

## Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Emek-Sermaye-Enerji Faktörlerinin İkame ve Çıktı Esneklikleri\*

Mehmet SONGUR\*\*

Geliş Tarihi (Received): 10.05.2019 – Kabul Tarihi (Accepted): 03.09.2019

### Öz

Üretim fonksiyonu üzerine tartışmalar iktisatçıların daima ilgisini çekmiştir. Bu çalışmanın amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, Cobb-Douglas, CES ve VES üretim fonksiyonlarından hareketle, ölçek esnekliği, çıktı esnekliği ve ikame esnekliğini tahmin etmektir. Amaç doğrultusunda, dört girdili (emek, sermaye, doğalgaz ve petrol) olacak şekilde model oluşturulmuştur. Çalışmada 1982-2014 dönemine ait verilerle 22 gelişmiş, 12 gelişmekte olan ülke için doğrusal ve doğrusal olmayan panel veri analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Cobb-Douglas üretim fonksiyonundan elde edilen bulgular, sermayenin çıktı esnekliğinin gelişmiş ülkelerde, emeğin çıktı esnekliğinin ise gelişmekte olan ülkelerde daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca doğalgaz tüketimi çıktı esnekliği, gelişmekte olan ülke grubunda istatistiksel olarak anlamsız iken, petrol tüketimi çıktı esnekliğinin gelişmiş ülkelerde daha yüksek olduğu görülmüştür. CES üretim fonksiyonundan elde edilen bulgulara göre, emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliği gelişmiş ülkelerde birden büyük, gelişmekte olan ülkelerde ise birden küçük olarak tahmin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim Fonksiyonu, İkame Esnekliği, Çıktı Esnekliği, Panel Veri Analizi

**Jel Sınıflaması:** C33, D20, E23.

---

\* Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı'nda yazar tarafından "Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Faktörler Arası İkame Esneklik Katsayısı: Cobb-Douglas, CES ve VES Üretim Fonksiyonu Tahmini" ismiyle Mart 2018'de savunulan doktora tezinden türetilmiştir.

\*\* Arş. Gör. Dr., Munzur Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, [mmtsngur@gmail.com](mailto:mmtsngur@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4763-9314>

## **Substitution and Output Elasticities of Labor-Capital-Energy Factors in Developed and Developing Countries**

### **Abstract**

Discussions on the production function have always attracted the attention of economists. The aim of this study is to predict scale elasticity, output elasticity and elasticity of substitution for developed and developing countries, based on Cobb-Douglas, CES and VES production functions. Model has been created for four inputs (labor, capital, natural gas and oil). In the study, linear and nonlinear panel data analysis techniques were used for 22 developed and 12 developing countries by data for the period 1982-2014. Findings obtained from the Cobb-Douglas production function show that output elasticity of capital is higher in developed countries and output elasticity of capital is lower in developing countries. Moreover, while the output elasticity of natural gas consumption was statistically insignificant in the developing country group, the output elasticity of oil consumption was seen to be higher in developed countries. According to the CES production function, the elasticity of substitution between labor and capital was estimated to be greater than one in developed countries. Similarly, the elasticity of substitution between labor and capital was estimated to be smaller than one in developing countries.

**Keywords:** *Production Function, Elasticity of Substitution, Output Elasticity, Panel Data Analysis.*

**JEL Classification:** *C33, D20, E23.*

## Giriş

Mal ve hizmetlerin miktarını ya da faydasını arttırmaya yönelik faaliyetler olarak adlandırabileceğimiz üretim, iktisadi analiz içerisinde yer alan önemli konulardan birisidir. Bununla birlikte üretim, üretim faktörlerini kullanarak çıktı elde etme sürecinde fayda yaratma olarak da ifade edilebilir. Üretim faktörü ise üretime katılan temel girdiler olarak belirtilebilir. Üretim faktörlerinin çıktılara dönüştürülmesi Neoklasik gelenekte üretim fonksiyonu adı verilen matematiksel ifadelerle gösterilmektedir. Üretim fonksiyonunun iktisadi yazında birbirine benzer birçok tanımı olmakla beraber en genel tanımı şu şekilde verilebilir: Üretim fonksiyonu, mevcut en iyi üretim teknikleri kullanıldığında alternatif faktör bileşimlerinin zaman birimi başına üretilebilecek maksimum çıktı miktarını gösteren eşitliktir. Üretim fonksiyonlarının üretimde kullanılan tüm girdileri içerecek şekilde oluşturulması zordur, ancak bu derece detaylandırılmış bir fonksiyonun oluşturulması gereksizdir. Bu nedenle girdiler, üretim fonksiyonlarında –genellikle- “emek” ve “sermaye” olarak toplulaştırılmaktadır.

Üretim fonksiyonu hem iktisadi çerçevede hem de mühendislik bakımından incelenebilir. Teknolojik olarak uygulanabilir olan girdi ve çıktı kombinasyonlarının teknoloji setinin üretilmesi mühendislerin ilgi alanına girmektedir. İktisatçılar ise üretilen bu setin etkin sınırını tanımlamakta ve mevcut girdi-çıkıtı kombinasyonlarının en iyi uygulamasının kullanımı ile ilgilenmektedir.

Üretim fonksiyonlarını mikro ve makro düzeyde ikiye ayırmak mümkündür. Buna göre, bir firma, sektör ya da endüstri için incelendiğinde, söz konusu üretim fonksiyonu mikro üretim fonksiyonu olarak adlandırılır. Bir ülke ekonomisinin tamamı için toplulaştırılmış üretim fonksiyonları incelendiğinde ise söz konusu üretim fonksiyonu makro üretim fonksiyonu olarak ifade edilir.

Üretim fonksiyonu kendi içerisinde önemli olan birçok kavramı da beraberinde getirmektedir. Kavramların en önemlilerinden birisi fonksiyonun homojenlik derecesi ile belirlenen *ölçeğe göre getiri* kavramıdır. İktisadi olarak üretim fonksiyonunun homojenlik derecesi, bütün faktörlerin belli bir miktar arttırılması durumunda toplam üretimde gerçekleşen artışı belirlemektedir. Bu kavramlardan bir diğeri, *çıkıtı esnekliği* olup, kullanılan diğer üretim faktörlerinin miktarları sabit iken üretim faktörlerinden birindeki oransal değişimin üretimde meydana getirdiği oransal değişime oranı olarak tanımlanabilir. Bir başka önemli kavram ise bu çalışmanın ana odak noktası olan ve girdiler arasındaki ikame ilişkilerini ifade eden *ikame esnekliği* kavramıdır. İkame esnekliği, faktör oranlarındaki oransal/yüzdesele değişimin faktörlerin marjinal verimlilik oranlarındaki oransal/yüzdesele değişmeye oranı olarak ifade

edilmektedir. Başka bir ifade ile ikame esnekliği, faktör oranlarındaki yüzde değişimin, marjinal teknik ikame oranındaki yüzde değişime oranıdır.

İster bir firma için mikro düzeyde bir üretim fonksiyonu, isterse de bir ülke ekonomisi için makro düzeyde bir üretim fonksiyonu kullanılsın, ikame esnekliğinin önemi büyüktür. Bir firma için ya da bir ülke ekonomisi için bir üretim faktörü yerine diğer üretim faktörünün kullanılabilirliğinin ya da aralarındaki tamamlayıcılık ilişkisinin bilinmesi gerekir. Bu bağlamda, üretimde kullanılan faktörlerin birbiri yerine kullanılabilirlik ya da tamamlayıcılık ölçüsü ikame esnekliğini vermektedir. Örneğin, bir ülke ekonomisi için, Neoklasik Büyüme Modeli çerçevesinde ve teknolojinin sabit olduğu varsayımı altında uzun vadeli büyümenin sürdürülebilirliği, esas olarak ikame esnekliğinin birden büyük ya da küçük olmasına bağlıdır.

Sıfır ile artı sonsuz arasında bir değer alan ikame esnekliğinin tahmini için üretim fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Yazında matematiksel olarak birçok üretim fonksiyonu formu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi ve en çok bilineni, 1928 yılında Cobb ve Douglas tarafından geliştirilen ve ikame esnekliğinin daima bire eşit olduğu ve dolayısıyla da girdiler arasındaki ikamenin sınırlı olduğu *Cobb-Douglas üretim fonksiyonudur*. İkincisi, *doğrusal üretim fonksiyonu* olup, bu üretim fonksiyonunun en önemli özelliği girdiler arasındaki ikamenin sınırlı değil tam olması koşulunda ikame esnekliğinin sonsuz olmasıdır. Üçüncüsü, 1951 yılında Leontief tarafından geliştirilen *sabit katsayılı (Leontief) üretim fonksiyonudur*. Bu fonksiyonda girdiler arasında ikame yoktur ve tam tamamlayıcılık ilişkisi varsayımıyla ikame esnekliğinin sıfıra eşit olması söz konusudur. Dördüncüsü, 1961 yılında Arrow-Chenery-Minhas-Solow tarafından geliştirilen *Sabit İkame Esneklikli* ya da kısaca *CES (Constant Elasticity of Substitution) üretim fonksiyonudur*, CES üretim fonksiyonunun en önemli özelliği, ikame esnekliğinin her bir üretim düzeyi için sabit yani bir değerinden farklı değer alabilmesine olanak sağlamasıdır.

Bu çalışmanın amacı, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, toplulaştırılmış/makro Cobb-Douglas ve CES üretim fonksiyonlarından hareketle, ikame esnekliklerini, çıktı esnekliklerini ve ölçek esnekliklerini son yıllarda geliştirilen ekonometrik yöntemlerle tahmin etmek ve dolayısıyla girdiler arasındaki ilişkileri ve çıktı üzerine katkılarını araştırmak ve bu bağlamda hem ülkeler bazında hem de üretim fonksiyonları bazında karşılaştırmalar yapmak olarak belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde üretim fonksiyonlarına ilişkin ampirik literatür özeti sunulacaktır. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri setine, ampirik modellere, ekonometrik metodolojiye ve ampirik analizden elde

edilen bulgulara yer verilecektir. Sonuç bölümünde ise, çalışmadan elde edilen bulgular çerçevesinde değerlendirmeler yapılacak ve politika önerilerine yer verilecektir.

## 1. Literatür

Üretim fonksiyonlarına ilişkin ampirik literatür ilk olarak Cobb ve Douglas'ın 1928 yılında yayınladıkları çalışmalarına dayanmaktadır. ABD İmalat Sanayi için 1889-1922 dönemine ait verilerle regresyon analizi ile üretim fonksiyonunda yer alan parametreleri tahmin etmişlerdir. Bulgular ele alınan dönemde emeğin çıktı esnekliğinin 0.75, sermayenin çıktı esnekliğinin ise 0.25 olduğunu göstermektedir. Üretim fonksiyonlarının tahminine ilişkin ilgi günümüze kadar artarak devam etmiş ve farklı ülkeler, farklı dönemler ve farklı analiz tekniklerine dayanılarak birçok analiz gerçekleştirilmiştir. Blundell ve Bond (2000) çalışmalarında ABD İmalat Sanayi içerisinde bulunan 509 AR-GE performanslı firma için 1982-1989 dönemine ait verilerden yararlanarak ve Sistem Genelleştirilmiş Momentler Methodunu kullanarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre sermaye katsayısı literatürdeki çalışmalardan farklılaşarak daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca ölçeğe göre sabit getirinin varlığı reddedilememiştir. Wakelin (2001) ise, 170 İngiliz Şirketi için 1988-1996 dönemine ait verileri kullanmıştır. Çalışma literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak Panel EKK tahmincisini kullanmıştır.

Söderbom ve Teal (2004) ise Gana'da yer alan 143 firma için 1991-1997 dönemine ait verilerden yararlanarak GMM tahmincisi ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular emeğin çıktı esnekliğinin sermayenin çıktı esnekliğinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Cantos vd. (2005) İspanya'da ulaşım sektörünün ekonomik büyüme üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada 5 farklı sektör için Panel veri analizi sabit etkiler tahmincisinden ve 1965-1995 dönemine ait verilerden yararlanarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular ele alınan dönemde emeğin çıktı esnekliğinin sermayenin çıktı esnekliğinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Chow ve Li (2002) çalışmalarında 1952-1998 dönemi için Çin'de emek ve sermayeyi içeren Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu EKK tahmincisi ile tahmin etmişlerdir. Fang (2011) çalışmasında, Çin ekonomisi için 1978-2008 dönemine ait emek, sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi verilerinden yararlanarak EKK tahmincisi ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmiştir. Yine Çin ekonomisi için Li ve Liu (2011) Stokastik sınır analizi ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Tüm çalışmalarda bulgular sermayenin çıktı esnekliğinin emeğin çıktı esnekliğinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Tranconi ve Marzetti (2011) Avrupa’da faaliyet gösteren 828 firma için 2005-2006 dönemine ait veriler yardımıyla Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular emeğin çıktı esnekliğinin sermayenin çıktı esnekliğinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Shahiduzzaman ve Alam (2013) çalışmalarında emek ile bilgi teknolojisi içeren ve içermeyen olmak üzere iki farklı sermaye stokuna ait 1975-2011 dönemine için elde edilen veriler kullanılarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular her iki sermaye stokuna göre emeğin çıktı esnekliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çermikli ve Tokatlıoğlu (2015) 27 yüksek gelirli ve 17 orta gelirli ülke için emek, sermaye ve enerji tüketimi verileri yardımıyla, panel veri analiz tekniklerinden yararlanarak 1990-2011 dönemine ait verilerle Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Yüksek gelirli ülkelerde emeğin çıktı esnekliği sermayenin çıktı esnekliğinden daha yüksek iken, orta gelirli ülkelerde tam tersine sermayenin çıktı esnekliği emeğin çıktı esnekliğinden daha yüksek elde edilmiştir. Inlesi-Lotz (2015) çalışmasında OECD ülkeleri için 1990-2010 dönemine ait veriler yardımıyla panel veri analiz tekniklerinden yararlanarak emek, sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi girdileri ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular sermayenin çıktı esnekliğinin emeğin çıktı esnekliğinden daha büyük olduğunu göstermektedir. Chikabwi vd. (2017) çalışmalarında Güney Afrik Kalkınma Topluluğu’na üye 9 ülke için imalat sanayi sektöründe 2000-2013 dönemine ait verilerden yararlanarak panel veri analiz teknikleri çerçevesinde Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu kullanmışlardır. Bulgular ele alınan dönemde sermayenin çıktı esnekliğinin, emeğin çıktı esnekliğinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

CES üretim fonksiyonunun tahminine ilişkin ilk çalışma CES üretim fonksiyonunu geliştiren Arrow vd. (1961)’nin çalışmasıdır. Söz konusu çalışmada 19 ülke için 1949-1955 dönemine ait verilerden yararlanarak EKK tahmincisine dayanmaktadır. Çalışmada emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliğini 0.42 ile 1.74 arasında tahmin etmişlerdir. Sato (1970) çalışmasında ABD için 1909-1960 dönemine ait verilerden yararlanmışlar ve CES tipi üretim fonksiyonunu EKK tahmincisini kullanarak tahmin etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri analizden elde edilen bulgulara göre emek ve sermaye arasındaki ikame esneklikleri 0.5 ile 0.7 arasında değişmektedir. Kempfert (1998) ise, Batı Almanya Endüstrisi 1960-1993 dönemine ait verilerle EKK tahmincisini kullanarak tahmin etmişlerdir. Bulgular ikame esnekliğinin 0.146 ile 0.846 arasında değiştiğini göstermektedir.

Duffy ve Papageorgiou (2000) çalışmalarında 82 ülkenin 1960-1987 dönemine ait verilerinden yararlanmışlardır. Çalışmada doğrusal ve doğrusal olmayan EKK ile GMM

tahmincisini kullanmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgular ikame esnekliklerinin 1'den büyük olduğunu göstermektedir. Werf (2008) çalışmasında, 12 ülke için 1978-1996 dönemine ait verilerden yararlanarak ve panel veri analiz tekniklerini kullanarak CES tipi üretim fonksiyonunu kullanmışlardır. Bulgular ele alınan dönemde ikame esnekliklerinin 1'den küçük olduğunu göstermektedir.

Henningsen ve Henningsen (2011) çalışmalarında, CES üretim fonksiyonunun tahmini için ilk defa optimizasyon algoritmalarına dayanarak doğrusal olmayan en küçük kareler tahmincisini kullanmışlardır. Bu çerçevede, dört girdiye kadar yuvalanmış CES üretim fonksiyonunun tahminine imkân tanımakla beraber söz konusu tahminlerle CES üretim fonksiyonunda yer alan ölçek parametresi dâhil tüm parametrelerin tahmini mümkün olabilmektedir. Bu çerçevede Koesler ve Schymura (2012), Shen ve Whalley (2013), Shen, Wang ve Whalley (2015) ve Brockway vd. (2017) çalışmalarında Henningsen ve Henningsen (2011)'in CES üretim fonksiyonunun tahmini için geliştirdikleri tahmin sürecini kullanmışlar ve farklı dönem ve farklı ülke ve sektör grupları için farklı girdiler aracılığı ile ikame esnekliklerini tahmin etmişlerdir. Koesler ve Schymura (2012) çalışmalarında 27 AB ve 13 diğer olmak üzere toplamda 40 ülkeye ait 35 sektör için 1995-2006 dönemine ait verilerden yararlanmışlardır. Bulgular ikame esnekliklerinin 0.01'den küçük olduğunu göstermektedir. Shen ve Whalley (2013) Çin için 1979-2006 dönemine ait verilerden yararlanarak CES tipi üretim fonksiyonunu tahmin etmişlerdir. Bulgular ele alınan dönemde ikame esnekliğinin 0.436 ile 2.864 arasında değiştiğini göstermektedir. Shen vd. (2015) çalışmalarında ABD, Hindistan ve Çin için 1979-2008 dönemine ait verilerden yararlanmışlardır. Bulgular her üç ülkede de emek ile sermaye arasındaki ikame esnekliğinin 0.8 olduğunu göstermektedir. Brockway vd. (2017) çalışmalarında İngiltere, Çin ve ABD için 1980 -2010 dönemine ait verilerden yararlanarak CES üretim fonksiyonuna ait parametreleri tahmin etmişlerdir. Bulgular ele alınan dönemde ikame esnekliklerinin farklılaştığını göstermektedir.

## 2. Ampirik Analiz

### 2.1. Veri Seti

Çalışmada ampirik analiz için, 1982-2014 dönemini kapsayacak şekilde 22'si gelişmiş, 12'si gelişmekte olan toplam 34 ülkeye ait verilerden yararlanılmıştır<sup>†</sup>. Bu çalışma da İnsani Gelişme Endeksi'ne göre ülkelerin ayrımı yapılmış olup, çok yüksek insani gelişme ve yüksek insani gelişme sınıflamasında yer alan ve verilerine ulaşılabilen ülkeler tercih edilmiştir. Bu çerçevede ele alınan ülkeler ve dönem itibari ile en kapsamlı veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada üretim fonksiyonlarında 4 farklı girdi tanımlanmış olup, bunlar sırasıyla sermaye (K), emek (L), doğalgaz tüketimi (GAS) ve petrol tüketimi (PET)'dir. Çıktıyı temsilen ülkelerin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GDP) değerleri kullanılmıştır. Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GDP) ve Sermaye (K) değişkeni 2011 yılı Dolar fiyatları (2011=100) ile reel hale getirilmiştir. Söz konusu değişkenler Penn World Table (PWT) 9.0'dan elde edilmiştir. Emek (L), söz konusu ülkede istidam edilen emek miktarının sayısal değeri olup, PWT 9.0'dan elde edilmiştir. Ülkeler arasındaki emeğin nitelik farklılığını azaltmak için söz konusu değişken yine PWT 9.0'da yer alan Beşeri Sermaye Endeksi<sup>‡</sup> ile çarpılmıştır. Doğalgaz Tüketimi (GAS) ve Petrol Tüketimi (PET), değişkenlerine ait veriler The U.S. Energy Information Administrations (ABD Enerji Bilgi İdaresi) tarafından sunulan International Energy Statistics (Uluslararası Enerji İstatistikleri)'den derlenmiş olup, her iki değişken de petrol eşdeğeri milyon metrik ton olarak alınmıştır. Kullanılan değişkenlerde birim farklılıklarının olması üretim fonksiyonu ve ikame esnekliği katsayısı tahminlerinde bir sorun oluşturmamaktadır. Çünkü ikame esnekliği, kullanılan girdilerin ölçüm birimlerinden bağımsızdır (Koutsoyiannis, 1997, s. 87).

---

<sup>†</sup> Gelişmiş Ülkeler: Arjantin, Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Şili, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Lüksemburg, Yeni Zelanda, Norveç, Polonya, Romanya, İspanya, İsviçre, ABD. Gelişmekte Olan Ülkeler: Arnavutluk, Cezayir, Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kolombiya, Malezya, Meksika, Peru, Tayland, Türkiye, Venezuela.

<sup>‡</sup> PWT 9.0 veri setinde Beşeri Sermaye Endeksi, Barro-Lee (2013) beşeri sermaye endeksine dayanmaktadır. Barro-Lee (2013) beşeri sermaye endeksi, eğitimin getirisini, eğitimin özel/sosyal faydalarını ve işgücünün verimliliğini içermektedir. Bu bağlamda, beşeri sermayeyi hem nicelik hem de nitelik olarak ölçen önemli bir endekstir.



## 2.2. Ampirik Modeller

Çalışmada ampirik analiz gerçekleştirilirken 4 girdili (emek, sermaye, doğalgaz tüketimi ve petrol tüketimi) bir üretim fonksiyonu oluşturulmuştur  $Q = f(K, L, GAS, PET)$ . Cobb-Douglas üretim fonksiyonu için oluşturulan üretim fonksiyonu (1) numaralı denklemden sunulmuştur.

$$GDP = AK^\alpha L^\beta GAS^\gamma PET^\delta \quad (1)$$

Yukarıdaki üretim fonksiyonunu doğrusal formda ifade etmek istersek, her iki tarafın doğal logaritması alınır. Çalışmada iki farklı ülke grubuna ait Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmek için doğrusal panel veri analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu çerçevede (1) numaralı denklemleri tahmin edilecek olan panel veri modeli haline getirecek olursak (2) numaralı modele ulaşırız:

$$\ln GDP_{it} = \varphi + \alpha \ln K_{it} + \beta \ln L_{it} + \gamma \ln GAS_{it} + \delta \ln PET_{it} + u_{it} \quad (2)$$

Bu modellerde değişkenlerin tanımları bir önceki bölümde verilmiştir.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  ve  $\varphi$  tahmin edilecek olan parametreleri vermektedir.  $u_{it}$  ise hata terimidir.

Çalışmada CES Üretim fonksiyonunu tahmin etmek için doğrusal olmayan panel EKK tahmincisinden yararlanılmış olup, optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Söz konusu tahminlerin gerçekleştirilebilmesi için eşitlik (3)'de olduğu gibi CES modeli oluşturulmuştur.

$$GDP_{it} = \gamma e^{\lambda t} \left[ \delta (\delta_1 K_{it}^{-\rho_1} + (1 - \delta_1) L_{it}^{-\rho_1})^{\frac{\rho}{\rho_1}} + (1 - \delta) (\delta_2 GAS_{it}^{-\rho_2} + (1 - \delta_2) PET_{it}^{-\rho_2})^{\frac{\rho}{\rho_2}} \right]^{\frac{v}{p}} \quad (3)$$

$\gamma$ ,  $\delta$ ,  $v$  ve  $\rho$  birer parametredir.  $\gamma$ , bir etkinlik parametresi olup pozitif bir değerdir.  $\delta$ , gelirin fonksiyonel dağılımını belirleyen dağıtım parametresi olup sıfırla bir arasında bir değer almaktadır.  $v$ , ölçek parametresi olup, pozitif bir değer almakla birlikte, birden küçük ise ölçeğe göre değişken getiri, birden büyük ise ölçeğe göre artan getiri ve bire eşit ise ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur.  $\rho$ , ikame esnekliğinin bir dönüşümü olan ikame parametresi olup -1 ile artı sonsuz arasında bir değer alacaktır. Her iki modele, panel veri gruplarında yer alan her bir ülke için Hicks-yansız teknolojik gelişme modeline dayanan bir trend serisi ( $e^{\lambda t}$ ) eklenmiştir. Bu değişkende yer alan  $\lambda$  teknolojik değişim oranını,  $t$  ise zaman değişkenini ifade etmektedir.

## 2.3. Metodoloji

Çalışmada Cobb-Douglas üretim fonksiyonu modelini tahmin etmek için doğrusal panel veri analiz tekniklerinden yararlanırken, CES üretim fonksiyonu modelini tahmin etmek için optimizasyon algoritmalarına dayalı doğrusal olmayan panel veri analiz tekniklerinden yararlanılmıştır. Her iki üretim fonksiyonuna ait modellerin tahminine ilişkin çalışmada kullanılan yöntemler aşağıda ayrı başlıklarda sunulmuştur.

### 2.3.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonunun Tahmini İçin Kullanılan Yöntemler.

Çalışmada Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu tahmin etmek için doğrusal panel veri analiz tekniklerinden yararlanılmış olmakla birlikte, yazında yer alan ekonometrik tekniklerden farklı yöntemler tercih edilmiştir. Bu bağlamda, ülkeler arasındaki bağımlılığının tespiti, Breusch-Pagan (1980), Pesaran (2004) ve Pesaran, Ullah ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testleri ile araştırılmıştır. Breusch-Pagan (1980) tarafından geliştirilen  $CD_{BP}$  testi kesit boyutu sabit, zaman boyutu sonsuza giderken geçerli olup, yokluk hipotezinde “Yatay kesit bağımlılığı yoktur” önermesini sınamaktadır. Pesaran (2004) tarafından geliştirilen  $CD_{LM1}$  testi, zaman ve kesit boyutu sonsuza giderken geçerli olup, yokluk hipotezinde “Yatay kesit bağımlılığı yoktur” önermesini sınamaktadır. Yine Pesaran (2004) tarafından geliştirilen  $CD_{LM}$  testi zaman boyutu sabit ve kesit boyutu sonsuza giderken kullanılmakta olup, diğer testlerle benzer şekilde, “Yatay kesit bağımlılığı yoktur” yokluk hipotezini sınamaktadır. Çalışmada son olarak, Pesaran, Ullah ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilen  $CDLM_{adj}$  testi kullanılmıştır. Bu test, Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen testin düzeltilmiş halidir. Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen  $CD_{BP}$  testi grup ortalaması sıfır ancak bireysel ortalamalar sıfırdan farklı iken sapmalı olmaktadır. Pesaran, Ullah ve Yagamata (2008) söz konusu sapmayı, test istatistiğine varyans ve ortalama dahil ederek düzeltmiştir. Bu testte yokluk hipotezi “Yatay kesit bağımlılığı yoktur” önermesini sınamaktadır.

Çalışmada ele alınan değişkenlerin durağanlığı Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS panel birim kök testi çerçevesinde incelenmiştir. Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF birim kök testi (4) numaralı modelin sınamasına dayanmaktadır.

$$\Delta y_{it} = a_i + b_i y_{it-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \Delta \bar{y}_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Yukarıdaki modelde, birim kök sınaması yapılacak seri için  $\bar{y}_t$ , yatay kesit ortalamasını; ( $\bar{y}_{t-1}, \bar{y}_{t-2}, \dots$ ), yatay kesit ortalamasının gecikmeli değerlerini ve  $\Delta \bar{y}_t$ , genel faktör yapısına

bağlı olarak yatay kesit bağımlılığının dikkate alınmasını sağlayan bir kukla (proxy) olarak regresyon modeline dâhil edilmiştir (Pesaran, 2007, s. 269). Pesaran (2007)'in CADF panel birim kök testinde yokluk hipotezi, “paneli oluşturan her bir yatay kesite ait serinin birim kök içerdiği” önermesini, alternatif hipotez ise “paneli oluşturan yatay kesitlerin belirli bir bölümünün birim kök içermediği” önermesini sınamaktadır (Pesaran, 2007, s. 267-269). (4) numaralı modelde yer alan  $b_i$  katsayıları CADF istatistiğidir. Buradan elde edilen t-istatistikleri Pesaran (2007) tarafından sunulan mevcut kritik değerleri ile karşılaştırılarak her bir yatay kesite ait serinin birim kök içerip içermediğine karar verilir. Panel veri setinin durağan olup olmadığını test etmek için CADF istatistiklerinin ortalaması (5)'de ki eşitlik gibi alınır. Elde edilen değer kesit açısından genişletilmiş IPS (Cross-sectionally augmented IPS-CIPS) test istatistiğidir.

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \sim N(0,1) \quad (5)$$

Elde edilen bu CIPS değerleri Pesaran (2007)'de verilen kritik değerlerle karşılaştırılarak panel veri setinde durağanlık sınaması yapılmaktadır.

Değişkenlere ait eşbütünlüşme katsayılarının homojen mi yoksa heterojen mi olduğunun tespiti için Pesaran ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilen Delta testi kullanılmıştır. Delta (Homojenlik) Testi, Pesaran ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre (6) numaralı modelde verilen  $\beta_i$  eğim katsayılarının, yatay kesitlerin tamamı için geçerli –yani homojen- olup olmadığı sınanmaktadır.

$$Y_{it} = \beta + \beta_i X'_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Delta (Homojenlik) Testi'nde yokluk hipotezi “eğim katsayıları homojendir ( $H_0: \beta_i = \beta$ )” önermesini, alternatif hipotez ise “eğim katsayıları homojen değildir ( $H_0: \beta_i \neq \beta$ )” önermesini sınamaktadır. Pesaran ve Yagamata (2008), Delta (Homojenlik) Testi'nde büyük örneklem (  $\hat{\Delta}$  testi) ve küçük örneklem için ( $\hat{\Delta}_{adj}$  testi) olmak üzere iki farklı test geliştirmiş olup bu testler sırasıyla (7) ve (8)'de verilmiştir.

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left( \frac{N^{-1}S - k}{2k} \right) \sim \chi_k^2 \quad (7)$$

$$\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left( \frac{N^{-1}S - k}{v(T, k)} \right) \sim N(0,1) \quad (8)$$

(7) ve (8)'de yer alan  $N$  yatay kesit sayısını;  $S$ , Swamy (1970) test istatistiğini;  $k$ , modelde yer alan açıklayıcı değişken sayısını ve  $v(T, k)$  standart hatayı ifade etmektedir.

Değişkenler arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen Bootstrap Panel Eşbütünleşme testi ile araştırılmıştır. Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen panel eşbütünleşme testi, McCoskey ve Kao (1998) tarafından geliştirilen Lagrange Çarpanı (LM) testine dayanmaktadır. Westerlund-Edgerton panel eşbütünleşme testinin ilk aşamasında, (9)'da yer alan eşbütünleşme modelinin tam uyarlanmış EKK (FMOLS) tahmincisinden hata terimleri ( $z_{it}$ ) elde edilmektedir.

$$y_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta_i + z_{it} \quad ; \quad z_{it} = u_{i,t} + v_{it} \quad (9)$$

İkinci aşamada LM istatistiği (10)'daki gibi hesaplanmaktadır:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\omega}_i^{-2} S_{it}^2 \quad (10)$$

(10)'da  $S_{it}$ , FMOLS tahmincisinden elde edilen  $z_{it}$ 'nin kısmi toplam sürecini;  $\hat{\omega}_i^2$ ,  $\Delta x_{it}$  üzerine koşullu  $u_{it}$ 'nin uzun dönem varyansıdır. Yokluk hipotezi “bütün yatay kesitler için eşbütünleşme vardır ( $H_0: \sigma_i^2 = 0$ )” önermesini, alternatif hipotez ise “bazı yatay kesitler için eşbütünleşme yoktur ( $H_1: \sigma_i^2 > 0$ )” önermesini sınamaktadır (Westerlund ve Edgerton, 2007, s. 168-187).

Westerlund-Edgerton panel eşbütünleşme testinden elde edilen LM istatistiği panel veri setinin yatay kesit bağımlılığı göstermediği durumda standart normal dağılım özelliği göstermektedir. Ancak yatay kesit bağımlılığı panel veri setinin en önemli özelliği olduğu durumda LM testi standart normal dağılım özelliği göstermemektedir. Westerlund ve Edgerton (2007) böyle bir durumda Sieve yaklaşımı doğrultusunda “bootstrap” yönteminden elde edilen kritik değerlerin kullanılmasını önermişlerdir.

Eşbütünleşme ilişkisine ait uzun dönemli katsayılarının tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada Bond ve Eberhardt (2009) tarafından geliştirilen Arttırılmış Ortalama Grup (AMG) Tahmincisi (Augmented Mean Group Estimator) kullanılmıştır. Bu tahmincinin seçilmesinin nedenlerinden birincisi söz konusu tahmincinin yatay kesit bağımlılığını göz

önünde bulundurmasıdır. İkincisi AMG tahmincisi, çalışmada kullanılan serilerin birinci dereceden farkı alındığında durağan hale geldikleri durumlarda da kullanılabilir. Üçüncü olarak hata teriminden kaynaklı içsellik problemi söz konusu olduğunda da etkin bir tahmincidir. Ayrıca eşbütünleşme katsayılarının heterojen olduğu durum için bireysel yani her bir kesite ait katsayıların yanı sıra, eşbütünleşme katsayılarının homojen olduğu durum için panele ait katsayıları da sunmaktadır. Bireysel eşbütünleşme katsayılarının aritmetik ortalamasını ağırlıklandırarak tahmin ettiği için yazında yer alan diğer tahmincilerden de üstündür.

Bond ve Eberhardt (2009) AMG tahmin sürecini Monte Carlo simülasyonu kullanılarak iki aşamada tartışmış ve test etmiştir. İlk aşama (11)'de gösterilmiş olup, buna göre durağan olmayan ve gözlemlenemeyen değişkenlerin sonuçlarda sapmaya yol açmaması için EKK modeli birinci farklar alınarak kurulmaktadır. Yine birinci farklarda (T-1) adet zaman kukla değişkeni eklenerek model tahmin edilmekte ve zaman kukla değişkenine ait katsayı bu şekilde elde edilmektedir.

$$\Delta y_{it} = b' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \quad \rightarrow \hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t \quad (11)$$

$$y_{it} = \alpha_i + b' x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t + e_{it} \quad \hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i b_i \quad (12)$$

Elde edilen kukla katsayıları (12)'de yer alan modelde yatay kesit bağımlılıklarını içerecek şekilde bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Daha sonra her bir yatay kesit için ayrı ayrı tahmin edilen katsayıların ağırlıklandırılmış ortalaması alınarak AMG tahmincisine ait katsayılar elde edilmektedir.

### 2.3.2. CES Üretim Fonksiyonunun Tahmini İçin Kullanılan Yöntemler.

CES üretim fonksiyonunun yapısına bakıldığında tahmin edilecek olan parametrelerin doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu nedenle CES üretim fonksiyonunu doğrusal hale getirerek tahmin etmek bazı sorunları beraberinde getirebilir. Örneğin Kmenta (1967) yazında “Kmenta Yaklaşımı” olarak bilinen yöntemle CES üretim fonksiyonunu doğrusallaştırarak tahmin etmiştir. Ancak Kmenta (1967) girdi oranı ve ikame esnekliğinin çok yüksek ya da çok düşük olduğu durumda O'nun yönteminin iyi sonuç vermeyeceğini ifade etmiştir. Ayrıca Maddala ve Kadane (1967) ve Thrusby ve Lovell (1978) bu sorunu doğrulamışlar ve “Kmenta Yaklaşımı”

ile CES üretim fonksiyonuna ait parametrelerin tahminlerinin güvenilir sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir.

Fonksiyonel bir form olarak CES üretim fonksiyonu programlama modellerinde (genel denge modelleri gibi) fazla kullanılmasına rağmen, buradan elde edilen parametreler ekonometrik tahminden daha ziyade çoğunlukla tahmin ve sezgiye dayalı bir kalibrasyondur (Henningsen ve Henningsen, 2011, s. 1). Son yıllarda CES üretim fonksiyonunun tahmini için doğrusal olmayan tahmin yöntemleri geliştirildi. Bu yöntemlerden en önemlisi Henningsen ve Henningsen (2011) tarafından R-forge üzerinde “micEcon” projesinin<sup>§</sup> bir parçası olarak geliştirilen “micEconCES” paketi olup, söz konusu paket doğrusal olmayan tahmin yöntemleri için önemli olanaklar sağlamıştır. Çalışmada bu söz konusu YÖNTEM kullanılmış ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için optimizasyon algoritmalarından da yararlanarak doğrusal olmayan panel EKK tahmincisi ile CES üretim fonksiyonuna ait parametreler tahmin edilmiştir.

Söz konusu tahmini gerçekleştirmeden önce değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının varlığı Breusch-Pagan (1980), Pesaran (2004) ve Pesaran, Ullah ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testleri ile araştırılmıştır. Seriler arasında bir yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesi durumunda bu sorunun giderilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada, yatay kesit bağımlılığı  $\bar{q}_t = \frac{\sum_{i=1}^N q_{it}}{N}$  hesaplanır ve t noktasındaki her bir yatay kesit gözleminden çıkartılır. Diğer bir ifade ile her bir kesit zaman ortalamalarından arındırılarak analize dâhil edilir. Böylece yapılan bu dönüşüm Eilat (2009)’a göre seriler arasındaki korelasyonu ortadan kaldırırsa da önemli bir şekilde azaltmaktadır.

Çalışmada, 4 farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışmada kısıtsız optimizasyon için gradyan tabanlı algoritmalarından Newton-type ve Broyden (1970), Fletcher (1970), Goldfarb (1970) ve Shanno (1970) tarafından geliştirilen BFGS Algoritması; kısıtlı optimizasyon için gradyan tabanlı algoritmalarından Byrd vd. (1995) tarafından önerilen BFGS algoritmasının modifiye edilmiş hali olan L-BFGS-B Algoritması; global optimizasyon algoritmalarında da Nelder-Mead (NM) Algoritması (Nelder ve Mead, 1965) kullanılmıştır.

---

<sup>§</sup> <http://r-forge.r-project.org/projects/micecon/>

### 3. Bulgular

Çalışmada analize dâhil edilen 22 gelişmiş, 12 gelişmekte olan ülke için, Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna ait parametrelerin tahminini gerçekleştirmeden önce çalışmada kullanılan değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının varlığı araştırılmış olup, sonuçlar Tablo 1’de sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre, her iki ülke grubunda da tüm değişkenler için çalışmada kullanılan dört testte de “yatay kesit bağımlılığı yoktur” yokluk hipotezi istatistiksel olarak en az %10 düzeyinde anlamlı bir şekilde reddedilmektedir. Bu durumda tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığının olduğu sonucuna ulaşabiliriz. Dolayısıyla değişkenlere ait durağanlık sınaması yapılırken yatay kesit bağımlılığını dikkate alan testlerin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

**Tablo 1.** Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

<i>Gelişmiş Ülkeler</i>				
	<i>CD<sub>BP</sub></i>	<i>CD<sub>LM1</sub></i>	<i>CD<sub>LM</sub></i>	<i>CD<sub>adj</sub></i>
<i>lnGDP</i>	517.166 (0.000)***	13.314 (0.000)***	-1.391 (0.082)*	3.632 (0.000)***
<i>lnK</i>	368.283 (0.000)***	6.387 (0.000)***	-2.085 (0.019)**	1.885 (0.030)**
<i>lnL</i>	348.366 (0.000)***	5.460 (0.000)***	-1.423 (0.077)*	6.264 (0.000)***
<i>lnGAS</i>	385.178 (0.000)***	7.173 (0.000)***	2.984 (0.001)***	10.233 (0.000)***
<i>lnPET</i>	363.821 (0.000)***	6.179 (0.000)***	-2.551 (0.005)***	2.486 (0.006)***
<i>Model</i>	1921.792 (0.000)***	78.663 (0.000)***	16.342 (0.000)***	203.662 (0.000)***
<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>				
	<i>CD<sub>BP</sub></i>	<i>CD<sub>LM1</sub></i>	<i>CD<sub>LM</sub></i>	<i>CD<sub>adj</sub></i>
<i>lnGDP</i>	116.991 (0.000)***	4.438 (0.000)***	-3.620 (0.000)***	6.956 (0.000)***
<i>lnK</i>	150.332 (0.000)***	7.340 (0.000)***	-3.176 (0.001)***	10.832 (0.000)***
<i>lnL</i>	121.249 (0.000)***	4.809 (0.000)***	-3.162 (0.001)***	2.238 (0.009)***
<i>lnGAS</i>	124.541 (0.000)***	5.095 (0.000)***	-1.894 (0.029)**	3.093 (0.001)***
<i>lnPET</i>	105.878 (0.001)***	3.471 (0.000)***	-3.070 (0.001)***	4.173 (0.000)***
<i>Model</i>	353.950 (0.000)***	25.063 (0.000)***	10.103 (0.000)***	49.828 (0.000)***

**Not:** Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Diğer taraftan modellerde yatay kesit bağımlılığının varlığı araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, “yatay kesit bağımlılığı yoktur” yokluk hipotezi her iki ülke grubunda da istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bir şekilde reddedilmektedir. Buna göre değişkenler arasındaki eşbütünlüğün araştırılmasında ve uzun dönem eşbütünlük katsayılarının tahmininde yatay kesit bağımlılığını dikkate alan tahminciler tercih edilmiştir.

Çalışmada değişkenlerin durağanlık özellikleri incelenirken yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS (yani CADF) panel birim kök testi kullanılmış olup, hem sabit hem de trend ve sabit içeren modeller için elde edilen sonuçlar Tablo 2’de özetlenmiştir. Buna göre gelişmiş ülkelerde *lnL* değişkeni sabitli modelde %1 anlamlılık düzeyinde, *lnPET* ise sabitli ve trendli modelde %10 anlamlılık düzeyinde düzeyde

durağan olmasına rağmen,  $\ln L$  sabitli ve trendli modelde,  $\ln PET$  ise sabitli modelde düzeyde durağan değildir. Bununla birlikte diğer değişkenler birinci dereceden farkı alındığında durağan hale gelmektedir. Her ne kadar tüm değişkenlerde düzeyde bir tutarlılık olmasa da gelişmiş ülkelerde tüm değişkenler birinci dereceden farkı alındığında hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde durağan hale gelmektedir. Bu nedenle tüm değişkenleri  $I(1)$  olarak kabul etmek yanlış olmayacaktır. Gelişmekte olan ülkelerde ise tüm değişkenler birinci dereceden farkı alındığında durağan hale gelmektedir. Dolayısıyla geliştirmekte olan ülkelerde tüm değişkenler  $I(1)$  özelliği sergilemektedir. Dolayısıyla seçilecek eşbütünleşme testi ve tahmincisi, hem yatay kesit bağımlılığını hem de değişkenlerin birinci dereceden farkı alındığında durağan hale gelmesi özelliğini dikkate almalıdır.

**Tablo 2.** CIPS Birim Kök Sınaması Sonuçları

	<i>Gelişmiş Ülkeler</i>			
	<i>Sabitli</i>		<i>Sabitli ve Trendli</i>	
	<i>Düzyey</i>	<i>Fark</i>	<i>Düzyey</i>	<i>Fark</i>
<i>lnGDP</i>	-1.515	-3.194***	-1.593	-3.600***
<i>lnK</i>	-1.929	-2.899***	-2.221	-2.875***
<i>lnL</i>	-2.303***	-2.679***	-2.001	-2.747***
<i>lnGAS</i>	-1.486	-4.644***	-1.870	-5.313***
<i>lnPET</i>	-1.759	-5.132***	-2.584*	-5.413***
	<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>			
	<i>Sabitli</i>		<i>Sabitli ve Trendli</i>	
	<i>Düzyey</i>	<i>Fark</i>	<i>Düzyey</i>	<i>Fark</i>
<i>lnGDP</i>	-1.548	-4.319***	-1.933	-4.340***
<i>lnK</i>	-1.799	-2.382***	-2.025	-2.709**
<i>lnL</i>	-1.839	-4.621***	-1.787	-4.847***
<i>lnGAS</i>	-1.400	-4.958***	-2.336	-5.547***
<i>lnPET</i>	-1.243	-4.898***	-2.396	-4.992***

**Not:** Gecikme uzunlukları maksimum 4 olarak alınmıştır. \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. CIPS testi için kritik değerler: Gelişmiş Ülke grubunda sabitli modelde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.04; -2.11 ve -2.23, sabitli ve trendli modelde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.54; -2.61 ve -2.73'dür. Gelişmekte Olan Ülkeler grubunda sabitli modelde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.03; -2.11 ve -2.26, sabitli ve trendli modelde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.56; -2.64 ve -2.81'dir.

Çalışmada eşbütünleşme katsayılarının homojenliği Pesaran ve Yagamata (2008) tarafından geliştirilen Delta (Homojenlik) Testi ile araştırılmış olup, bulgular Tablo 3'de sunulmuştur. Her iki ülke grubu hem büyük örneklem (  $\hat{\Delta}$  testi) hem de küçük örneklem (  $\hat{\Delta}_{adj}$  testi) için verilen test istatistiklerine ait olasılık değerlerine baktığımızda “eğim katsayıları homojendir” yokluk hipotezi reddedilememektedir. Dolayısıyla eşbütünleşme katsayıları homojen olup panel için yorum yapılabileceğini göstermektedir.



**Tablo 3.** Delta (Homojenlik) Testi Sonuçları

<i>Gelişmiş Ülkeler</i>		<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>	
$\hat{\Delta}$	$\hat{\Delta}_{adj}$	$\hat{\Delta}$	$\hat{\Delta}_{adj}$
-2.364 (0.991)	-2.488 (0.994)	0.059 (0.477)	0.064 (0.475)

**Not:** Parantez içerisindeki değerler test istatistiğine ait olasılık değerleridir.

Çalışmada kullanılan modellerde yatay kesit bağımlılığının söz konusu olması ve ele alınan değişkenlerin birinci dereceden farkı alındığında durağan hale gelmesi nedeniyle Westerlund-Edgerton Panel Eşbütünleşme Testi ile değişkenler arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi araştırılmıştır. Westerlund-Edgerton Panel Eşbütünleşme testi yatay kesit bağımlılığının olmadığı durumlarda standart normal dağılım kriterlerini kullanırken, yatay kesit bağımlılığının olduğu durumlarda bootstrap yönteminden elde edilen kritik değerleri kullanmaktadır. Bu çerçevede Westerlund-Edgerton Panel Eşbütünleşme Testi'nden elde edilen sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, “bütün yatay kesitler için eşbütünleşme vardır” yokluk hipotezi istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde reddedilememektedir. Buna göre, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde GSYH ile emek, sermaye, doğal gaz tüketimi ve petrol tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişki söz konusudur.

**Tablo 4.** Westerlund-Edgerton (2007) Panel Eşbütünleşme Testi

<i>Gelişmiş Ülkeler</i>		<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>	
$LM_N^+$	1.771 (0.999)	1.249 (0.999)	

**Not:** Parantez içerisindeki rakamlar bootstrap dağılımından elde edilen olasılık değerlerini göstermekte olup, rapor edilen olasılık değerleri 10000 tekrarlı bootstrap dağılımından elde edilmiştir.

Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin tahmininden sonra hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna ait katsayıların tahmini için kullanılan Arttırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisinden elde edilen sonuçlar Tablo 5'de sunulmuştur.

**Tablo 5.** AMG Tahmin Sonuçları

	<i>Gelişmiş Ülkeler</i>	<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>
<i>lnK</i>	0.377*** [0.078]	0.537*** [0.073]
<i>lnL</i>	0.535*** [0.090]	0.399*** [0.133]
<i>lnGAS</i>	0.063*** [0.023]	0.019 [0.021]
<i>lnPET</i>	0.231*** [0.054]	0.169** [0.080]
<i>Sabit Terim</i>	3.728** [1.588]	1.311 [1.338]
<b>Artık Durağanlığı</b>	I(0)	I(0)
<b>Pesaran CADF</b>	-3.329***	-3.400***
<b>Birim Kök Testi</b>		
<b>RMSE</b>	0.0232	0.0415
<b>Wald <math>\chi^2</math></b>	84.67 (0.000)	68.32 (0.000)
<b>Gözlem Sayısı</b>	726	396
<b>Zaman Boyutu</b>	33	33
<b>Kesit Boyutu</b>	22	12

**Not:** \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. Köşeli parantez içindeki değerler standart hataları, parantez içindeki değerler ise olasılık değerlerini göstermektedir. RMSE; Root Mean Squared Error. CIPS testi için kritik değerler: Gelişmiş Ülkeler grubunda %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.04; -2.11 ve -2.23, Gelişmekte Olan Ülkeler grubunda %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırası ile -2.03; -2.11 ve -2.26 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bulgulara baktığımızda, sermayenin çıktı esnekliği gelişmiş ülke grubunda 0.377 olarak, gelişmekte olan ülke grubunda ise 0.537 olarak tahmin edilmiştir. Bu durum beklentilerimizle paralellik arz etmektedir. Çünkü gelişmiş ülkelerde sermaye kullanım yoğunluğu gelişmekte olan ülkelere göre daha yüksektir. Bu nedenle marjinal verimlilikler düşük, ortalama verimlilikler daha yüksektir. Emegın çıktı esnekliği ise gelişmiş ülke grubunda 0.535, gelişmekte olan ülke grubunda ise 0.399 olarak tahmin edilmiştir. Bu durumda beklentilerle tutarlılık arz etmekte olup, gelişmekte olan ülkelerde emek kullanımı daha yoğun olduğundan marjinal verimlilikler düşük, ortalama verimlilikler daha yüksektir.

Diğer taraftan, doğal gaz tüketimine ilişkin çıktı esneklik katsayısı gelişmiş ülke grubunda 0.063 olarak elde edilmiştir. Tahmin edilen bu katsayıyı gelişmekte olan ülke grubu ile karşılaştırmak istediğimizde, doğal gaz tüketiminin çıktı esnekliği her ne kadar 0.019 olarak elde edilmiş olsa da, istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu nedenle doğal gaz tüketimine ait çıktı esnekliğini gelişmekte olan ülkelerde sıfır olarak kabul edebiliriz. Dolayısıyla gelişmiş ülkelerde doğal gaz tüketim çıktı esnekliği gelişmekte olan ülkelere daha fazladır. Diğer taraftan petrol tüketimi için elde edilen çıktı esneklikleri gelişmiş ülke grubunda 0.231, gelişmekte olan ülke grubunda ise 0.169 olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen bu tahmin beklentilerimizin dışında bir sonuç göstermektedir. Çünkü petrol tüketimi gelişmiş ülkelerde daha yoğun olduğundan petrol tüketimi çıktı esnekliğinin gelişmekte olan ülke grubunda daha düşük çıkması beklenmektedir. Ancak gelişmiş ülkelerde yenilenebilir ve

alternatif enerji kaynaklarına ilişkin araştırma ve yatırımların da daha fazla olduğunu dikkate almak gerekir. Gelişmekte olan ülkelerde ise tam tersine bu yatırımlar yeni görülmeyle beraber hala geleneksel enerji kaynakları yoğun bir şekilde kullanılmakta olup bu kaynakların başında da petrol gelmektedir. Ayrıca ele aldığımız gelişmekte olan ülkelere bazıları (Meksika, Çin, Brezilya ve Venezuela gibi) dünyanın en önemli petrol üreticisi ülkeleridir. Dolayısıyla bu ülkelerde petrol tüketimi de yoğundur. Üretimde enerji kullanımındaki bu yoğunluk nedeniyle gelişmekte olan ülkelere nazaran petrol çıktı esnekliği daha düşük çıkmış olabilir. Her iki ülke grubunda da –sadece anlamlı katsayılara bakacak olsak bile- ölçeğe göre artan getiri geçerlidir.

Diğer taraftan her iki ülke grubunda çıktı esnekliklerinin pozitif ve birden küçük olarak elde edilmesi azalan marjinal verimler yasaının geçerli olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde çıktı esnekliklerinden elde edilen bulguların anlamlı olması girdiler arasında işlevsel olarak bir tamamlayıcılık ilişkisi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla girdilerden birinin kullanım miktarında meydana gelen bir artış, diğer girdinin marjinal verimliliğini arttırmaktadır. Bu hali ile tahmin edilen Cobb-Douglas üretim fonksiyonları teori ile uyumludur.

Çalışmada CES üretim fonksiyonu çerçevesinde oluşturulan model de tahmin edilmiştir. CES üretim fonksiyonu modellerini tahmin etmeden önce değişkenlerde yatay kesit bağımlılığı her iki ülke grubu için de araştırılmıştır\*\*. Elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Bulgulara göre, gelişmiş ülke grubunda tüm değişkenler için  $CD_{BP}$ ,  $CD_{LM1}$  ve  $CD_{LM}$  testlerinde “yatay kesit bağımlılığı yoktur” yokluk hipotezi istatistiksel olarak en az %5 düzeyinde anlamlı bir şekilde reddedilmektedir.  $CD_{adj}$  testinde yokluk hipotezi  $K$  ve  $GAS$  değişkenleri için reddedilememektedir. Ancak diğer üç testte yokluk hipotezinin reddedilmiş olmasına dayanılarak gelişmiş ülke grubunda yer alan değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının olduğu söylenebilir. Gelişmekte olan ülke grubuna baktığımızda ise  $CD_{BP}$ ,  $CD_{LM1}$  ve  $CD_{adj}$  testlerinde “yatay kesit bağımlılığı yoktur” yokluk hipotezi istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bir şekilde reddedilmektedir.  $CD_{LM}$  testinde yokluk hipotezi  $K$  ve  $L$  değişkenleri için reddedilememektedir. Ancak diğer üç testte yokluk hipotezinin reddedilmiş olmasına dayanılarak gelişmekte olan ülke grubunda yer alan değişkenlerde de yatay kesit bağımlılığının olduğu söylenebilir.

---

\*\* Modelde yatay kesit bağımlılığına ilişkin yazına baktığımızda sadece doğrusal modeller için yatay kesit bağımlılığı araştırılmaktadır. Fakat çalışmada CES üretim fonksiyonu tahmini için doğrusal olmayan tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Bu nedenle değişkenlerde yatay kesit bağımlılığı araştırılırken CES üretim fonksiyonu modellerinde yatay kesit bağımlılığının varlığı araştırılmamıştır.

**Tablo 6.** Değişkenlerde Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

<i>Gelişmiş Ülkeler</i>				
	<i>CD<sub>BP</sub></i>	<i>CD<sub>LM1</sub></i>	<i>CD<sub>LM</sub></i>	<i>CD<sub>adj</sub></i>
<b>GDP</b>	399.238 (0.000)***	7.827 (0.000)***	1.689 (0.046)**	9.677 (0.000)***
<b>K</b>	433.678 (0.000)***	9.429 (0.000)***	4.815 (0.000)***	-2.795 (0.997)
<b>L</b>	390.993 (0.000)***	7.441 (0.000)***	3.065 (0.001)***	2.992 (0.001)***
<b>GAS</b>	554.818 (0.000)***	15.065 (0.000)***	3.665 (0.000)***	-1.142 (0.873)
<b>PET</b>	376.735 (0.000)***	6.780 (0.000)***	2.363 (0.009)***	4.280 (0.000)***
<i>Gelişmekte Olan Ülkeler</i>				
	<i>CD<sub>BP</sub></i>	<i>CD<sub>LM1</sub></i>	<i>CD<sub>LM</sub></i>	<i>CD<sub>adj</sub></i>
<b>GDP</b>	125.039 (0.000)***	5.139 (0.000)***	-1.480 (0.069)*	51.245 (0.000)***
<b>K</b>	137.202 (0.000)***	6.197 (0.000)***	0.701 (0.242)	4.974 (0.000)***
<b>L</b>	97.831 (0.000)***	2.771 (0.003)***	-0.124 (0.451)	56.357 (0.000)***
<b>GAS</b>	125.201 (0.000)***	5.153 (0.000)***	-2.245 (0.012)**	8.221 (0.000)***
<b>PET</b>	98.630 (0.006)***	2.840 (0.002)***	-2.714 (0.003)***	3.049 (0.001)***

*Not.* Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesinden dolayı bu sorunun giderilmesi gerekmektedir. Metodoloji kısmında anlatıldığı gibi yatay kesit bağımlılığı,  $\bar{q}_t = \frac{\sum_{i=1}^N q_{it}}{N}$  formülü ile her bir yatay kesitin zaman ortalaması alınır ve  $t$  noktasındaki her bir yatay kesit gözleminden çıkartılır. Böylece Eilat (2009)'ın da ifade ettiği gibi seriler arasındaki korelasyon ortadan kaldırılamasa da yatay kesit bağımlılığı önemli bir şekilde azaltılmıştır. Dolayısıyla CES üretim fonksiyonunun tahmininde bu söz konusu dönüşüm sonucunda elde edilen seriler kullanılmıştır.

CES üretim fonksiyonunun tahmininde elde edilen parametrelerin yorumlanmasında istatistiksel olarak anlamlılık önemli olduğu kadar iktisat teorisi açısından anlamlılık da önem arz etmektedir.  $\delta$ , gelirin fonksiyonel dağılımını belirleyen dağıtım parametresi olup sıfırla bir arasında bir değer almaktadır.  $v$ , ölçek parametresi olup, pozitif bir değer almakla birlikte, birden küçük ise ölçeğe göre değişken getiri, birden büyük ise ölçeğe göre artan getiri ve bire eşit ise ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur.  $\rho$ , ikame esnekliğinin bir dönüşümü olan ikame parametresi olup -1 ile artı sonsuz arasında bir değer alacaktır. Ayrıca  $\lambda$ , teknolojik değişim oranını ifade etmektedir. Son olarak ikame esnekliği  $\sigma$  sıfır ile artı sonsuz arasında yer alması gerekmektedir.

Gelişmiş ülke grubu için CES üretim fonksiyonu için elde edilen tahmin sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Bu model de dört farklı optimizasyon algoritması ile tahmin edilmiş olup, elde edilen tahminlerden yorumlanmaya en uygun yöntem L-BFGS-B optimizasyon algoritmasıdır. Bunun temel nedeni, diğer optimizasyon algoritmalarında istatistiksel olarak anlamlı bulgular olsa dahi iktisat teorisi açısından anlamsız sonuçların bulunmuş olmasıdır. Buna göre Newton-type yönteminde  $\delta_2$  parametresinin negatif, BFGS yönteminde  $\rho_1$  ve  $\rho_2$

parametrelerinin -1'den küçük ve Nelder-Mead yönteminde ise  $\rho_2$  parametresinin -1'den küçük tahmin edilmesi CES üretim fonksiyonunun parametre kısıtlarının dışındadır. Bu nedenle tahminler istatistiksel olarak anlamlı olsalar da iktisadi açıdan anlamlı değildirler.

**Tablo 7.** Gelişmiş Ülkeler İçin CES Üretim Fonksiyonu Tahmin Sonuçları

	<i>Newton-type</i>	<i>BFGS</i>	<i>L-BFGS-B</i>	<i>Nelder-Mead</i>
$\gamma$	5805.0 (0.000)***	10730.0 (0.000)***	5805.0 (0.000)***	5799.0 (0.038)**
$\lambda$	0.010 (0.000)***	0.008 (0.000)***	0.011 (0.000)***	0.014 (0.000)***
$\delta_1$	0.001 (0.637)	0.001 (0.666)	0.002 (0.633)	0.812 (0.115)
$\delta_2$	-0.133 (0.000)***	0.090 (0.159)	0.001 (0.999)	0.178 (0.108)
$\delta$	0.660 (0.000)***	0.710 (0.000)***	0.632 (0.073)***	0.008 (0.804)
$\rho_1$	-0.919 (0.000)***	-2.096 (0.000)***	-0.597 (0.002)***	0.138 (0.645)
$\rho_2$	0.102 (0.287)	-1.417 (0.414)	0.106 (0.999)	-2.190 (0.200)
$\rho$	0.030 (0.891)	1.544 (0.000)***	0.011 (0.966)	-0.667 (0.061)*
$\nu$	1.047 (0.000)***	1.031 (0.000)***	1.021 (0.000)***	0.971 (0.000)***
$\sigma_{K,L}$	12.332 (0.671)	NA	2.484 (0.033)**	0.878 (0.000)***
$\sigma_{G,P}$	0.908 (0.000)***	NA	0.904 (0.999)	NA
$\sigma_{(K,L),(G,P)}$	0.971 (0.000)***	0.393 (0.035)**	0.989 (0.000)***	3.003 (3.207)
$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99
<i>RSE</i>	127147.5	108390.0	131193.2	148948.8

**Not:** Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. RSE, kalıntı standart hatalarıdır.

CES üretim fonksiyonu tahmin edilirken kurulan modelde iki farklı yuvalanma yapısı olduğundan üç adet ikame esnekliği tahmin edilmektedir. Bunlardan birincisi emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliğini ( $\sigma_{K,L}$ ) tahmin eden alt düzey ikame esnekliği olup, 2.484 olarak tahmin edilmiştir. İkincisi doğalgaz tüketimi ile petrol tüketimi arasındaki ikame esnekliği ( $\sigma_{G,P}$ ) olup, 0.904 olarak tahmin edilse de istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla gaz tüketimi ile petrol tüketimi arasında ikame esnekliğinin sıfır olduğu söylenebilir. Yuvalanmış yapılar arasındaki ikame esnekliğine ( $\sigma_{(K,L),(G,P)}$ ) baktığımızda ise 0.989 olarak tahmin edilmiş olup, bu tahmin istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla gelişmiş ülke grubunda yuvalanmış yapılar için ikame esnekliğinin 1'e yakın olması, Yuvalanmış CES üretim fonksiyonunun Cobb-Douglas üretim fonksiyonu formuna dönüşebileceğini ifade edebiliriz. Öte yandan ölçek parametresi ( $\nu$ )'nin tahminininin 1.021 olması sabit getirilere yakın olmakla beraber ölçeğe göre artan getirileri göstermektedir.

Yuvalanmış CES üretim fonksiyonunun gelişmekte olan ülke grubu için tahmin sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Gelişmekte olan ülkeler için de dört farklı optimizasyon algoritması ile tahmin gerçekleştirilmiş olup, elde edilen tahminlerden yorumlanmaya en uygun yöntem L-BFGS-B optimizasyon algoritmasıdır. Bunun temel nedeni, diğer optimizasyon algoritmalarında iktisat teorisi açısından anlamsız sonuçların bulunmuş olmasıdır. Buna göre Newton-type yönteminde  $\delta$  parametresinin 1,  $\rho_1$  ve  $\rho_2$  parametrelerinin -1'den küçük; BFGS yönteminde pozitif olması gereken  $\lambda$  parametresinin negatif ve Nelder-Mead yönteminde ise

$\rho_2$  parametresinin -1'den küçük tahmin edilmesi CES üretim fonksiyonunun parametre kısıtlarının dışındadır. Bu nedenle tahminler istatistiksel olarak anlamlı olsalar da iktisadi açıdan anlamlı olmadığından L-BFGS-B algoritması tahmin sonuçları yorumlanmıştır.

**Tablo 8.** Gelişmekte Olan Ülkeler İçin CES Üretim Fonksiyonu Tahmin Sonuçları

	<i>Newton-type</i>	<i>BFGS</i>	<i>L-BFGS-B</i>	<i>Nelder-Mead</i>
$\gamma$	7278 (0.000)***	1231.000 (0.674)	7278.000 (0.997)	7438.000 (0.999)
$\lambda$	0.006 (0.000)***	<del>0.007 (0.000)***</del>	0.001 (0.847)	0.009 (0.002)***
$\delta_1$	0.001 (0.900)	0.992 (0.000)***	0.182 (0.999)	0.833 (0.999)
$\delta_2$	0.984 (0.000)***	0.756 (0.000)***	0.394 (0.001)***	0.921 (0.000)***
$\delta$	<del>1.000 (0.000)***</del>	0.041 (0.751)	0.914 (0.986)	0.520 (0.999)
$\rho_1$	<del>1.776 (0.021)**</del>	0.690 (0.000)***	0.475 (0.996)	2.032 (0.999)
$\rho_2$	<del>2.200 (0.056)*</del>	-0.748 (0.129)	-0.791 (0.014)**	<del>6.549 (0.044)**</del>
$\rho$	5.990 (0.000)***	-0.394 (0.193)	2.375 (0.000)***	0.966 (0.001)***
$\nu$	0.928 (0.000)***	0.996 (0.000)***	1.107 (0.000)***	1.120 (0.000)***
$\sigma_{K,L}$	NA	0.592 (0.000)***	0.678 (0.988)	0.330 (0.999)
$\sigma_{G,P}$	NA	3.960 (0.608)	4.776 (0.514)	NA
$\sigma_{(K,L),(G,P)}$	0.143 (0.031)**	1.651 (0.045)**	0.296 (0.029)**	0.509 (0.000)***
$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99
$RSE$	159263.9	119148.6	184288.9	193688.4

**Not:** Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir. \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. RSE, kalıntı standart hatalarıdır.

Emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliği ( $\sigma_{K,L}$ ) 0.678 olarak tahmin edilmiş olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir. Benzer şekilde ikincisi doğalgaz tüketimi ile petrol tüketimi arasındaki ikame esnekliği ( $\sigma_{G,P}$ ) olup, 4.776 olarak tahmin edilse de istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yuvalanmış yapılar arasındaki ikame esnekliğine ( $\sigma_{(K,L),(G,P)}$ ) baktığımızda ise 0.296 olarak tahmin edilmiş olup, bu tahmin istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla gelişmekte ülke grubunda yuvalanmış yapılar için ikame esnekliğinin sıfıra yakın olması yuvalanmış yapılar arasında ikame edilebilirliğin zayıf olduğunu göstermektedir. Öte yandan ölçek parametresi ( $\nu$ )'nin tahmininin 1.107 olması ölçeğe göre artan getirileri göstermektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülke grupları için tahmin sonuçlarını karşılaştıracak olursak, yuvalanmış yapılar arasındaki ikame esnekliği ( $\sigma_{(K,L),(G,P)}$ )'nin gelişmiş ülkelerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre her iki ülke grubunda da emek ve sermaye kıtlığı durumunda gaz ve petrol tüketiminin ikame edilmesi şansı daha düşüktür. Başka bir ifade ile emek ve sermaye kıtlığını, doğalgaz ve petrol tüketimini arttırarak gidermek zordur. Bununla birlikte gelişmekte olan ülke grubunda bu ikamenin olabilirliği gelişmiş ülke grubuna göre daha zordur. Dolayısıyla bu yuvalanmış yapılar arasında bir ikame ilişkisinden ziyade bir tamamlayıcılık ilişkisi söz konusudur.

## Sonuç

Bu çalışmanın amacı, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, toplulaştırılmış/makro Cobb-Douglas ve CES üretim fonksiyonlarından hareketle, girdilere ait ikame esnekliklerini ve girdilerin çıktı esnekliklerini tahmin etmek ve bu bağlamda hem ülkeler bazında hem de üretim fonksiyonları bazında karşılaştırmalar yapmak olarak belirlenmiştir. Tahminler gerçekleştirilirken yazındaki çalışmalardan farklı olarak yeni ekonometrik yöntemler tercih edilmiştir. Ayrıca yazındaki diğer çalışmalardan farklı olarak hem ikame esnekliğine odaklanılmış, hem de farklı üretim fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri karşılaştırılmıştır. Bu çerçevede çalışmamız yazında yer alan diğer çalışmalardan farklılaşmıştır. Belirlenen amaç ve çalışmanın yazına katkısı bağlamında çizilen çerçeve doğrultusunda, 1982-2014 dönemine ait verilerle 22 gelişmiş, 12 gelişmekte olan ülke ile oluşturulan ülke grupları çerçevesinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, sermayenin çıktı esnekliği gelişmiş ülke grubunda, gelişmekte olan ülke grubuna göre daha düşük tahmin edilmiştir. Bu durum beklentilerimizle paralellik arz etmektedir. Çünkü gelişmiş ülkelerde sermaye kullanım yoğunluğu gelişmekte olan ülkelere göre daha yüksektir. Bu nedenle marjinal verimlilikler düşük, ortalama verimlilikler daha yüksektir. Emeğin çıktı esnekliği ise gelişmiş ülke grubunda daha yüksek gelişmekte olan ülke grubunda ise daha düşük olarak tahmin edilmiştir. Çalışmada analizi gerçekleştirirken ülkeler arasındaki emeğin verimlilik farklılığını gidermek için emek beşeri sermaye endeksi ile çarpılmıştır. Bu nedenle gelişmiş ülkelerde beşeri sermaye endeksi büyük olacağı için emek kullanım miktarının daha fazla olması sebebiyle çıktı esnekliğinin gelişmiş ülkelere göre daha az olacağı düşünülebilir. Fakat burada ülke grupları oluşturulurken ele alınan ülkelerin özelliklerine de dikkat etmek gerekmektedir. Gelişmekte olan ülke grubunda yer alan 12 ülkeden birisi olan Çin’de emek kullanımının oldukça yoğun olması, gelişmekte olan ülke grubunda çıktı esnekliğinin daha düşük çıkmasına neden olmuş olabilir.

Diğer taraftan, doğal gaz tüketimine ilişkin çıktı esneklik katsayısı gelişmiş ülke grubunda 0.063 olarak elde edilmiştir. Tahmin edilen bu katsayıyı gelişmekte olan ülke grubu ile karşılaştırmak istediğimizde, doğal gaz tüketiminin çıktı esnekliği her ne kadar 0.019 olarak elde edilmiş olsa da, istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu nedenle doğal gaz tüketimine ait tahmin edilen çıktı esnekliğini gelişmekte olan ülkeler için sıfır olarak kabul edebiliriz. Ortaya çıkan bu bulguların en önemli nedeni doğal gazın tüketiminin coğrafi koşullara bağlı olmasıdır. Zira doğal gaz tüketimini arttırabilmek için ülkelerin doğal gaz kaynaklarına yakın olması ya da kendi ülkelerine doğal gaz boru hattının döşenmiş olması gerekmektedir. Bu nedenle,

gelişmekte olan ülkelerde doğal gaz tüketimine ilişkin çıktı esnekliği katsayısı istatistiksel olarak anlamsız çıkmış olabilir.

Bununla birlikte petrol tüketimi için elde edilen çıktı esneklikleri gelişmiş ülke grubunda, gelişmekte olan ülke grubuna göre daha yüksek tahmin edilmiştir. Elde edilen bu tahmin beklentilerimizin dışında bir sonuç göstermektedir. Çünkü petrol tüketimi gelişmiş ülkelerde daha yoğun olduğundan petrol tüketimi çıktı esnekliğinin gelişmekte olan ülke grubunda daha düşük çıkması beklenmektedir. Ancak gelişmiş ülkelerde yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına ilişkin araştırma ve yatırımların daha fazla olduğunu unutmamak gerekir. Gelişmekte olan ülkelerde ise tam tersine bu yatırımlar yeni görülmekle beraber, hala geleneksel enerji kaynakları yoğun bir şekilde kullanılmakta olup, bu kaynakların başında da petrol gelmektedir. Ayrıca ele aldığımız gelişmekte olan ülkelere bazıları (Meksika, Çin, Brezilya ve Venezuela gibi) dünyanın en önemli petrol üreticisi ülkeleridir. Dolayısıyla bu ülkelerde petrol tüketimi de yoğundur. Üretimde enerji kullanımındaki bu yoğunluk nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere nazaran petrol çıktı esnekliği daha düşük çıkmış olabilir. Zira ele aldığımız gelişmiş ülkelerde 1982 yılında ortalama petrol tüketimi 74.37 milyon metrik ton iken, 2014 yılında 83.08 milyon metrik ton olarak gerçekleşmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde ise 1982 yılında ortalama petrol tüketimi 26.41 milyon metrik ton iken, 2014 yılında 88.53 milyon metrik ton olarak gerçekleşmiştir. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere petrol tüketimi gelişmekte olan ülkelerde zaman içerisinde hızla artarken, gelişmiş ülkelerde yatay bir seyir izlemiştir. Dolayısıyla gelişmekte olan ülke grubunda çıktı esnekliğinin daha az çıkması bu durumdan kaynaklanıyor olabilir.

Son olarak, yuvalanmış CES üretim fonksiyonundan elde edilen ikame esnekliği tahminleri, gelişmekte olan ülkelerde emek ve sermaye ile doğalgaz ve petrol tüketimi arasındaki tamamlayıcılık ilişkisinin, gelişmiş ülkelere daha fazla olduğunu göstermektedir. Bulgular Cobb-Douglas tahminlerinde yer alan çıktı esnekliklerine ilişkin tahminlerle de tutarlılık göstermektedir. Bu durum gelişmekte olan ülkelere ele alınan dönemde geleneksel enerji kaynaklarının kullanımının giderek artış içinde olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü gelişmiş ülkeler geleneksel enerji kaynaklarına ek olarak, alternatif enerji kaynaklarına özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Dolayısıyla gelişmekte olan ülkelerinde bu yüksek tamamlayıcılık ilişkisini azaltmak yani yuvalanmış CES üretim fonksiyonunda yer alan ikame esnekliğini arttırmak için geleneksel enerji kaynakları kullanımını azaltmalı ve alternatif enerji kaynaklarına özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelidirler. Bu doğrultuda, güneş enerjisi başta olmak üzere, -imkânlar ve



koşullar dâhilinde- rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, gel-git ve akıntı enerjisi, hidroelektrik santralleri, hidrojenle çalışan araçlar ve dalga enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarına ilişkin altyapı yatırımlarına ağırlık verebilirler.

Tüm bu bulgular neticesinde, gelişmiş ülkelerde emek ile sermaye arasındaki ikamenin gelişmekte olan ülkelere daha kolay olduğunu ifade edebiliriz. Buna göre gelişmekte olan ülkelere sermayenin emek yerine kolaylıkla geçmemesinin en önemli nedeni olarak sermayenin gelişmiş ülkelere göre daha maliyetli olmasından kaynaklandığını belirtebilir. Bu durum Cobb-Douglas üretim fonksiyonundan elde edilen çıktı esneklikleri bulguları ile de tutarlıdır. Hatırlanacağı üzere sermayenin çıktı esnekliği gelişmiş ülkelere gelişmekte olan ülke grubuna göre daha düşük elde edilmişti. Bu bulgu da göstermektedir ki gelişmiş ülkelere sermaye kullanımını gelişmekte olan ülkelere göre daha fazladır. Benzer şekilde, emeğin çıktı esnekliği gelişmekte olan ülkelere daha düşük tahmin edilmişti. Bu durum bize emek faktörünün gelişmekte olan ülkelere daha fazla kullanıldığını göstermektedir. Dolayısıyla emek kullanımını gelişmekte olan ülkelere daha fazla iken, sermaye kullanımını gelişmiş ülkelere daha fazla olmaktadır.

Bu noktada gelişmekte olan ülkeler emek yerine sermaye kullanımını arttırmaya yönelik politikalar izleyebilirler. Dolayısıyla, sermaye maliyetlerini düşürmeleri önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda Ar-Ge harcamalarına önem verebilirler ve düşük maliyetli sermaye üretimine ilişkin altyapı yatırımlarını güçlendirebilirler. Bunun yanı sıra teknoloji transferi için ortam hazırlayarak gelişmiş ülkelere teknoloji transferine ağırlık verebilirler. Böylelikle sermaye maliyetleri azaltılarak, emek yerine sermaye kullanımının önünü açabilir ve ikame esnekliklerini arttırabilirler.

## Kaynakça

- Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B. S., and Solow, R. M. (1961). "Capital-labor substitution and economic efficiency". *The Review of Economics and Statistics*, 43(3), 225-250.
- Blundell, R., and Bond, S. (2000). "GMM estimation with persistent panel data: An application to production functions". *Econometric Reviews*, 19(3), 321-340.
- Breusch, T. S., and Pagan, A. R. (1980). "The lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics". *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Brockway, P. E., Saunders, H., Heun, M. K., Foxon, T. J., Steinberger, J. K., Barrett, J. R., and Sorrell, S. (2017). "Energy rebound as a potential threat to a low-carbon future: Findings from a new energy-based national-level rebound approach". *Energies*, 10(1), 1-24.
- Broyden, C. G. (1970). "The convergence of a class of double-rank minimization algorithms". *Journal of the Institute of Mathematics and Its Applications*, 6, 76-90.
- Byrd, R., Lu, P., Nocedal, J. and Zhu, C. (1995). "A limited memory algorithm for bound constrained optimization". *SIAM Journal for Scientific Computing*, 16, 1190-1208.
- Cantos, P., Gumbau- Albert, M., and Maudos, J. (2005). "Transport infrastructures, spillover effects and regional growth: Evidence of the Spanish case". *Transport Reviews*, 25(1), 25-50.
- Chikabwi, D., Chidoko, C., and Mudzingiri, C. (2017). "Manufacturing sector productivity growth drivers: Evidence from SADC member states". *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 9(2), 163-171.
- Chow, G. C., and Li, K. W. (2002). "China's economic growth: 1952–2010". *Economic Development and Cultural Change*, 51(1), 247-256.
- Cobb, C. W., and Douglas, P. H. (1928). "A theory of production". *The American Economic Review*, 18(1), 139-165.
- Çermikli, A. H., ve Tokatlıoğlu, İ. (2015). "Yüksek ve orta gelirli ülkelerde teknolojik gelişmenin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi". *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(32), 1-22.
- Duffy, J., and Papageorgiou, C. (2000). "A cross-country empirical investigation of the aggregate production function specification". *Journal of Economic Growth*, 5(1), 87-120.
- Eberhardt, M. and Bond, S. (2009). *Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator*. Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2017, <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/17692/>
- Fang, Y. (2011). "Economic welfare impacts from renewable energy consumption: The china experience". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5120-5128.
- Fletcher, R. (1970). "A new approach to variable metric algorithms". *Computer Journal*, 13, 317-322.

- Goldfarb, D. (1970). "A family of variable metric updates derived by variational means". *Mathematics of Computation*, 24, 23-26.
- Henningsen, A. and Henningsen, G. (2011). "Econometric estimation of the "constant elasticity of substitution" function in R: Package micEconCES". *Institute of Food and Resource Economics*, Working Paper, No. 2011/9.
- Inglesi-Lotz, R. (2016). "The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application". *Energy Economics*, 53, 58-63.
- Kemfert, C. (1998). "Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany". *Energy Economics*, 20(3), 249-264.
- Kmenta, J. (1967). "On estimation of the CES production function". *International Economic Review*, 8(2): 180-189.
- Koesler, S. and Schymura, M. (2012). "Substitution elasticities in a CES production framework an empirical analysis on the basis of non-linear least squares estimations". *Centre for European Economic Research*, No. 12-007.
- Leontief, W. (1951). *Input-Output Economy*. New York: Oxford University Press.
- Li, K. W. and Liu, T. (2011). "Economic and productivity growth decomposition: An application to post-reform China". *Economic Modelling*, 28(1), 366-373.
- Maddala, G. S. and Kadane, J. B. (1967). "Estimation of returns to scale and the elasticity of substitution". *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 35(3/4), 419-423.
- McCoskey, S. and Kao, C. (1998). "A residual-based test of the null of cointegration in panel data". *Econometric Reviews*, 17(1), 57-84.
- Nelder, J. A. and Mead, R. (1965). "A simplex algorithm for function minimization". *Computer Journal*, 7, 308-313.
- Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross section dependence in panels*. Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2017, <http://www.dspace.cam.ac.uk/bitstream/1810/446/1/cwpe0435.pdf>
- Pesaran, H. M. (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. and Yamagata, T. (2008). "Testing slope homogeneity in large panels". *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Pesaran, M. H., Ullah, A. and Yamagata, T. (2008). "A bias- adjusted LM test of error cross-section independence". *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Sato, R. (1970). "The estimation of biased technical progress and the production function". *International Economic Review*, 11(2), 179-208.
- Shahiduzzaman, M. and Alam, K. (2014). "Information technology and its changing roles to economic growth and productivity in Australia". *Telecommunications Policy*, 38(2), 125-135.

- Shanno, D. F. (1970). "Conditioning of quasi-Newton methods for function minimization". *Mathematics of Computation*, 24, 647-656.
- Shen, K. and Whalley, J. (2013). "Capital-labor-energy substitution in nested CES production functions for China". *National Bureau of Economic Research*. No. w19104.
- Shen, K., Wang, J. and Whalley, J. (2015). "Measuring changes in the bilateral technology gaps between China, India and the US 1979-2008". *National Bureau of Economic Research*. No. w21657.
- Söderbom, M. and Teal, F. (2004). "Size and efficiency in African manufacturing firms: evidence from firm-level panel data". *Journal of Development Economics*, 73(1), 369-394.
- Swamy, P. A. (1970). "Efficient inference in a random coefficient regression model". *Econometrica*, 38(2), 311-323.
- Tronconi, C. and Marzetti, G. V. (2011). "Organization capital and firm performance. empirical evidence for european firms". *Economics Letters*, 112(2), 141-143.
- Thursby, J. G. and Lovell, C. K. (1978). "An investigation of the Kmenta approximation to the CES function". *International Economic Review*, 19(2), 363-377.
- Wakelin, K. (2001). "Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms". *Research Policy*, 30(7), 1079-1090.
- Westerlund, J. and Edgerton, D. L. (2007). "A panel bootstrap cointegration test". *Economics Letters*, 97(3), 185-190.
- Van der Werf, E. (2008). "Production functions for climate policy modeling: An empirical analysis". *Energy Economics*, 30(6), 2964-2979.