kumbhakar, 1990; Kumbhakar & Heshmati, 1995; Greene, 2005a,b; Wang & Ho, 2010; Chen vd., 2014; Belotti & Ilardi, 2018).

$y_{it}$   $t$  zamanında  $i$  firmasının üretimini,  $x_{it}$  girdi vektörünü,  $u_{it}$  etkinsizlik terimini,  $v_{it}$  istatistiki hata terimini,  $\beta$  parametre vektörünü göstermek üzere üretim sınırı denklemini Eş.1’de yer almaktadır.

$$y_{it} = \alpha + \beta' x_{it} + v_{it} \pm u_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

$v_{it} \sim N[0, \sigma_v^2]$  olmak üzere,  $v_{it}$  istatistiki hata teriminin, rastgele şokların etkisini temsil ettiği, bağımsız ve özdeş dağılmış rastgele değişken (iid) olduğu varsayılmaktadır. Birleşik hata yapısının diğer bileşeni olan ve  $v_{it}$ 'den bağımsız



olduğu kabul edilen  $u_{it}$  ise teknik etkinsizliği temsil etmekte olup  $N(0, \sigma_u^2)$  dağılımı sergilediği varsayılmaktadır. Üretim sınırı söz konusu olduğunda  $u_{it}$  negatif işaret almaktadır.  $u_{it}$ 'nin dağılımı, kesim noktası 0 olan yarı normal bağımsız bir dağılımı yansıtmaktadır.  $u_{it}$ 'nin, bağımsız olarak  $\mu$  kesim noktasında  $N(0, \sigma_u^2)$  dağılması durumunda kesikli normal dağılım söz konusu olmaktadır (Greene, 2005 a,b). Bu durum, her birimin, üretim sınırında veya üretim sınırının altında faaliyet göstermesi anlamını taşımaktadır. Sınırdan sapmalar ise birim tarafından kontrol edilen faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Analiz, Greene (2005a, b) model spesifikasyonu takip edilerek yapılmaktadır. Greene (2005a, b) Gerçek Sabit Etkiler (TFE) ve Gerçek Rassal Etkiler (TRE) olmak üzere iki temel yaklaşım önermektedir. TFE ve TRE arasındaki temel yaklaşım farkı  $\alpha_i$  sabit teriminden kaynaklanmaktadır.  $\alpha_i$  parametresi rastgele bir değişken gibi hareket ediyorsa TRE modeli, sabit bir parametre gibi hareket ediyorsa TFE modeli söz konusudur<sup>2</sup>.

### Veri Seti ve Model

Çalışma, BRICS olarak adlandırılan ülkeler ile Türkiye'nin de dahil edildiği 6 ülke ve 1990-2019 periyodunu içermektedir. Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika ile Türkiye analiz için ülke örneklemini oluşturmaktadır. Ülkelerin üretim sınırı belirlemek amacıyla kullanılan veri seti Tablo 1'de tanıtılmaktadır.

Tablo 1

#### Değişken Seti ve Veri Kaynakları

Değişken	Simge	Veri Kaynağı	Dönemi	Ölçümü Birimi
Reel GSYH	Y	PWT 10.0	1990-2019	Düzye değeri 2017=100
Sermaye stoku	K	PWT 10.0	1990-2019	Düzye değeri 2017=100
İşgücü	L	PWT 10.0	1990-2019	İstihdam edilen kişi sayısı-düzye değeri
Toplam nüfus	N	PWT 10.0	1990-2019	Düzye değeri
İşgücü başına reel GSYH	y	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma
İşgücü başına sermaye stoku	k	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma
Beşeri sermaye endeksi	hc	PWT 10.0	1990-2019	Endeks değeri
Nüfus payı	n	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma
İhracat oranı	x	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma
İthalat oranı	m	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma
İhracatın ithalatı karşılama oranı	xm	PWT 10.0 verileriyle yazarın hesabı	1990-2019	Doğal logaritma

Not: PWT: Penn world table

2 Gerçek Sabit Etkiler (TFE) ve Gerçek Rassal Etkiler (TRE) konusunda ayrıntılı denklemler için bakınız: (Greene 2005a, b).

Çalışmada üretim sınırı, üretim fonksiyonu parametreleri ile birlikte tahmin edilmektedir. Tahmin edilen üretim fonksiyonunda, reel GSYH çıktı olarak; sermaye stoku verisi ise girdi olarak kullanılmaktadır. Hem reel GSYH hem de fiziki sermaye stoku verisi istihdam edilen işgücü başına düşen değer olarak kullanılmakta olup her iki veri de PWT'den (Penn World Table) elde edilmiştir. İstihdam edilen işgücü Mincerian yaklaşım esas alınarak nitelik uyarlanmış şekilde üretim fonksiyonuna dahil edilmiştir (Human Capital in PWT 9.0; Caselli, 2005; Hall & Jones, 1999). Üretim fonksiyonu beşeri sermaye endeksi dikkate alınarak genişletilmiştir. PWT'den elde edilen bu endeks ortalama okullaşma yılı ve eğitimin geri dönüş oranını yansıtmaktadır. Teknik etkinsizliğin modellenmesine ilişkin PWT'den elde edilen nüfus ve ihracatın ithalatı karşılama oranı değişkenleri kullanılmıştır. Nüfus verisi, her bir ülkenin nüfusu, ülkelerin toplam nüfusuna bölünerek modele dahil edilmiştir. İhracatın ithalatı karşılama oranı ( $xm$ ) değişkeni ise ihracatın ( $x$ ) ve ithalatın ( $m$ ) reel GSYH içindeki payı esas alınarak hesaplanmıştır. İhracat ve ithalat değişkenleri, PWT'de geniş ekonomik kategori (Broad Economic Category) kapsamında tanımlanmaktadır.

Üretim fonksiyonuna dahil edilen tüm değişkenler, çoklu doğrusal bağlantı ve değişen varyans problemine yönelik olarak kendi ortalamalarıyla normalize edilerek logaritmik formda kullanılmıştır (Du, 2017; Kumbhakar vd., 2014; Kumbhakar vd., 2015).  $i$  ülkeleri,  $t$  zaman boyutunu göstermek üzere, Cobb-Douglas ve translog üretim fonksiyonu kapsamında kurulan modellerin kapalı ve açık fonksiyon formları 2 ila 5 nolu eşitliklerde ifade edilmektedir.  $t=1990,1995,1996,\dots,2019$  yılları için olmak üzere;

$$y = f\{k, hc\} \quad (2)$$

$$\ln(y_{it}) = \alpha_0 + \beta_1 \ln(k_{it}) + \beta_2 \ln(hc_{it}) + v_{it} - u_{it} \quad (3)$$

$$y = f\{k, hc, (k \cdot hc), k^2, hc^2\} \quad (4)$$

$$\ln(y_{it}) = \alpha_0 + \beta_1 \ln(k_{it}) + \beta_2 \ln(hc_{it}) + \beta_{12} \ln(k_{it}) \ln(hc_{it}) \quad (5)$$

$$+ 1/2\beta_{11}(\ln k_{it})^2 + 1/2\beta_{22}(\ln hc_{it})^2 + v_{it} - u_{it} \quad (6)$$

$y$  istihdam edilen işgücü başına reel geliri,  $k$  istihdam edilen işgücü başına fiziki sermaye stokunu,  $hc$  beşeri sermaye endeksini,  $v_{it}$ , 0 ortalama  $\sigma_u^2$  varyansa sahip istatistiksel hata terimini,  $u_{it}$  teknik etkinsizliği göstermektedir.  $\beta_{ij}$  ise tahmin edilecek parametre değerleridir.

Diğer yandan,  $\mu_{it}$ ,  $\mu$  kesim noktasında  $N^+[\mu, \sigma_u^2]$  dağılan  $u_{it}$ 'nin ortalamasını;  $\delta$ , tahmin edilecek parametre değerlerini;  $w_{it}$  hata terimini göstermek üzere teknik etkinsizlik Eş.6'da ifade edildiği şekilde modellenmektedir (Battese & Coelli, 1995). Eşitlikte yer alan  $n$  terimi nüfus payını  $xm$  terimi ise ihracatın ithalatı karşılama oranını göstermektedir.

$$\mu_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln n + \delta_2 \ln xm + w_{it} \quad (6)$$

Teknik etkinsizlik ve istatistiki hata terimine ilişkin varyanslar da Eş.7 ve Eş.8’de belirtildiği üzere  $n$  ve  $xm$  değişkenlerinin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$\sigma_u = f(\ln n, \ln xm) \quad (7)$$

$$\sigma_u = f(\ln n, \ln xm) \quad (8)$$

Tahmin edilen üretim sınırı fonksiyonunda teorik olarak  $\frac{\partial \ln(y)}{\partial \ln(k)} = \beta_1 > 0$ ;  $\frac{\partial \ln(y)}{\partial \ln(hc)} = \beta_2 > 0$ ; değerler alması beklenmektedir. Diğer yandan teknik etkinsizlik modelinde yer almakta olan  $\frac{\partial \ln(\mu_{it})}{\partial \ln n} = \delta_1$  veya  $\frac{\partial \ln(\mu_{it})}{\partial \ln xm} = \delta_2$  pozitif veya negatif değerler alması beklenmektedir.

### Ampirik Bulgular

BRICS ülkeleri ile Türkiye’ye ilişkin temel değişkenler Tablo 2’de özet olarak sunulmaktadır. 2019 yılı açısından değerlendirildiğinde istihdam edilen işgücü başına reel gelirin (2017 yılı fiyatları ile USD) en yüksek olduğu ülkenin Türkiye olduğu; Rusya ve Güney Afrika’nın Türkiye’yi takip ettiği görülmektedir. İşgücü başına geliri yüksek olan ülkelerde işgücü başına sermaye stokunun da yüksek olduğu önsel bir bilgi olarak görülmektedir.

Beşeri sermaye endeksinin en yüksek olduğu ülke Rusya olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum özellikle gelecek yıllar için kişi başına gelir açısından Rusya’nın avantajlı konumda olabileceğine işaret etmektedir. Beşeri sermaye endeksinin en düşük olduğu ülke ise Hindistan olup bu ülkeyi Türkiye izlemektedir.

Tablo 2

*Değişkenlere İlişkin Özet İstatistik Veriler (2019 Yılı)*

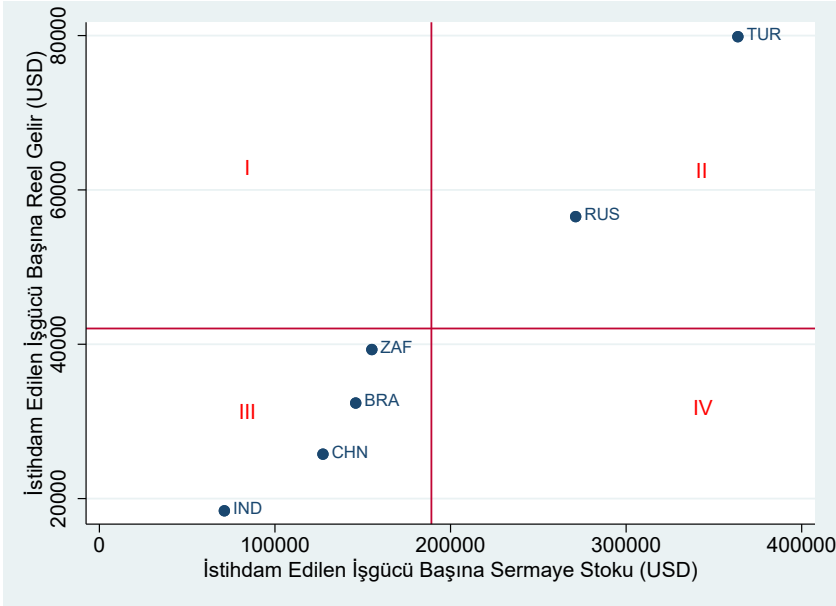
Ülke	y (USD)	k (USD)	hc (yıl)	n (%)	x (%)	m (%)	xm (%)
<b>Türkiye</b>	79.853	363.645	2,51	2,53	12,00	-5,00	80,00
<b>Rusya</b>	56.539	271.253	3,43	4,42	18,00	-9,00	200,00
<b>Güney Afrika</b>	39.310	155.171	2,91	1,77	18,00	-20,00	90,00
<b>Brezilya</b>	32.378	145.987	3,09	6,40	13,00	-14,00	92,86
<b>Çin</b>	25.754	127.319	2,70	43,46	19,00	-17,00	111,76
<b>Hindistan</b>	18.414	71.186	2,17	41,42	5,00	-8,00	62,50
<b>Ortalama</b>	<b>42.041</b>	<b>189.093</b>	<b>2,80</b>	<b>16,67</b>	<b>14,16</b>	<b>-13,83</b>	<b>106,19</b>

Not: y ve k, reel büyüklükler olup 2017 yılı USD bazlıdır.

İhracatın ( $x$ ) ve ithalatın ( $m$ ) reel GSYİH içindeki payının en yüksek olduğu ülkeler ise sırasıyla Çin ve Güney Afrika’dır. İhracatın ithalatı karşılama oranı ( $xm$ ) açısından ise Rusya ilk sırada yer almaktadır. Rusya’yı, Çin takip etmektedir.

Diğer yandan, reel gelir ile sermaye stoku arasındaki ilişki Şekil 1’de; reel gelir ile beşeri sermaye endeksi arasındaki ilişki ise Şekil 2’de gösterilmektedir. Söz konusu

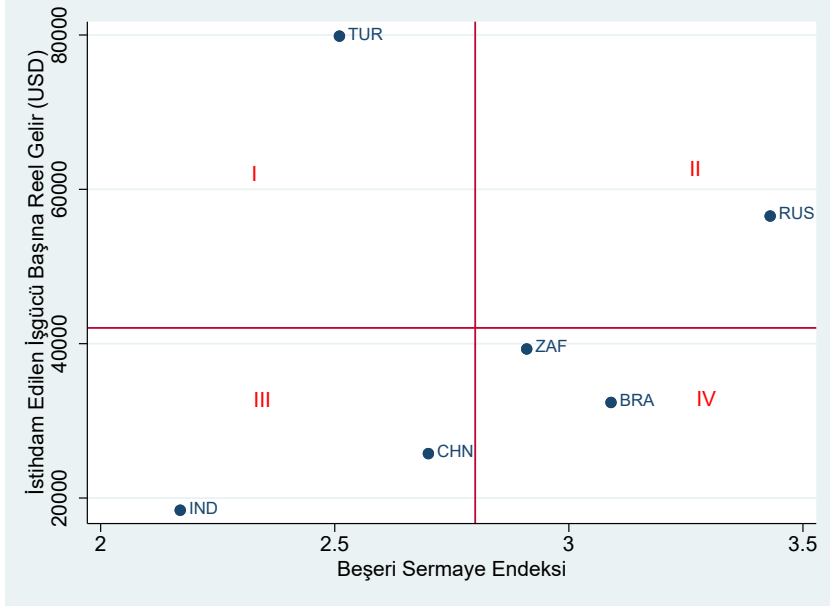
şekiller, değişkenlere yönelik ilişkileri önsel olarak göstermektedir. Reel gelir ile fiziki sermaye eşleşmesinde ortalama değerler serpilme grafiğini iki temel alana ayırmaktadır. Sermaye stoku yüksek ülkeler kişi başına gelir açısından da ortalamanın üzerinde yer almaktadır. II. alanda yer alan ülkeler (Rusya, Türkiye) kişi başına düşen reel gelir ve kişi başına düşen fiziki sermaye stoku açısından ortalamanın üzerinde bulunmaktadır. II. bölgenin simetriğinde bulunan III. bölgede ise ülkeler (Hindistan, Çin, Brezilya, Güney Afrika,) kişi başı reel gelir ve fiziki sermaye stoku açısından ortalamanın altında bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Gelir-Fiziki Sermaye İlişkisi (2019 yılı)<sup>3</sup>

Şekil 2’de görüldüğü üzere, Hindistan beşeri sermaye endeksi en düşük ülke olup Hindistan’ı Türkiye takip etmektedir. Beşeri sermaye endeksi ile işgücü başına reel gelir değişkeni arasında ters yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Ancak, Türkiye, beşeri sermaye endeksi düşük olmakla birlikte işgücü başına reel geliri yüksek olan aykırı bir konumda yer almaktadır. Beşeri sermaye endeksi en yüksek ülke ise Rusya’dır.

3 IND: Hindistan; CHN: Çin; BRA: Brezilya; ZAF: Güney Kore; RUS: Rusya; TUR: Türkiye.



Şekil 2: Gelir-Beşeri Sermaye İlişkisi (2019 yılı)

Çalışmanın ampirik uygulama bölümü için kullanılan temel değişkenler Tablo 3'te, korelasyon matrisi ise Tablo 4'te raporlanmaktadır.

Tablo 3

1990-2019 Özet İstatistik Veriler

Değişkenler	Birimi	Gözlem	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Y	Milyon USD	180	3.620.000	4.130.000	368.000	20.600.000
K	Milyon USD	180	14.400.000	16.200.000	1.610.000	102.000.000
L	Milyon Kişi	180	228	276	12	799
N	Milyon Kişi	180	483	536	37	1.430
y	İşgücü Başı USD	180	31.300	17.902	4.512	79.853
k	İşgücü Başı USD	180	140.467	93.064	8.049	363.645
hc	Endeks Değeri-Yıl	180	2,35	0,49	1,49	3,43
n	%	180	16,67	18,39	1,51	48,28
x	%	180	12,37	6,07	3,00	33,00
m	%	180	-11,78	5,32	-24,00	-3,00
xm	%	180	111,71	54,07	54,55	380,00

**Not:** Yazarın Kendi Hesabı.

Korelasyon matrisinde, reel gelir ile fiziki sermaye stoku en yüksek korelasyona sahip değişkenlerdir. Bu ikili değişkeni reel gelir ve nüfus ile beşeri sermaye ve ihracat takip etmektedir. Nüfus ile reel gelir, nüfus ile fiziki sermaye stoku ve nüfus ile beşeri sermaye endeksi değişkenlerinin birbiriyle negatif ilişkili olduğu görülmektedir.

Tablo 4

*Korelasyon Matrisi*

Değişkenler	y	k	hc	n	x	m
y	1,0000					
k	0,8782*** 0,0000	1,0000				
hc	0,4454*** 0,0000	0,6344*** 0,0000	1,0000			
n	-0,7943*** 0,0000	-0,7566*** 0,0000	-0,2965*** 0,0001	1,0000		
x	0,4492*** 0,0000	0,5400*** 0,0000	0,7938*** 0,0000	-0,3121*** 0,0000	1,0000	
m	-0,5958*** 0,0000	-0,3768*** 0,0000	-0,2680*** 0,0003	0,3819*** 0,0000	-0,5841*** 0,0000	1,0000

Not: \*\*\*: p<0,01, \*\*: p<0,05, \*: p<0,1.

Tablo 5, farklı varsayımlara sahip model tahminlerini içermektedir. Bu kapsamda beş temel model tahmin edilmekte olup bu modellere ilişkin dört hipotez sınaması yapılmaktadır. Üretim sınırı tespitinde kullanılan girdiler istihdam edilen işgücü başına fiziki sermaye ile beşeri sermaye endeksi değişkenlerinden oluşmakta, çıktı ise istihdam edilen işgücü başına reel gelir ile temsil edilmektedir.

Tablo 5

*Regresyon Sonuçları*

Değişkenler	OLS	TFE Modeli	TFE Modeli	TFE Modeli	TRE Modeli
Üretim Sınırı (Frontier)	(1)	Translog ve T Normal (2)	Cobb- Douglas ve T Normal (3)	Translog ve H Normal (4)	Translog ve T Normal (5)
lnk	0,796*** -0,0287	0,585*** -0,015	0,602*** -0,0164	0,612*** -0,0247	0,595*** -0,0186
lnhc	-0,316*** -0,0781	0,396** -0,162	0,354*** -0,0509	0,268*** -0,0508	0,462*** -0,0316
lnklnhc	-1,459*** -0,157	-0,684*** -0,145		-0,683*** -0,119	-0,660*** -0,048
lnk2	0,211*** -0,0339	0,0684*** -0,0234		0,0679*** -0,0253	0,0702*** -0,0129
lnhc2	3,645*** -1,072	0,459 -1,885		0,238 -0,791	1,305*** -0,257
Sabit	0,0205 -0,0201	- -	- -	- -	1,045*** (0,0633)
Etkinsizlik- $\mu$					
lnn	- -	0,174 (0,178)	0,350*** -0,0532	- -	-0,151 (0,444)
lnxm	- -	-0,135 (0,222)	0,489*** -0,0895	- -	0,270 (0,708)
Sabit	- -	-0,172 (0,300)	0,146*** -0,027	- -	-1,310 (1,201)

$\sigma_u$

Tablo 5

## Regresyon Sonuçları

Değişkenler	OLS	TFE Modeli	TFE Modeli	TFE Modeli	TRE Modeli
Üretim Sınırı (Frontier)	(1)	Translog ve T Normal (2)	Cobb- Douglas ve T Normal (3)	Translog ve H Normal (4)	Translog ve T Normal (5)
lnn	-	-0,523** (0,208)	0,567 -1,219	3,171 -3,554	-0,0759 (0,319)
lnxm	-	2,799*** (0,374)	-2,229 -2,064	-0,629 -1,176	2,023*** (0,591)
Sabit	-	-3,699*** (0,784)	-6,517*** -1,746	-7,902** -3,461	-2,273*** (0,803)
$\sigma_v$					
lnn	-	-6,511*** (2,391)	-0,384 -0,245	-0,974*** -0,274	0,315 (0,274)
lnxm	-	-6,346* (3,536)	3,671*** -0,394	3,977*** -0,38	-2,878*** (1,015)
Sabit	-	-24,07*** (6,050)	-5,569*** -0,381	-6,341*** -0,41	-8,147*** (0,519)
$\sigma_u$		0,212	0,395	0,031	0,331
$\sigma_v$		0,007	0,086	0,086	0,020
$\gamma$		0,999	0,173	0,113	0,996
Gözlem/Yatay Kesit		180/6	180/6	180/6	180/6

Not: Yazarın Kendi Hesabı.

İlk model, etkinsizliğin ülkelerin çıktılarında farklılığa neden olan bir faktör olup olmadığının test edilmesi için OLS (Ordinary Least Square) yöntemi ile tahmin edilmiştir. Bu nedenle etkinsizlik terimine ilişkin parametreler Model 1’de bulunmamaktadır. Model 2, SSA-TFE spesifikasyonu, translog üretim fonksiyonu ve kesikli normal dağılım varsayımlarına dayanmaktadır. Model 3, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu formu olup bu model uygun üretim fonksiyonu formunun sınanmasına yönelik olarak tahmin edilmiştir. Model 4, etkinsizlik terimine ilişkin yarı normal dağılım varsayımını içermektedir. Bu model uygun dağılımsal formun sınanmasına yönelik tahmin edilmiştir. Model 5 ise SSA-TRE spesifikasyonunu içermektedir. Teknik etkinsizlik tahmini için uygun modelin tespitine ilişkin sınamalar Tablo 6’da yer almaktadır.



Tablo 6

LR-Hausman Test Sonuçları

No	H0 Hipotezi	Log Likelihood	LR test istatistiği	Kritik Değer	Karar
1	Etkinsizlik Yok $H_0 : \sigma_u^2 = 0$	80,6	336,7	2,71	$H_0$ Red SSA Uygun
2	Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu $H_0 : \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{22} = 0$	208,8	80,4	7,05	$H_0$ Red Translog Model Uygun
3	Yarı Normal $H_0 : u_i \sim iidN^+(0, \sigma_u^2)$	90,2	317,5	5,14	$H_0$ Red Kesikli Normal Dağılım Uygun
4	$H_0$ : Rassal Etkiler Geçerli		Chi2(7) = 463,85; Prob>Chi2 0,000		$H_0$ Red Sabit Etkiler Geçerli

**Not:** Yazarın Kendi Hesabı. Baz Model Log Likelihood değeri 248,99'dur. İlk üç hipotez LR testi ile dördüncü hipotez ise Hausman testi ile sınanmıştır. Hesaplanan LR test istatistiklerinin sınaması Kodde ve Palm (1986) çalışması ile yapılmıştır.

SSA'nın OLS'ye tercih edilebilir olup olmadığına yönelik yapılan LR test sonucuna göre teknik etkinsizlik çıktı üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu bulgu, SSA'nın uygun spesifikasyon olduğunu göstermektedir. Tablo 6'da yer almakta olan 2, 3 ve 4 nolu hipotez testleri ise sırasıyla uygun üretim fonksiyonu formunun translog üretim fonksiyonu olduğunu; teknik etkinsizliğe ilişkin uygun dağılımsal formun kesikli normal dağılım olduğunu ve modelde rassal etkiler varsayımının reddedilmesine bağlı olarak uygun model spesifikasyonunun TFE olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara bağlı olarak teknik etkinsizlik katsayıları Model 2 referans alınarak (SSA-TFE spesifikasyonu, translog üretim fonksiyonu ve kesikli normal dağılım) tahmin edilmiştir.

Model 2 incelendiğinde  $\ln k$  ve  $\ln hc$  katsayı tahminlerinin iktisat teorisi ile uyumlu olarak beklenen işaretleri aldığı ve istatistiksel olarak da anlamlı olduğu görülmektedir. Yine etki gücü en yüksek değişken işgücü başına fiziki sermaye stokudur. Bu değişkendeki %1'lik her artış çıktı düzeyinde %0,59'luk bir artış sağlamaktadır. Beşeri sermayede meydana gelen %1'lik her artış ise çıktı düzeyini %0,39 artırmaktadır. Etkileşim teriminin ( $\ln k \ln hc$ ) negatif işaretli olması beşeri sermaye ve fiziki sermaye değişkenleri arasında ikame ilişkisi olduğunu göstermektedir. Söz konusu katsayı, istatistiksel olarak da %1 önem düzeyinde anlamlıdır. Diğer yandan, nüfus ile ihracatın ithalatı karşılama oranı değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan ve modeldeki teknik etkinsizliği gösteren  $\mu$  terimi üzerinde, bu değişkenlerin anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Üretim sınırı fonksiyonunun parametrelerinin ve teknik etkinsizliğin tutarlı ve sapmasız tahminlerini elde etmek amacıyla çalışma kapsamında etkinsizliğe ve istatistiki hata terimine ilişkin değişen varyans da modellenmiştir (Wang, 2002; Belotti vd., 2013; Kumbhakar vd., 2014).  $\sigma_u$  ve  $\sigma_v$  nüfus ile ihracatın ithalatı karşılama oranı değişkenlerinin fonksiyonu olarak tanımlanmış<sup>4</sup> söz konusu değişkenler istatistiki

4  $\mu, \sigma_u$  ve  $\sigma_v$ 'nin aynı değişkenlerin fonksiyonu olarak tanımlanması önerilmektedir (Wang, 2002).

olarak anlamlı bulunmuştur. Buna göre ihracatın ithalatı karşılama oranının artması teknik etkinlikte daha yüksek bir varyansa; nüfus payının artması ise teknik etkinlikte daha düşük bir varyansa neden olmaktadır. Diğer yandan söz konusu değişkenlerdeki artış çıktının varyansını azaltmaktadır ( $\sigma_v$  başlığı altında yer alan değişkenlerin katsayıları negatif işaretli).

Model 2 referans alınarak teknik etkinlik katsayıları ve teknik etkinlik değişimleri elde edilmiş olup Tablo 7 ile Tablo 9 arasında sunulmaktadır. Teknik etkinlik katsayısı 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu değer 0'a yaklaştıkça ülkenin etkisizliği ve üretim kayıpları artmaktadır. Söz konusu değer 1 olması ise ülkenin üretim sınırında üretim yaptığını ve üretim potansiyelini tamamen kullandığını göstermektedir.

Tablo 7'de analiz döneminde (30 yıllık) teknik etkinlik seviyesinin ortalama %91 olduğu görülmektedir. Bu durum ülkelerin analiz döneminde potansiyel çıktılarının %9'unu kaybettiğini göstermektedir. Yıllar itibarıyla ise ülkelerin ortalama olarak teknik etkinliği önce azalmış, 2003 yılından sonra ise genel eğilim olarak artış göstermiştir. Analiz dönemi boyunca yıllık ortalama olarak teknik etkinlik %0,064 azalış göstermiştir.

Tablo 7

*Yıllara Göre Teknik Etkinlik ve Teknik Etkinlik Değişimi*

Yıl	Teknik Etkinlik		Teknik Etkinlik Değişimi		
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma	Birim Sayısı
1990	0,947	0,088			6
1991	0,919	0,097	-2,77	0,019	6
1992	0,888	0,131	-3,14	0,035	6
1993	0,883	0,151	-0,51	0,023	6
1994	0,868	0,171	-1,49	0,035	6
1995	0,877	0,180	0,97	0,015	6
1996	0,879	0,185	0,18	0,016	6
1997	0,876	0,177	-0,33	0,023	6
1998	0,851	0,179	-2,47	0,021	6
1999	0,835	0,153	-1,66	0,035	6
2000	0,854	0,141	1,91	0,033	6
2001	0,843	0,121	-1,12	0,044	6
2002	0,856	0,113	1,36	0,021	6
2003	0,872	0,100	1,61	0,018	6
2004	0,897	0,091	2,44	0,016	6
2005	0,912	0,079	1,55	0,014	6
2006	0,931	0,056	1,84	0,025	6
2007	0,953	0,041	2,22	0,022	6
2008	0,953	0,039	0,03	0,025	6
2009	0,929	0,045	-2,38	0,035	6
2010	0,955	0,045	2,59	0,011	6
2011	0,959	0,038	0,43	0,022	6
2012	0,953	0,030	-0,61	0,019	6
2013	0,957	0,031	0,38	0,010	6
2014	0,959	0,024	0,18	0,017	6
2015	0,943	0,029	-1,59	0,026	6
2016	0,937	0,043	-0,60	0,022	6
2017	0,938	0,052	0,11	0,016	6
2018	0,932	0,066	-0,64	0,019	6
2019	0,928	0,073	-0,34	0,010	6
<b>Ortalama</b>	<b>0,910</b>	<b>0,106</b>	<b>-0,064</b>	<b>0,027</b>	<b>180</b>

Not: Yazarın Kendi Hesabı.

Teknik etkinlik katsayıları ülkeler açısından değerlendirildiğinde ise ülkeler bazında farklılaşan bir durum bulunmaktadır. Analiz döneminde ortalama teknik etkinlik katsayısı açısından ilk sırada yer alan ülke Türkiye, son sırada yer alan ülke ise Rusya olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin etkinsizlik kaynaklı üretim kaybı %3,4 iken Rusya'nın %23,3'tür. Bununla birlikte Rusya analiz dönemi süresince etkinliğini artıran tek ülke olarak görülmektedir. Diğer ülkeler analiz döneminde etkinlik kayıpları yaşarken Rusya'nın teknik etkinliği %0,74 artış göstermiştir. Bu nedenle çalışmanın bulgularına göre, analiz dönemi boyunca Rusya'nın mevcut teknoloji düzeyine uyumu artmış ve etkinsizlik kaynaklı üretim kayıpları azalmıştır.

Tablo 8

*Ülkelere Göre Ortalama Teknik Etkinlik Katsayıları ve Teknik Etkinlik Değişimi*

Sıra	Bölge	Teknik Etkinlik		Teknik Etkinlik Değişimi		Yıl
		Ortalama	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma	
1	Türkiye	0,966	0,032	-0,013	0,034	30
2	Brezilya	0,949	0,047	-0,549	0,020	30
3	Güney Afrika	0,936	0,042	-0,104	0,017	30
4	Hindistan	0,924	0,040	-0,012	0,019	30
5	Çin	0,915	0,060	-0,455	0,024	30
6	Rusya	0,767	0,178	0,747	0,040	30
	<b>Ortalama</b>	<b>0,910</b>	<b>0,106</b>	<b>-0,064</b>	<b>0,027</b>	<b>180</b>

Not: Yazarın Kendi Hesabı.

Teknik etkinlik ülkelerin mevcut teknolojiyi kullanabilme performansının da bir göstergesi olarak değerlendirildiğinden, mevcut koşullarda teknolojiye adapte olma kabiliyeti en iyi ülke Türkiye, en zayıf olan ülke ise Rusya olarak görülmektedir. Bununla birlikte, ülkelerin yüksek teknik etkinlik düzeyine sahip olması aynı zamanda yüksek verimlilik seviyelerine de sahip olduğu anlamına gelmemektedir. Bunun için teknolojik ilerlemenin de dikkate alınması gerekir. Teknolojik ilerleme söz konusu olduğunda üretim sınırı da kaymaktadır. Bu nedenle ülke teknik olarak etkin olmakla birlikte verimlilik açısından değerlendirildiğinde düşük bir teknolojik ilerleme sergilediyse diğer ülkelerin gerisinde kalabilecektir.

### Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada, 1990-2019 dönemini içeren panel veri seti kapsamında BRICS ülkeleri ile Türkiye'nin, teknik etkinlik düzeyleri hesaplanarak etkinsizlik kaynaklı üretim kayıpları tahmin edilmiştir. Teknik etkinlik, ekonomik birimin mevcut kaynaklarını ve teknolojisini kullanma kabiliyetini göstermekte olup teknik etkinliğin azalması ülkenin üretim sınırından uzaklaşması ve etkinsizlik kaynaklı üretim ve gelir kayıpları yaşadığı anlamına gelmektedir.

Çalışmanın bulguları, analiz döneminde (30 yıllık süreçte) teknik etkinlik seviyesinin ortalama %91 olduğunu göstermektedir. Bu durum ülkelerin analiz döneminde potansiyel çıktılarının %9'unu kaybettiği anlamına gelmektedir. Diğer yandan analiz dönemi boyunca yıllık ortalama olarak teknik etkinlik %0,064 azalış göstermiştir. Bu durum analiz dönemi boyunca ülkelerin mevcut teknolojilere uyumlarının giderek azaldığını ve etkinsizlik kaynaklı üretim kayıplarının ise arttığını ifade etmektedir. Çalışmada, teknik etkinlik katsayısı açısından ilk sırada yer alan ülke Türkiye, son sırada yer alan ülke ise Rusya olarak tespit edilmiştir. Etkinsizlik kaynaklı üretim kaybı Türkiye'de %3,4, Rusya'da %23,3 olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, Rusya analiz dönemi süresince etkinliğini artıran tek ülke olarak tespit edilmiştir.

Gerek etkinsizlik kaynaklı üretim kayıpları gerekse analiz dönemi boyunca gözlemlenen etkinlik düşüşleri, sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından ekonomilerin potansiyellerini daha etkin kullanmalarının önemli bir fırsat alanı olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, teknolojik ilerleme gösteren ülkelerin üretim sınırlarındaki bu kaymaya eşlik edecek üretim artışı, bu ülkelerin ileri teknolojilere uyum sağlama performansı kısıtı altındadır. Genişleyen bir üretim sınırı söz konusu olduğunda mevcut teknolojiye adaptasyon çabasının yeterince karşılık bulamaması durumunda teknik etkinliğin düşmesi de kaçınılmaz bir sonuç olarak görülmektedir. Gerek mevcut gerekse yeni teknolojilere intibak, kuralları net, kesin ve öngörülebilir sosyal, siyasal, kültürel ve ekonomik kurumsal yapılar ile yeni teknolojilerin öğrenilmesi ve öğretilmesini içeren eğitim süreçlerini gerekli kılmaktadır. Diğer yandan, BRICS ülkelerine yönelik olarak teknolojik ilerlemenin ve toplam faktör verimliliğinin hesaplanması ile etkinlik ve verimliliğe ilişkin makroekonomik belirleyicilerin analiz edilmesi bu çalışmanın devamı niteliğindeki bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

---

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** The author has no conflict of interest to declare.

**Grant Support:** The author declared that this study has received no financial support.

---

## Kaynakça/References

- Aguiar, D. I. R. (2014). *Measuring the Differences in Productivities of Nations: A Stochastic Frontier Approach*. Doctoral dissertation. Tese de Mestrado, Porto: Universidade Católica Portuguesa.
- Akhremenko, A., Petrov, A., and Yureskul, E. (2019). Institutions, Productivity Change, and Growth. In S. Smirnov, A. Ozyildirim, and P. Picchetti (eds.), *Business Cycles in BRICS* (pp. 29–54). Berlin–Heidelberg: Springer.

- Albert, M. G. (1998). Regional Technical Efficiency: A Stochastic Frontier Approach. *Applied Economics Letters*, 5(11), 723-726.
- Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1988). Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data. *Journal of Econometrics*, 38(3), 387-399.
- Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1992). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1), 153-169.
- Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332.
- Belotti, F., and Ilardi, G. (2018). Consistent Inference in Fixed-Effects Stochastic Frontier Models. *Journal of Econometrics*, 202(2), 161-177.
- Belotti, F., Daidone, S., Ilardi, G., and Atella, V. (2013). Stochastic Frontier Analysis Using Stata. *The Stata Journal*, 13(4), 719-758.
- Caselli, F. (2005). Accounting for Cross-Country Income Differences. *Handbook of Economic Growth*, 1, 679-741.
- Chen, Y.-Y., Schmidt, P., and Wang, H.-J. (2014). Consistent Estimation of the Fixed Effects Stochastic Frontier Model. *Journal of Econometrics*, 18(2), 65-76.
- Deliktaş, E., and Balçılar, M. (2005). A Comparative Analysis of Productivity Growth, Catch-Up, and Convergence in Transition Economies. *Emerging Markets Finance and Trade*, 41(1), 6-28.
- Du, K. (2017). Translog: Stata Module to Create New Variables for a Translog Function, Statistical Software Components S458318, Boston College Department of Economics. Link: <https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s458318.html>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, 253-90.
- Forstner, H., and Isaksson, A. (2002). Productivity, Technology, and Efficiency: An Analysis of the World Technology Frontier; When Memory is Infinite. *Statistics and Information Networks Branch of UNIDO*.
- Golany, B., and Thore, S. (1997). The Economic and Social Performance of Nations: Efficiency and Returns to Scale. *Socio-Economic Planning Sciences*, 31(3), 191-294.
- Greene, W. (2005a). Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models. *Journal of Productivity Analysis*, 23(1), 7-32.
- Greene, W. (2005b). Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of The Stochastic Frontier Model. *Journal of Econometrics*, 126(2), 269-303.
- Hall, R. E., and Jones, C. I. (1999). Why Do Some Countries Produce so Much More Output per Worker than Others?. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(1), 83-116.
- Herrera, S., and Pang, G. (2005). *Efficiency of Public Spending in Developing Countries: An Efficiency Frontier Approach* (Vol. 3645). World Bank Publications.
- Heshmati, A., and Rashidghalam, M. (2020). Estimation of Technical Change and TFP Growth Based on Observable Technology Shifters. *Journal of Productivity Analysis*, 53, 21-36.
- Hou, Z., Roseta-Palma, C., and Ramalho, J. J. (2020). Directed Technological Change, Energy and More: A Modern Story. *Environment and Development Economics*, 25(6), 611-633.
- Human Capital in PWT 9.0. (n.d.). [ebook] Penn World Table. Available at: [http://www.rug.nl/ggdc/docs/human\\_capital\\_in\\_pwt\\_90.pdf](http://www.rug.nl/ggdc/docs/human_capital_in_pwt_90.pdf) [Erişim: 27/09/2020].

- Kim, S., and Lee, H. (2006). The Productivity Debate of East Asia Revisited: A Stochastic Frontier Approach. *Applied Economics*, 38, 1697–1706.
- Kim, S., Park, D., and Park, J.-H. (2010). Productivity Growth Across the World, 1991-2003. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series* (212).
- Kodde, D. A., and Palm, F. C. (1986). Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1243-1248.
- Kök, R., and Deliktaş, E. (2003). *Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Strateji Geliştirme Teknikleri*. İzmir: DEÜ İİBF Yayınları, Yayın Karar No.25-8/1.
- Krüger, J., Cantner, U., and Hanusch, H. (2000). Total Factor Productivity, the East Asian Miracle, and the World Production Frontier. *Weltwirtschaftliches Archiv*, 136(1), 111-136.
- Kumbhakar, S. C. (1990). Production Frontiers, Panel Data and Time-Varying Technical Inefficiency. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 201-211.
- Kumbhakar, S. C., and Heshmati, A. (1995). Efficiency Measurement in Swedish Dairy Farms: An Application of Rotating Panel Data, 1976–88. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(3), 660-674.
- Kumbhakar, S. C., Lien, G., and Hardaker, J. B. (2014). Technical Efficiency in Competing Panel Data Models: A Study of Norwegian Grain Farming. *Journal of Productivity Analysis*, 41(2), 321-337.
- Kumbhakar, S. C., Wang, H.-J., and Horncastle, A. P. (2015). *A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata*. New York: Cambridge University Press.
- Kumbhakar, S., and Lovell, C. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Mahadevan, R. (2004). *The Economics of Productivity in Asia and Australia*. Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- Penn World Table. (2021). Groningen Growth and Development Centre, Faculty of Economics and Business. Web: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en> [Erişim: 24.03.2022].
- Pires, J., and Garcia, F. (2012). Productivity of Nations: A Stochastic Frontier Approach to TFP Decomposition. *Economics Research International* (Article ID 584869), 1-20.
- Rao, D.S.P. and Coelli, T.J. (1998). A Cross-Country Analysis of GDP Growth Catch-Up And Convergence in Productivity and Inequality, *Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA)*. Working Paper No. 5/98, University of New England, Australia.
- Wang, H. J. (2002). Heteroscedasticity and Non-Monotonic Efficiency Effects of a Stochastic Frontier Model. *Journal of Productivity Analysis*, 18(3), 241-253.
- Wang, H.-J., and Ho, C.-W. (2010). Estimating Fixed-Effect Panel Stochastic Frontier Models by Model Transformation. *Journal of Econometrics*, 157(2), 286-296.

