



# JOEEP

Journal Homepage: <http://dergipark.org.tr/joep>



## Araştırma Makalesi • Research Article

### Enerji- Sermaye Arasındaki Değişken İkame Esnekliğinin Ekonomik Büyüme Etkisi\*

#### The Effect of Variable Elasticity of Substitution Between Energy and Capital on Economic Growth

Reyhan Demir Onay<sup>a</sup>, \*\* & Celil Aydın<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 10200, Bandırma/Türkiye  
ORCID: 0000-0002-4984-1463

<sup>b</sup> Doç. Dr., Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, 10200, Bandırma/Türkiye  
ORCID: 0000-0002-0398-9884

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 30 Haziran 2021

Düzeltilme tarihi: 3 Ağustos 2021

Kabul tarihi: 4 Ağustos 2021

##### Anahtar Kelimeler:

Ekonomik Büyüme

Enerji Tüketimi

İkame Esnekliği

VES Üretim Fonksiyonu

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received: June 30, 2021

Received in revised form: August 3, 2021

Accepted: August 4, 2021

##### Keywords:

Economic Growth

Energy Consumption

Elasticity of Substitution

VES Production Function

#### ÖZ

Bu araştırmada, 58 ülkenin 1975-2017 yıllarına ait verileri kullanılarak enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliğinin ekonomik büyüme olan etkisi incelenmiştir. İkame esnekliği hesaplamaları için iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu doğrusal olmayan En Küçük Kareler regresyon yöntemi ile tahmin edilerek Solow büyüme modeli çerçevesinde analiz edilmiştir. Analiz bulguları, enerji ile sermaye arasında ikame ilişkisinin değil tamamlayıcılık ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Tamamlayıcılık ilişkisi şunu göstermektedir; sermaye birikiminin sağlanabilmesi ve dolayısıyla uzun dönemli ekonomik büyümenin sürdürülebilmesi için sermaye stokunun ve enerji tüketiminin birlikte artırılması gerekmektedir. Bu açıdan elde edilen tahmin sonuçları, sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlamak ve aynı zamanda enerji tüketimini azaltmak üzere uygulanan iktisadi politikalar için büyük önem arz etmektedir.

#### ABSTRACT

In this research, the effect of elasticity of substitution between energy and capital to economic growth was analyzed by using the data of 58 countries from the years 1975-2017. For the elasticity calculations, nested VES production function is estimated through non-linear Least Square regression method and is analyzed within the scope of Solow growth model. Analysis findings indicates that instead of a substitution relationship, there is a complementary relationship between energy and capital. Complementary relationship indicates the following; a conjunct increase of capital stock and energy consumption is necessary in order to achieve the capital accumulation and sustainable long-run economic growth. To this end, estimation findings are of vital importance in terms of attaining sustainable economic growth and economic policies that are being implemented with a view of mitigating energy consumption.

## 1. Giriş

Enerji, sürdürülebilir büyümenin ekonomik ve sosyal boyutlarının tümü ile yakından ilişkili olup, aynı zamanda iç ve dış politikaların şekillenmesinde son derece önemli bir parametredir. Ülkeler açısından sağlıklı ve sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması ve bunun yanında

ekonomiyi oluşturan bireylerin yaşam kalitesinin ve refah düzeyinin yükselmesi, üretimin ve üretim artışının istikrarlı bir yapı izlemesine bağlıdır. İstikrarlı bir ekonominin tesisi için ise enerji kaynaklarına ihtiyaç olduğu kadar, bu kaynakların etkin ve verimli kullanımı da büyük önem arz etmektedir (Aydın vd., 2018). Aksi halde enerji girdisinin temininde ya da fiyatında yaşanabilecek olası sıkıntılar,

\* Bu çalışma Reyhan Demir tarafından hazırlanan Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi'nde Doç.Dr. Celil Aydın danışmanlığında yürütülmüş olan "VES Üretim Fonksiyonu ile Enerji, Enerji Yoğunluğu, İkame Esnekliği ve İktisadi Büyüme" isimli doktora tezinden türetilmiştir.

\*\* Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: [reyhanonay@ogr.bandirma.edu.tr](mailto:reyhanonay@ogr.bandirma.edu.tr)

Atıf/Cite as: Demir Onay, R., & Aydın, C. (2021). Enerji- Sermaye Arasındaki Değişken İkame Esnekliğinin Ekonomik Büyüme Etkisi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(2), 196-204.

e-ISSN: 2651-5318. © 2021 TÜBİTAK ULAKBİM DergiPark ev sahipliğinde. Her hakkı saklıdır. [Hosting by TÜBİTAK ULAKBİM JournalPark. All rights reserved.]

üretim hacminin düşmesine, refah kaybına ve istikrarlı bir büyümenin sağlanamamasına yol açabilmektedir (Esen, 2016). Bir ekonomide enerji ihtiyacı hâsıl olduğunda enerji temin edilen herhangi bir kaynaktan ileri gelebilecek muhtemel bir azalma, tükenme ya da kesilme gibi problemlerin ortaya çıkmasına karşı önlemlerin alınması ve çalışmaların yapılması ekonomik, sosyal ve siyasi istikrarın temini için büyük önem arz etmektedir.

Enerji, sermaye ve iş gücü gibi üretim faktörleriyle birlikte, istikrarlı bir büyümenin temel girdilerinden biridir. Büyümek isteyen ülkeler, sermaye ve işgücünün yanı sıra; enerjiye yapılan yatırımlar da büyük önem arz etmektedir (Esen ve Bayrak, 2017). Dolayısıyla ülkelerin yıllık enerji maliyetleri, enerji tüketim miktarı, üretimdeki enerji yoğunluğu gibi unsurlar kalkınma planlarında giderek daha stratejik bir öneme sahiptir. Örneğin, fosil yakıt fiyatlarındaki dengesizlikler enerji maliyetlerine doğrudan etki ederek, ülkelerin üretim miktarlarını kırılğan hale getirebilmektedir. Bu sebeple, özellikle üretimde enerjiyi yoğun kullanan ve özellikle enerjide dışa bağımlılığı yüksek ülkeler için enerji arz güvenliği ulusal güvenlik kadar dikkat edilmesi gereken oldukça önemli bir mesele haline gelmektedir.

Günümüzde bu kadar önem atfedilen enerjinin sermaye veya iş gücüyle ikame edilip edilemeyeceği birçok iktisadi çalışmanın odağı haline gelmiştir. İkame esnekliği genel anlamda, bir ekonomik sistemde bir girdinin diğerini ikame edilebilir derecesinin bir göstergesidir. Yüksek ikame esnekliği, girdilerin birbirlerini rahatlıkla ikame edilebilirliğini gösterir. Dolayısıyla enerjinin temininde sorunların yaşandığı ya da fiyat artışlarının gözlemlendiği dönemlerde enerji, sermaye ile ikame edilebilirse, bu koşullarda daha fazla sermaye ile daha fazla üretim sağlanırken enerjinin daha az kullanılması mümkündür (Fiorito ve van den Bergh, 2016). Enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin kullanılması, bir ekonominin enerjideki fiyat dalgalanmalarına karşı duyarlılığının azaltılmasına ve toplam üretim verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Üretici teorisi bağlamında, enerji tasarruflu teknolojinin benimsenmesi, enerji yerine sermayenin ikame edilmesini temsil eder (Kim ve Heo, 2013).

İkame esnekliği parametresinin katsayı işareti ise girdiler arasında ikame ya da tamamlayıcılık ilişkisinin olup olmadığını göstermektedir. Enerji kaynaklarının diğer üretim faktörleriyle ikamesi ve ikame esnekliğinin sayısal büyüklüğü ekonominin uzun vadeli büyüme potansiyeli konusunda kritik bir öneme sahiptir (Chichilnisky ve Heal, 1983). Enerjinin diğer üretim faktörleriyle ikame ilişkisi yerine tamamlayıcılık ilişkisine sahip olması; enerjide dışa bağımlı bir ülke için büyüme konusunda riskler oluşturmaktadır (Stern, 2010).

Üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin bilinmesi ekonomik büyümenin kısa ve uzun dönemli tahminleri açısından da oldukça önemlidir. Örneğin, Klump ve la Grandville (2000), yapmış oldukları çalışmada daha yüksek ikame esnekliğinin daha yüksek bir kişi başı gelir düzeyi

sağlayacağını göstermişlerdir. Yüksek ikame esnekliğinin ayrıca kişi başı gelirden daha yüksek bir durağan durum dengesine ulaşmayı sağladığını da belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada Daniels ve Kakar (2017), işgücüne beşerî sermayeyi dâhil ederek, işgücü ve sermaye arasındaki ikame esnekliklerinin büyümeyi nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda, üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliği arttıkça etkin işçi başına düşen gelir için daha yüksek bir durağan durum dengesine ulaşılacağını ortaya koymuşlardır.

Üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin tahmin edilmesinde, hangi üretim fonksiyonundan yararlandığı önem arz etmektedir. Literatürde, üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin tahmin edilmesinde yoğunlukla üç üretim fonksiyonu üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu'dur. Bu üretim fonksiyonu Charles W. Cobb ve Paul Douglas (1928) tarafından geliştirilmiştir. Fonksiyonun asıl amacı ikame esnekliklerinin hesaplanması olmasa da fonksiyon oluşturulurken faktörler arası ikame esnekliklerinin 1'e eşit olması bu çalışma için önemlidir. Üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin hesaplanmasında kullanılan ikinci üretim fonksiyonu ise Sabit İkame Esneklikli (Constant Elasticity of Substitution- CES) üretim fonksiyonudur. Bu fonksiyon Arrow vd. (1961) tarafından fiziki sermaye stoku ile işgücü arasındaki ikame esnekliğinin hesaplanması amacıyla türetilmiştir. Bu üretim fonksiyonunun temel varsayımı, üretim faktörleri arasındaki ikame esneklik katsayılarının sabit olması fakat aynı zamanda birden farklı olmasıdır. Dolayısıyla farklı endüstrilerde ve farklı ülkelerde faktörler arasındaki ikame esneklikleri farklı sonuçlar verebilmektedir. İkame esnekliklerinin hesaplanmasında kullanılan üçüncü üretim fonksiyonu ise Değişken İkame Esneklikli (Variable Elasticity of Substitution – VES) üretim fonksiyonudur. VES üretim fonksiyonu Revankar (1971a) tarafından geliştirilmiştir. Bu üretim fonksiyonunun diğerlerinden farkı, faktörler arası ikame esnekliğinin faktör kullanım oranlarına göre değişkenlik göstermesidir. Bu sebeple VES üretim fonksiyonu yardımıyla tahmin edilen esneklik katsayıları gerçeğe daha yakındır. Literatürde VES üretim fonksiyonu kullanılarak yapılan çalışmalar, Cobb-Douglas ve CES üretim fonksiyonu yardımı ile yapılan çalışmalara göre çok daha kısıtlı ve yakın tarihlidir. Ayrıca her iki grupta da sermaye ve işgücü arasındaki ikame esnekliğini araştıran çalışmalar yoğunken; enerjinin dahil edildiği çalışmalar azınlıktadır. Bu çalışmada, enerji ve sermaye arasındaki ikame esneklik katsayı iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu yardımıyla Solow büyüme modeli çerçevesinde hesaplanacaktır. Analizde doğrusal olmayan EKK modeli kullanılacaktır. Dolayısıyla doğrusal olmayan VES üretim fonksiyonu, doğrusal olmayan bir model ile hesaplanacaktır. Böylece elde edilen bulgular gerçeğe daha yakın olması öngörülmektedir.

Bu araştırmanın literatüre iki açıdan katkı sağlaması amaçlanmaktadır. Çalışmanın ilk katkısı, benimsenen ampirik yöntemin, modelin ve değişkenlerin avantajları ile

ilgilidir. Burada, iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonunun kullanılması, enerjinin analize dahil edilmesi ve doğrusal olmayan EKK modelinden yararlanılarak enerji tüketimi ve büyüme arasındaki ilişkinin Solow büyüme modeli çerçevesinde incelenmesidir. İkincisi ise, seçilen ülke grubunun ve analize dahil olan dönem aralığının diğer çalışmalara göre daha kapsamlı olmasıdır.

Bu amaçlar doğrultusunda ilk bölümde enerji tüketimi ve büyüme arasındaki ilişkide faktörler arası ikame esnekliğinin önemi vurgulanmıştır. İkinci bölümde literatürdeki diğer çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu hakkında teorik bir çerçeve sunulmuştur. Dördüncü bölümde metodolojiye ve veri setine yer verilmiştir. Beşinci bölümde 1975-2017 dönemi için 58 ülkenin sermaye ve enerji arasındaki ikame esneklikleri tahmin edilmiştir. Son olarak, analize ait bulgular değerlendirilerek politika önerileri sunulmuştur.

## 2. Literatür

Literatürde, üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin tahmin edilmesinde Cobb-Douglas, CES ve VES olmak üzere üç üretim fonksiyonu kullanılarak yapılan birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar özetle iki bölüme ayrılabilir; a) Cobb-Douglas ve CES üretim fonksiyonu kullanılarak yapılan çalışmalar ve b) VES üretim fonksiyonu kullanılarak yapılan çalışmalar. İlk grubu kabaca sabit ikame esneklikli üretim fonksiyonları ile yapılan, ikinci grubu ise sabit olmayan-değişken ikame esneklikli üretim fonksiyonu kullanılarak yapılan çalışmalar olarak adlandırabilir.

Cobb ve Douglas'ın (1928) çalışmasının ardından, Bronfenbrenner ve Douglas (1939) ile Gunn ve Douglas (1941) ABD'de yer alan firmalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda emeğin ve sermayenin çıktı esnekliklerini regresyon analizleri kullanarak ölçmüşlerdir. Bilindiği üzere emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliği Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda bire eşittir. Dolayısıyla bu çalışmalarda iki üretim fonksiyonu arasındaki ikame esneklikleri hesaplanmamıştır. Fakat bulgular, iki çalışmada da sermayenin yoğun kullanıldığı sektörlerde emeğin çıktı esnekliğinin yüksek olduğunu göstermiştir. Daha sonra Smith (1945), Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu kullanarak girdiler ve çıktılar arasındaki ikame esnekliğini Kanada'daki Otomobil Endüstri'si için analiz etmiştir. Smith, yapmış olduğu çalışmada, doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemi kullanarak önceki çalışmalardan farklılaşmıştır. Arrow vd. (1961) emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliklerini 19 farklı ülkeye ait farklı endüstriler için analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada analiz yöntemi olarak En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın önemi CES üretim fonksiyonunun tanıtıldığı çalışma olmasıdır. Dolayısıyla elde edilen bulgular, sermaye ve emek arasındaki ikame esnekliğinin 1 olmadığını ve 1'den küçük sabit bir sayı olduğunu göstermiştir. Sato (1967), "A Two-Level Constant-Elasticity-of-Substitution Production

Function" adlı çalışmasında CES üretim fonksiyonunu iki aşamalı hale getirmesi, literatüre farklı bir boyut katmıştır. Böylece emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliklerinin yanı sıra diğer üretim faktörleri arasındaki ikame esneklikleri de hesaplanabilir hale gelmiştir. Bu çalışmanın ardından Kemfert (1998), Van der Werf (2008), Shen ve Whalley (2013), Brockway vd. (2017) gibi çalışmalar, iki aşamalı (iç içe geçmiş) CES üretim fonksiyonunu kullanarak; emek, sermaye ve enerji arasındaki ikame esnekliklerini hesaplamışlardır. Böylece sadece emek ve sermaye girdisi değil, aynı zamanda enerji girdisi de analizlere dahil edilmiştir. Yapılan çalışmalarda endüstri bazlı verilerin yanı sıra ülkelere ait makro veriler de kullanılmıştır. Klump ve la Grandville (2000) ise, CES üretim fonksiyonunu neo-klasik büyüme modellerinden olan Solow büyüme modeli çerçevesinde incelemiştir. Analiz sonuçları, sermaye ve işgücü arasındaki daha yüksek bir ikame esnekliğinin daha yüksek kişi başı gelir sağladığını göstermiştir. Dolayısıyla ikame esnekliğinin ekonomik büyümedeki etkisi açısından bu çalışma önemlidir. Bir diğer çalışmada Mallick (2012), ekonomik büyüme ve ikame esneklikleri arasındaki ilişkiyi bir adım daha ileriye götürmüştür. Çalışmada, dışsal büyüme modelleri kullanılarak; sermaye ve işgücü arasındaki ikame esnekliğindeki değişimin ekonomik büyümeyi nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırmada, Solow-CES ve Ramsey-CES büyüme modelleri-üretim fonksiyonları çerçevesinde 112 ülkenin verilerini kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, durağan durum dengesinin varlığının ve dengeli büyüme yolunun ikame esneklik değerine bağlı olduğunu göstermiştir.

VES üretim fonksiyonu bağlamında literatür ise Revenkar'ın (1971a) değişken ikame esneklikli – VES üretim fonksiyonunu geliştirdiği çalışma ile başlamaktadır. VES üretim fonksiyonu, CES üretim fonksiyonunu özel bir hali olarak ele alınmıştır. Çalışmada, 1957 yılı için 12 imalat sanayi verileri kullanılmıştır. Analiz sonuçları, 12 sanayiden 5'i için VES üretim fonksiyonunun Cobb-Douglas üretim fonksiyonundan daha uygun olduğunu göstermiştir. Revenkar (1971b) aynı yıl yaptığı bir diğer çalışmada, 1929-1953 yılları arasındaki tarım dışı özel sektör verileri ile VES üretim fonksiyonu kullanarak sermaye-işgücü arasındaki ikame esnekliğini analiz etmiştir. Sonuçlara göre ikame esnekliği, üretim faktörlerinin göreceli kullanım oranlarına göre farklılık göstermektedir. Bairam (1989), II. Dünya Savaşı öncesi Japonya ekonomisi için yaptığı çalışmada, verileri hem Cobb-Douglas hem de VES üretim fonksiyonları ile analiz etmiştir. Bulgular, sermaye ve işgücü arasındaki ikame esnekliğinin birden büyük olduğunu ve artan bir trend izlediğini göstermiştir. Buna göre sermaye artışı ikame esnekliğini artırmıştır. Karagiannis vd. (2005), VES üretim fonksiyonunu Solow büyüme modeli çerçevesinde ele almışlardır. Çalışmada 82 ülkenin 1960-1987 yılları arasındaki verileri kullanılarak sermaye ve işgücü arasındaki esneklik EKK yöntemi ile tahmin edilmiştir. Lazkano ve Pham (2016), Karagiannis vd.'nin çalışmalarından yola çıkarak; iç içe geçmiş VES

üretim fonksiyonunu Solow büyüme modeli çerçevesinde incelemiştir. Bu çalışmanın en önemli özelliği, iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonunun ilk defa kullanılmasıdır. Çalışmada ülkeler gelir gruplarına göre ayrılarak, sermaye, enerji ve işgücü arasındaki ikame esneklikleri lineer olmayan EKK yöntemiyle hesaplanmıştır. Böylece doğrusal olmayan bir üretim fonksiyonu doğrusal olmayan bir model ile hesaplanmıştır. Araştırma sonunda, sermaye-enerji arasındaki ikame esnekliğinin artması durumunda ekonomik büyümenin hızlanacağı vurgulanmıştır. Altunç ve Yıldırım (2020) ise enerji türleri, sermaye ve işgücü arasındaki ikame esnekliklerini iç içe geçmiş VES modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Analize konu olan OECD ülkeleri ise gelir gruplarına göre ayrılmamışlardır. Çalışma sonucunda petrol, doğalgaz ve birincil enerji kaynaklarının sermayenin tamamlayıcısı konumunda olduğu belirtilmiştir.

### 3. Model

Değişken İkame Esneklikli (Variable Elasticity of Substitution – VES) üretim fonksiyonu Revankar (1971) tarafından geliştirilmiştir. VES üretim fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte sunulmaktadır:

$$Q = AK_t^{\alpha v} [L_t + (b\alpha K_t)]^{(1-\alpha)v} \quad (1)$$

(1) numaralı fonksiyonda Q, A, L, K,  $\alpha$ , v, b, sembollerini sırasıyla çıktı miktarını, toplam faktör verimliliğini, işgücünü, fiziki sermaye stokunu, üretim sürecinde sermaye stokunun işgücüne göre dağılımını, ölçüğe göre getiriye ve ikame esneklik parametresini belirtmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, faktörler arası kullanım oranının ikame esnekliğini etkilemesidir. Dolayısıyla ikame esnekliği sabit değil değişkendir. VES üretim fonksiyonu bu özelliği ile diğerlerinden ayrılmaktadır.

Bu çalışmada iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu kullanılacağı için üretim fonksiyonu yeni bir forma dönüştürülecektir. Üretim girdileri olarak fiziki girdi (P), fiziki sermaye (K), işgücü (L), Enerji (E) içeren ve iki aşamadan oluşan üretim fonksiyonu denklem (2) ve (3) ile ifade edilebilir. Y, P, L ve E zamana bağlı değişkenlerdir, fakat denklemleri basitleştirmek için zaman indisi denklemlerden çıkarılmıştır.

$$Y = f(P, L), \quad Y = AP^{\alpha_1 v_1} (L + b_1 \alpha_1 P)^{(1-\alpha_1)v_1}, \quad (2)$$

$$P = q(K, E), \quad P = K^{\alpha_2 v_2} (E + b_2 \alpha_2 K)^{(1-\alpha_2)v_2} \quad (3)$$

Yukarıdaki fonksiyonlar VES üretim fonksiyonuna yerleştirildiğinde iki aşamalı (iç içe geçmiş) VES üretim fonksiyonu denklemi ortaya çıkmaktadır:

$$Y = A(K^{\alpha_2 v_2} (E + b_2 \alpha_2 K)^{(1-\alpha_2)v_2})^{\alpha_1 v_1} (L + b_1 \alpha_1 K^{\alpha_2 v_2} (E + b_2 \alpha_2 K)^{(1-\alpha_2)v_2})^{(1-\alpha_1)v_1} \quad (4)$$

(4) numaralı denklemde,  $b_1$  fiziki girdi ile iş gücü arasındaki ikame esneklik parametresini,  $\alpha_1$  üretim sürecinde fiziki girdinin işgücüne göre oranını,  $b_2$  fiziki sermaye stoku ile enerji arasındaki ikame esneklik parametresini ve  $\alpha_2$  üretim sürecinde sermayenin enerjiye göre oranını vermektedir.

v'ler bir alındığında ölçüğe göre getiri sabit olmaktadır.

Revankar'a (1971a) göre ikame esnekliği faktör oranlarındaki yüzde değişimin, marjinal ikame oranlarındaki bölümünü ifade eden bir fonksiyondur. Buna göre Revankar (1971a) ikame esnekliğini eşitlikteki (7) gibi tanımlamıştır:

$$MP_K = \frac{AL^{1-\alpha_1} \alpha_1 \alpha_2 (E + b_2 K) [K^{\alpha_2} (E + b_2 \alpha_2 K)^{1-\alpha_2}]^{\alpha_1}}{K(E + b_2 \alpha_2 K)} \quad (5)$$

$$MP_E = \frac{AL^{1-\alpha_1} \alpha_1 (1-\alpha_2) [K^{\alpha_2} (E + b_2 \alpha_2 K)^{1-\alpha_2}]^{\alpha_1}}{E + b_2 \alpha_2 K} \quad (6)$$

$$\sigma(E, K) = \frac{\partial \ln(E/K)}{\partial \ln(MP_K / MP_E)} = 1 + b_2 \left( \frac{E}{K} \right) \quad (7)$$

Bu çalışmada enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliğinin ekonomik büyümeye olan etkisini incelemek amacıyla, VES üretim fonksiyonu Solow büyüme modeli çerçevesinde ele alınmıştır. Standart Solow büyüme modelinde nüfus artışı, teknolojik ilerleme ve yıpranma göz önüne alınmaktadır. Fakat bu çalışmada, nüfus artışının, teknolojik ilerlemenin ve yıpranmanın olmadığı varsayılacaktır. Çalışmada, Solow modelindeki dışsal tasarruf oranına benzer olarak enerji akışının dışsal olduğu kabul edilmektedir. Ekonomide t zamandaki enerji kullanımının ( $E_t$ ), enerji stokunun ( $\theta_t$ ) ve enerji kaynaklarındaki artışın ( $q_t^0$ ) alındığı durumda, enerji stokundaki birikim şu şekilde gösterilmektedir:

$$\theta_{t+1} = \theta_t(1 + q_t^0) - E_t \quad (8)$$

Nüfus artışının ve teknolojik ilerlemenin olmadığı durumda, toplam üretimin sermaye artışı yoluyla arttığı varsayılmaktadır. Böylece, fiziksel sermaye birikimi iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu yardımıyla şu şekilde oluşturulmaktadır:

$$K_{t+1} - K_t = sA_t K_t^{\alpha_1 \alpha_2} (E_t + b_2 \alpha_2 K_t)^{\alpha_1 (1-\alpha_2)} L_t^{(1-\alpha_1)} \quad (9)$$

(9) numaralı denklemde, matematiksel sadelik için ölçüğe göre getir sabit alınmış ve fiziksel girdi ile emek arasındaki ikame esnekliği sıfır alınmıştır. Denklem (10)'e göre, sermaye ve enerji arasındaki ikame esnekliği ( $b_2$ ), sermaye birikimini ve dolayısıyla toplam çıktıdaki artışı etkilemektedir. İkame esnekliği katsayısı değerinin ( $b_2$ ) yüksek olması sermaye birikimini hızlandırmaktadır. Esneklik katsayısının negatif değer aldığı ( $b_2 < 0$ ), yani faktörler arası tamamlayıcılığın söz konusu olduğu durumda ise sermaye birikimi için daha çok enerji tüketimi ( $E_t$ ) gerekmektedir.

### 4. Metodoloji ve Veri Seti

Bu çalışmanın temel amacı, sermaye ve enerji arasındaki ikame esnekliğinin ekonomik büyüme üzerine olan etkisini incelemektir. Bu bağlamda, iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu kullanılarak, enerji ve sermaye arasındaki değişken ikame esnekliği ampirik olarak test edilmiştir. Esneklik analiz edilirken iki temel hipotez kurulmuştur; 1)

enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliği değişkendir ve enerji-sermaye oranına göre değişkenlik göstermektedir ( $b_2 \neq 0$ ); 2) üretim sürecinde enerji önemli bir girdidir ( $a_2 \neq 1$ ). Esneklik tahmini için (4) numaralı fonksiyonun logaritması alınmıştır:

$$\log Y_{it} = \log A_{it} + \alpha_1 \alpha_2 \log K_{it} + (1 - \alpha_2) \alpha_1 \log (E_{it} + b_2 \alpha_2 K_{it}) + (1 - \alpha_1) \log (L_{it} + b_1 \alpha_1 K_{it}^{\alpha_2} (E_{it} + b_2 \alpha_2 K_{it})^{(1 - \alpha_2)}) + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

(10) numaralı denklemde,  $i$ ,  $t$  ve  $\varepsilon$  sırasıyla ülke indeksini, zaman indeksini ve hata terimini vermektedir.  $b_1$  ve  $b_2$  ise sırasıyla fiziksel girdi ile işgücü arasındaki ikame esnekliğini ve sermaye ile enerji arasındaki ikame esnekliğini belirtmektedir.  $\alpha_1$ , üretim sürecinde fiziksel girdinin iş gücüne olan oranını gösterirken,  $\alpha_2$  sermayenin iş gücüne oranını vermektedir. Modelin daha basit ve anlaşılır olması için ölçüğe göre sabit getiri alınmıştır ( $v_1 = v_2 = 1$ ).  $b_1$  ve  $b_2$ 'nin sıfıra eşit olup olmaması, denklem (4)'ün CES fonksiyonuna dönüşüp dönüşmemesine karar vermektedir.  $b_1$ 'in parametresinin negatif olması durumunda, fiziksel girdi ile iş gücü arasında ikame değil tamamlayıcılık ilişkisi bulunmaktadır.  $b_2$  parametresinin negatif olması durumunda ise, sermaye ve enerji arasında ikame ilişkisinden ziyade tamamlayıcılık ilişkisi bulunmaktadır.

Çalışmada ayrıca beşeri sermayenin etkisi de incelenmek amacıyla beşeri sermaye endeksi kullanılarak beşeri sermaye ile uyarlanmış bir emek girdisi serisi oluşturulmuştur. Bu seri oluşturulurken Tallman ve Wang (1994) ve Lazkano ve Pham (2016) çalışmalarından yola çıkılmıştır. Beşeri sermaye endeksi ise, ortalama eğitim süresi ve kişi başı eğitime dönüş verileri kullanılarak hesaplanmış ve Penn World Table (Feenstra vd., 2015) veri kaynağından alınmıştır. Dolayısıyla iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonunu tahmininde hem ham emek girdisi (L) hem de beşeri sermaye ile uyarlanmış emek girdisi (HL) kullanılmıştır.  $t$  zamanındaki,  $i$  ülkesine ait beşeri sermaye ile uyarlanmış emek girdisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$HL_{it} = Hit * Lit \quad (11)$$

Doğrusal olmayan iç içe geçmiş VES üretim denklemi (4), logaritması alındıktan sonra da doğrusal olmayan bir denkleme (10) dönüşmüştür. Bu sebeple, denklem (10) doğrusal olmayan En Küçük Kareler regresyon yöntemiyle tahmin edilmiştir.

Veri seti, Penn World Table 9.1 (Feenstra vd., 2015) ve BP Energy Statistical Review of World Energy (BP, 2020) olmak üzere iki temel kaynaktan elde edilmiştir. Değişkenlere ait veriler denklem (10) temel alınarak seçilmiştir. Denklem (10) tahmini için, reel GSYH (Y), fiziksel sermaye stoku (K), toplam faktör verimliliği (A), işgücü (L) ve enerji tüketimi (E) ile ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Veri seti 58 ülkeye ait 1975-2017 arasındaki dönemi kapsamaktadır. Penn World Table 9.1 veri tabanı 182 ülkenin 1950-2017 yılları arasındaki verilerini

kapsamaktadır. BP Energy Statistical Review of World Energy ise 110 ülkenin 1965-2019 yılları arasındaki verilerini içermektedir. Makalede ise 58 ülkenin 1975-2017 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Bunun nedeni, dengeli panel veri seti sağlamak, gözlem sayısını ve çalışmaya dahil edilen ülke sayısını artırmaktır. Değişkenlere ait bilgiler ve ver kaynakları Tablo 1'de, değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Değişkenler ve Veri Seti Kaynakları

Değişken	Ölçü Birimi	Veri Kaynağı
Reel GSYH	SAGP'ine göre 2011 Sabit Ulusal Fiyatlar (Milyon ABD Doları)	Penn World Table (version 9.1)
Toplam Faktör Verimliliği	(ABD=1)	Penn World Table (version 9.1)
Sermaye Stoku	2011 Sabit Ulusal Fiyatlar (Milyon ABD Doları)	Penn World Table (version 9.1)
Nüfus	Milyon	Penn World Table (version 9.1)
Beşeri Sermaye Endeksi	1'den Büyük	Penn World Table (version 9.1)
Birincil Enerji Tüketimi	Milyon Ton Eşdeğer Petrol	BP Energy Statistical Review of World Energy 2020

SAGP satın alma gücü paritesini temsil etmektedir.

**Tablo 2.** Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	(1)	(2)	(3)	(4)
	Ortalama	Maks.	Min.	Std. Sapma
Reel GSYH	857083,3	18396068	2996,073	1984028
Top. Faktör Verimliliği	1,0038	5,2521	0,4384	0,295129
Sermaye Stoku	3560806	94903728	17434,7	7419589
Nüfus	73,3979	1409,517	0,1645	203,5863
Beşeri Sermaye Endeksi	2,6120	3,9742	1,1224	0,6071
Birincil Enerji Tüketimi	132,17922	3124,8623	0,7335	336,7410

## 5. Ampirik Bulgular

Denklem (10) doğrusal olmayan EKK regresyon yöntemi ile tahmin edilmiştir. Denklem (10)'da matematiksel sadelik için ölçüğe göre sabit getiri alınmıştır ( $v_1 = v_2 = 1$ ). Bu kısıtlamanın geçerliliğini test etmek adına sırasıyla; fiziksel girdi ile işgücü arasında ölçüğe göre sabit getiri alınarak ( $v_1 = 1$ ) ve enerji ve sermaye arasında ölçüğe göre sabit getiri alınarak ( $v_2 = 1$ ) ayrı ayrı denklemler oluşturulmuştur. Her bir denklem ayrı ayrı tahmin edilmiştir ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Ayrıca hem ham işgücüne (L) ait veriler hem de uyarlanmış işgücüne ait veriler (HL) kullanılmıştır. Tahminin ampirik sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** VES Üretim Fonksiyonunun Doğrusal Olmayan Regresyon Tahmini

Değişkenler	[1]	[2]	[3]	
	$l = 1$	$l = 2$	$l = 2 = 1$	
Ham İşgücü(L)	$a_1$	0,6296* (0,0112)	0,6347* (0,0106)	0,7140* (0,0101)
	$a_2$	0,7819* (0,0153)	0,7816* (0,0156)	0,7580* (0,0111)
	$b_1$	-2,15e-05* (6,88e-06)	-1,98e-05* (5,96e-06)	-2,71e-05* (8,07e-06)
	$b_2$	-7,20e-06* (1,46e-06)	-7,20e-06* (1,47e-06)	-7,49e-06* (9,93e-07)
	$l$	-	1,0118* (0,0057)	-
	$2$	1,0210* (0,0086)	-	-
Uyarlanmış İşgücü(L)	$a_1$	0,4385* (0,0179)	0,4390* (0,0176)	0,6314* (0,0118)
	$a_2$	0,6849* (0,0263)	0,6849* (0,0263)	0,7052* (0,0125)
	$b_1$	-7,31e-06* (0,0000)	-7,31e-06* (0,0000)	-0,0001* (0,0000)
	$b_2$	-7,65e-06* (2,82e-06)	-7,65e-06* (2,82e-06)	-7,90e-06* (1,33e-06)
	$l$	-	1,0009* (0,0052)	-
	$2$	1,0020* (0,0124)	-	-
$R^2$ (L)	0,8980	0,8972	0,9181	
$R^2$ (HL)	0,9017	0,8992	0,9190	
N	2494	2494	2492	

**Not:** \* %1 anlamlılık düzeyini ve parantez içindeki terimler standart hatayı göstermektedir. N gözlem sayısını vermektedir.

Tablo 3'te yer alan ampirik bulgular bize öncelikle ölçüğe göre sabit getiri kısıtının uygunluğunu göstermektedir. Sadece  $v_1$ 'in 1 alındığı durumda  $v_2$  değeri 1'e oldukça yakın çıkmıştır. Sadece  $v_2$ 'nin 1 alındığı durumda da,  $v_1$  değeri 1'e oldukça yakın çıkmıştır. Araştırmamızın temel amacı sermaye ve enerji arasındaki ikame esnekliğinin ( $b_2$ ) tahmin edilmesidir. Dolayısıyla her bir kısıt için  $b_2$  değerlerini gözlemlenmek gerekmektedir. Tablo 3'te her bir kısıt için  $b_2$  değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla denklem (10) için uygulanan ölçüğe göre sabit getiri kısıtı ( $v_1 = v_2 = 1$ ) geçerli ve uygun bulunmuştur.

Tablo 3'te hem ham işgücüne ait veriler kullanılarak elde edilen bulgulara hem de uyarlanmış işgücüne ait veriler kullanılarak elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Denklem (10) tahmin edilirken iki temel hipotez kurulmuştur. 1) Enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliği değişkendir ve enerji-sermaye oranına göre değişkenlik göstermektedir ( $b_2 \neq 0$ ). Hem ham işgücüne hem de uyarlanmış işgücüne ait bulgular (-7,49e-06 ve -7,90e-06),  $b_2$ 'nin sıfırdan farklı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla boş hipotez ( $b_2 = 0$ ) reddedilerek, ilk hipotezimiz kabul edilmiştir ( $b_2 \neq 0$ ). 2) Üretim sürecinde enerji önemli bir girdidir ( $a_2 \neq 1$ ). Tablo 3'e bakıldığında  $a_2$ 'ye ait değerler sırasıyla 0,7580 ve 0,7052'dir. Boş hipotez ( $a_2 = 1$ ) reddedilerek ikinci hipotezimiz de kabul edilmiştir ( $a_2 \neq 1$ ).

Tablo 3'teki hem ham işgücüne ait bulgular hem de uyarlanmış işgücüne ait bulgular değerlendirildiğinde, enerji

ve sermaye arasındaki ikame esneklik katsayısının ( $b_2$ ) negatif bir değere sahip olduğu gözlemlenmektedir. İkame esneklik katsayısının negatif değere sahip olması, enerji ve sermayenin birbirini ikame etmediklerini ve aralarında tamamlayıcılık ilişkisinin olduğunu belirtmektedir. Fiziksel girdi ile işgücü arasındaki ikame esneklik katsayısını gösteren  $b_1$ 'e ait sonuçlar değerlendirildiğinde, işgücü ve fiziksel girdilerin de aralarında tamamlayıcılık ilişkisine sahip olduğu görülmektedir.

## 6. Sonuç

Bu araştırmada, 58 ülkenin 1975-2017 yıllarına ait verileri kullanılarak enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliğinin ekonomik büyümeye olan etkisi incelenmiştir. İkame esnekliği hesaplamaları için iç içe geçmiş VES üretim fonksiyonu tahmin edilerek Solow büyüme modeli çerçevesinde analiz edilmiştir. VES üretim fonksiyonu tahmini doğrusal olmayan En Küçük Kareler regresyon modeli uygulanmıştır. Çalışmanın ampirik bulguları, enerjinin üretim sürecinde önemli bir girdi olduğunu ve enerji ile sermaye arasındaki ikame esnekliğinin VES özelliği gösterdiğini kanıtlamaktadır. Dolayısıyla, enerji ile sermaye arasındaki ikame esnekliği zamana göre ve üretimdeki enerji/sermayeye oranına göre değişiklik göstermektedir.

Tahmin sonuçları, 58 ülke için enerji ile sermaye arasında ikame ilişkisi değil tamamlayıcılık ilişkisi olduğunu

göstermiştir. Tamamlayıcılık ilişkisi şunu belirtmektedir; sermaye birikiminin sağlanabilmesi ve dolayısıyla uzun dönemli ekonomik büyümenin sürdürülebilmesi için sermaye stokunun ve enerji tüketiminin birlikte artırılması gerekmektedir. Diğer bir değişle, ekonomik büyümeyi artırmak isteyen ülkelerde sermaye birikimindeki artış için enerji tüketiminde de artış gerekmektedir. Enerji temininin, sermaye stokuna oranla kısıtlı olması durumunda ise sermaye ve enerji arasındaki tamamlayıcılık ilişkisinden dolayı sermaye birikimi yavaşlayarak, uzun dönem büyüme azalabilmektedir. Bu bağlamda elde edilen tahmin sonuçları, sürdürülebilir büyümeyi sağlamak ve aynı zamanda enerji tüketimini azaltarak yeşil ekonomiyi desteklemek üzere uygulanan iktisadi politikalar için büyük önem arz etmektedir. Enerji tüketiminin büyüme üzerindeki pozitif etkisi açısından, enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesinin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayacağı ve ekonomik büyümeyi destekleyeceği düşünülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, enerji ile sermaye arasındaki ikame veya tamamlayıcılık ilişkisi konusunda bir görüş birliği bulunmamaktadır. Çalışmalar, enerji ve sermaye arasındaki ikame esnekliğinin, gelir gruplarına göre ayrılmış ülke grupları arasında, enerji türleri arasında, aynı ülke gruplarının farklı dönemleri arasında farklılık gösterdiğini göstermektedir (Kim ve Heo, 2013; Lazkano ve Pham, 2016; Altunç ve Yıldırım, 2020). Elde edilen farklı sonuçların temel nedeni, uygulanan farklı ekonometrik modeller ve farklı veri setleridir. Bu çalışmada makro veriler kullanılarak, sermaye ve enerji arasındaki ikame esnekliği ile ekonomik büyüme arasında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat endüstri düzeyinde mikro verilerle yapılan çalışmalar daha kesin sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla, bu çalışma mikro veriler kullanılarak geliştirilebilir.

## Kaynakça

- Altunç, Ö. F., & Yıldırım, A. (2020). Capital-energy substitution: Does energy sources matter for the elasticity of substitution?. An Empirical Investigation for OECD Countries, *Siyasal: Journal of Political Sciences*, 29(2): 367-378.
- Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B. S., & Solow, R. M. (1961). Capital-labor substitution and economic efficiency. *The Review of Economics and Statistics*, 43(3), 225–250, <https://doi.org/10.2307/1927286>.
- Aydın, C., & Esen, Ö. (2018). Does the level of energy intensity matter in the effect of energy consumption on the growth of transition economies? Evidence from dynamic panel threshold analysis. *Energy Economics*, 69, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.11.010>
- Bairam, E. (1989). Learning-by-doing, variable elasticity of substitution and economic growth in japan, 1878 – 1939. *The Journal of Development Studies*, 25(3), 344-353.
- BP Statistics (2020). Statistical review of world energy 2020- 69th edition. (Erişim: 01.02.2021), <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- Brockway, P. E., Heun, M. K., Santos, J., & Barrett, J. R. (2017). Energy-extended ces aggregate production: Current aspects of their specification and econometric estimation. *Energies*, 10(2): 202.
- Bronfenbrenner, M., & Douglas, P. H. (1939). Cross-section studies in the Cobb-Douglas function. *Journal of Political Economy*, 47(6): 761-785.
- Chichilnisky, G., & Heal, G. M. (1983). Energy-capital substitution: a general equilibrium analysis. IIASA Collaborative Paper CP, *International Institute for Applied Systems Analysis*, 83-6.
- Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A theory of production. *The American Economic Review*, 18 (1): 139-165.
- Daniels, G., & Kakar, V. (2017). Economic growth and the CES production function with human capital. *Economics Bulletin*, 37(2): 930-951.
- Esen, O., & Bayrak, M. (2017). Does more energy consumption support economic growth in net energy-importing countries?. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 22(42), 75-98.
- Esen, Ö. (2016). Security of the energy supply in Turkey: Prospects, challenges and opportunities. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(2), 281-289.
- Feenstra, Robert C., Robert I., & Marcel, P. T. (2015). The next generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10): 3150-3182, available for download at [www.ggdc.net/pwt](http://www.ggdc.net/pwt).
- Fiorito, G., & van den Bergh, J. C. (2016). Capital-energy substitution in manufacturing for seven OECD countries: learning about potential effects of climate policy and peak oil. *Energy Efficiency*, 9(1): 49-65.
- Gunn, G. T., & Douglas, P. H. (1941). The production function for American manufacturing in 1919, *The American Economic Review*, 31(1): 67-80.
- Karagiannis, G., Theodore P., & Chris, P. (2005). Variable elasticity of substitution and economic growth: Theory and evidence. In *New Trends in Macroeconomics*, ed. Claude Diebolt and Catherine Kyrtsov: 21–37.
- Kemfert, C. (1998). Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany. *Energy Economics*, 20(3): 249-264.
- Kim, J., & Heo, E. (2013). Asymmetric substitutability between energy and capital: Evidence from the manufacturing sectors in 10 OECD countries. *Energy Economics*, 40: 81-89.

- Klump, R., & de La Grandville, O. (2000). Economic growth and the elasticity of substitution: Two theorems and some suggestions. *American Economic Review*, 90(1): 282–291.
- Lazkano, I., & Pham, L. (2016). Can capital-energy substitution foster economic growth?. *Land Economics*, 92(3): 491-514.
- Mallick, D. (2012). The role of the elasticity of substitution in economic growth: A cross-country investigation. *Labour Economics*, 19(5): 682-694.
- Revankar, N. S. (1971a). A class of variable elasticity of substitution production functions. *Econometrica*, 39(1): 61–71.
- Revankar, N. S. (1971b). Capital-labor substitution, technological change and economic growth: The U.S. experience, 1929-1953. *Metroeconomica*, 23(2): 154–176. <https://doi.org/10.1111/j.1467-999X.1971.tb00168.x>
- Sato, R., & Hoffman, R. F. (1968). Production functions with variable elasticity of factor substitution: Some analysis and testing. *The Review of Economics and Statistics*, 50 (4): 453–460. <https://doi.org/10.2307/1926813>.
- Shen, K., & Whalley, J. (2017). Capital–labor–energy substitution in nested CES production functions for China. *The Economies of China and India*, 2: 15-27.
- Smith, V. E. (1945). Nonlinearity in the relation between input and output: the Canadian automobile industry, 1918-1930. *Econometrica*, 13(3): 260-272.
- Stern, D. I. (2010). *The role of energy in economic growth. Working paper*. Centre for Climate Economics and Policy, Crawford School of Public Policy, Australian National University, Acton.
- Tallman, E. W., & Wang, P. (1994). Human capital and endogenous growth evidence from Taiwan. *Journal of Monetary Economics*, 34(1): 101–124. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(94\)01152-4](https://doi.org/10.1016/0304-3932(94)01152-4).
- Van der Werf, E. (2008). Production functions for climate policy modeling: an empirical analysis. *Energy Economics*, 30(6): 2964-2979.

## Ekler

### Ek-1. Araştırmaya Dahil Edilen Ülkeler

Almanya	Finlandiya	İzlanda	Portekiz
ABD	Fransa	Japonya	Romanya
Arjantin	Güney Afrika	Kanada	Singapur
Avusturalya	Güney Kore	Katar	Sri Lanka
Avusturya	Hindistan	Kıbrıs	Suudi Arabistan
Belçika	Hollanda	Kolombiya	Şili
Birleşik Krallık	Hong Kong	Kuveyt	Tayland
Brezilya	Irak	Lüksemburg	Tayvan
Bulgaristan	İran	Macaristan	Trinidad & Tobago
Çin	İrlanda	Malezya	Türkiye
Danimarka	İspanya	Meksika	Yeni Zelanda
Ekvator	İsrail	Mısır	Yunanistan
Endonezya	İsveç	Norveç	Venezuela
Fas	İsviçre	Peru	
Filipinler	İtalya	Polonya	



## Extended Summary

### Purpose

Substitutability of capital or labor for energy has become a major focus of many studies in economics. Elasticity of substitution basically indicates the degree of substitution between one input with another in an economical system. High elasticity of substitution indicates ease of substitution between these inputs. Therefore, at times when there are shortages of energy supply or fluctuations in energy supply cost, more production would be ensured by consuming less energy if capital could be substituted for energy (Fiorito and van den Bergh, 2016). Usage of energy efficient technologies contributes to the reduction of sensibility to cost fluctuations in energy and increasing the total production efficiency. Within the context of producer theory, adoption of energy efficient technologies represents substitutability of capital for energy (Kim ve Heo, 2013).

It is of vital importance to know the elasticity of substitution between production factors with regards to short-term and long-term economic growth. For instance, Klum and la Grandville (2000) presented in their study that higher elasticity of substitution would mean higher income per capita. They also stated that high elasticity of substitution would ensure to reach a higher steady state equilibrium in income per capita. Another study by Daniels and Kakar (2017), researched the effect of elasticity substitution between labor and capital on growth by incorporating the human capital index into labor input. They concluded that higher elasticity substitutions between production factors can lead to a higher steady state equilibrium for income per effective unit of labor.

The aim of this study is to research the effect of variable elasticity of substitution between energy and capital on economic growth for 58 countries. The variable elasticity substitution coefficient estimated between energy and capital calculated with nested VES production function in the scope of Solow growth model.

### Literature Review

The type of production function is of importance in estimating elasticity substitution between production factors. Three production functions are focused on our literature review namely Cobb-Douglas, CES and VES production function. These studies can roughly be divided into two groups; a) studies where Cobb-Douglas and CES production function is used and b) studies where VES production function is used. First group can be named as constant elasticity of substitution production function studies and second group can be called variable elasticity of substitution production function studies. Studies including Cobb-Douglas and CES production functions are more common than the studies with VES production function which are relatively new and limited. For our literature review search, databases like scholar.google, elsevier.com, jstor.org were used.

This study is aiming to contribute to literature in two ways. First contribution would be about advantages of empirical method, model and variables. Using nested VES production function, incorporating energy into analysis and analyzing the relationship between energy consumption and growth in the scope of Solow growth model by using NLLS model. Second contribution is that selected country group and period in the analysis are more comprehensive than the previous studies.

### Design/methodology/approach

The study is based on two main hypotheses. First hypothesis is “energy is an important input in the production process” and second hypothesis is “coefficient of elasticity of substitution between energy and capital is variable and changes according to energy-capital ratio and time”. In the study, coefficient of variable elasticity of substitution was estimated with nested VES production function. Non-Linear Least Square (NLLS) regression model was applied for the analysis. Thereby non-linear VES production function was estimated with non-linear model, the findings are expected to be closer to real life.

### Findings

Findings suggest that energy is an important input in the production process and elasticity of substitution coefficient between energy and capital is variable. However, a complementary relationship was identified for 58 countries instead of a substitution relationship. Complementary relationship suggests that in order to ensure capital accumulation and consequently sustaining long term economic growth, capital stock and energy consumption should jointly be increased. In other words, for countries who want to increase the economic growth, energy consumption should also increase along with capital stock. In case of limited energy supply in the face of capital stock, capital accumulations slow down due to complementary relationship and long-term growth might be curbed. In this context, findings are of vital significance for ensuring sustainable growth as well as economic policies aiming at supporting green economy by decreasing energy consumption. In terms of positive effects of energy consumption on growth, it can be inferred that obtaining energy from renewable resources would contribute to curbing green-house gas emissions and supports the economic growth.