T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI
İKTİSAT YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE İÇİN ENERJİYLE GENİŞLETİLMİŞ ÜRETİM FONKSİYONU TAHMİNİ

MEHMET FIRAT OLGUN
16710006

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi HASAN AĞAN KARADUMAN

İSTANBUL
2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI
İKTİSAT YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE İÇİN ENERJİYLE GENİŞLETİLMİŞ ÜRETİM FONKSİYONU TAHMİNİ

MEHMET FIRAT OLGUN
16710006

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi HASAN AĞAN KARADUMAN

İSTANBUL
2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI
İKTİSAT YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE İÇİN ENERJİYLE GENİŞLETİLMİŞ ÜRETİM FONKSİYONU TAHMİNİ

MEHMET FIRAT OLGUN
16710006

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:
Tezin Savunulduğu Tarih: 23.05.2019
Tez Oy Birliği ile Başarılı Bulunmuştur

	Unvan Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	: Dr. Öğr. Üyesi Hasan A. Karaduman	
Jüri Üyeleri	: Dr. Öğr. Üyesi Tuna Dinç	
	Dr. Öğr. Üyesi Ümit Bozoklu	

İSTANBUL
MAYIS 2019

ÖZ

TÜRKİYE İÇİN ENERJİYLE GENİŞLETİLMİŞ ÜRETİM FONKSİYONU TAHMİNİ

Mehmet Fırat Olgun

Mayıs, 2019

Dünyada enerji tüketiminin hızla artması enerjinin ülkelerin üretim sürecinde temel bir faktör haline gelmesini sağlamıştır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfusun hızlı bir şekilde artması ve sanayinin gelişmesi enerjiye olan talebi hızla artırmaktadır. Enerji, emek ve sermaye gibi zorunlu bir üretim faktörü olduğundan, ülkelerin ekonomik büyüme potansiyelini de yansıtan önemli bir faktördür. Bu kapsamda çalışmanın amacı Türkiye için emek ve sermayeye ek olarak enerjiyi de girdi olarak alan üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirmektir. Çalışma 1963-2017 dönemine ait yıllık veriler ile gerçekleştirilmiştir. GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) ve üretim girdileri arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığı Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu kullanılarak ARDL (Auto Regressive Distributed Lag) modeli ile saptanmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgular üretim faktörleri ve çıktının eşbütünleşik olduğunu göstermektedir. Üretim faktörlerine ait uzun dönem çıktı esneklikleri istatistiksel olarak anlamlıdır ve beklenildiği üzere pozitiftir. Öte yandan kısa dönem dinamikleri açıklayan hata düzeltme modeli sonuçları da beklentilerle uyumlu sonuçlar sergilemiştir. Daha sonra üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin tahmin edilmesi için Translog üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Translog üretim fonksiyonu spesifikasyonu gereği çoklu doğrusal bağıntı sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden Translog üretim fonksiyonu tahmininde çoklu doğrusal bağıntı durumunda kullanılan Ridge regresyon tahmin yöntemi uygulanmıştır. Ridge regresyon tahmin sonuçları üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliklerinin birden farklı olmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Üretim Fonksiyonu, Cobb-Douglas, Translog, ARDL, Ridge Regresyon.

ABSTRACT

ESTIMATING ENERGY-AUGMENTED PRODUCTION FUNCTION FOR TURKEY
Mehmet Fırat OLGUN
May, 2019

The significant increase in energy consumption in the world made energy a key factor in the production process. The demand for energy has rapidly increased in line with industrialization especially in developing countries. Energy becomes a necessary production factor as labor and capital which reflects the potential economic growth of a country. In this context, the purpose of the study is to estimate the production function in which energy is also included as input in addition to labor and capital for Turkey. In the study, the annual data for the period between 1963 and 2017 period is under investigation. The existence of the long-term relationship between GDP (Gross Domestic Product) and the production factors is detected by using ARDL (Auto Regressive Distributed Lag) model based on the Cobb-Douglas type production function. The findings show that production factors and output are cointegrated. The estimated long-run output elastiticies with respect to the production factors are statistically significant and positive as expected. The results of the error correction model which shed light on the short term dynamics are also in line with the expectations. Then, the translog production function is used to estimate substitution elasticities between the production factors. The translog production function bring about the problem of multicollinearity because of its econometric specification. Therefore, Ridge regression method is employed to overcome the multicollinearity problem. The estimation results of the Ridge regression indicate that the estimated substitution elasticities between the production factors are not different from one.

Key Words: Production Function, Cobb-Douglas, Translog, ARDL, Ridge Regression.

ÖN SÖZ

Tez hazırlama sürecinde benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babama, anneme ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ediyorum. Ayrıca tez çalışma sürecinde yardımlarından dolayı teyzem Dr. Ayfer Özyılmaz'a ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ağan Karaduman'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak eğitim hayatım boyunca maddi desteğini esirgemeyen Beşir Uğur'a teşekkürü borç bilirim.

İstanbul; Mayıs, 2019 Mehmet Fırat OLGUN

İÇİNDEKİLER

ÖZ iii

ABSTRACT v

ÖN SÖZ vi

İÇİNDEKİLER vii

TABLOLAR LİSTESİ ix

ŞEKİLLER LİSTESİ x

KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. ÜRETİM FONKSİYONU 3

2.1. Üretim Fonksiyonu Tanımı 3

2.2. Üretim ve Üretim Fonksiyonu ile ilgili Kavramlar 8

2.2.1. Eş Ürün Eğrisi ve Teknik İkame Oranı 10

2.2.2. Esneklik ve Marjinal Ürün Kavramları 12

2.2.3. İkame Esnekliği ve İkame Sınırı 15

2.3. Üretim Fonksiyonu-Zaman İlişkisi 17

2.3.1. Kısa Dönemde Üretim Yasaları: Azalan Verimler Kanunu 17

2.3.2. Uzun Dönemde Üretim Yasaları: Ölçeğe Göre Getiri İlişkileri 20

2.4. Üretim Fonksiyonlarına Enerjinin Ayrı Bir Üretim Faktörü Olarak Girmesi 22

2.5. Üretim Fonksiyonu Kullanım Alanları ve Faydaları 23

3. TEMEL ÜRETİM FONKSİYONU MODELLERİ 25

3.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu 25

3.1.1. C-D Üretim Fonksiyonu Özellikleri 25

3.1.2. C-D Fonksiyonunun Homojenliği 26

3.1.3. C-D Üretim Fonksiyonunda Ölçeğe Göre Getiri 26

3.1.4. C-D Üretim Fonksiyonunda Marjinal Teknik İkame Oranı 27

3.1.5. C-D Fonkisyonu İkame Esnekliği 27

3.1.6. C-D Üretim Fonksiyonu Tahmin Modeli 28
3.2. Sabit İkame Esneklikli Üretim Fonksiyonu (Constant Elasticity of Substitution-CES) 29
3.2.1. CES Üretim Fonksiyonu Özellikleri 30
3.2.2. CES Fonkisyonunun Homojenliği 31
3.2.3. CES Üretim Fonksiyonunda Ölçeğe Göre Getiri 31
3.2.4. CES Üretim Fonksiyonunda Marjinal Teknik İkame Oranı 31
3.2.5. CES Fonkisyonu İkame Esnekliği 32
3.2.6. CES Fonksiyonu Tahmini 33
3.3. Translog (Transcendental Logarithmic) Üretim Fonksiyonu 34
3.3.1. Translog Üretim Fonkisyonu İkame Esnekliği 34
3.3.2. Translog Üretim Fonksiyonu Tahmin Modeli 36
4. LİTERATÜR TARAMASI 37
4.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür 37
4.2. Sabit İkame Esneklikli (CES) Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür 41
4.3. Translog (Transcendental Logarithmic) Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür 44
5. VERİ SETİ, YÖNTEM ve BULGULAR 49
5.1. Veri Seti 49
5.2. Auto-Regressive Distrubured Lag (ARDL) Yöntemi 53
5.3. Ridge Regresyon Yöntemi 54
5.4. Model Tahmin Bulguları 56
5.4.1. Emek-Sermaye-Enerji Girdili C-D Üretim Fonksiyonu ARDL Tahmini 57
5.4.2. Emek-Sermaye-Enerji Girdili C-D Üretim Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmini 62
5.4.3. Emek-Sermaye-Enerji Girdili Translog Üretim Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmini 65
6. SONUÇ 71
KAYNAKÇA 75
ÖZ GEÇMİŞ 85

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Temel Üretim Fonksiyonu Tipleri 5
Tablo 4.1: Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti 37
Tablo 4.2: CES Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti 41
Tablo 4.3: Translog Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti 44
Tablo 5.1: Değişkenler 53
Tablo 5.2: Tanımlayıcı İstatistikler 53
Tablo 5.3: ADF, Ng-Perron ve KPSS Sonuçları 56
Tablo 5.4: Yapısal Kırılmalı ADF Birim Kök Testi Sonucu 57
Tablo 5.5: Sınır Testi Sonuçları 57
Tablo 5.6: ARDL (1,4,4,1) Modeli Tahmin Sonuçları 58
Tablo 5.7: ARDL (1,4,4,1) Uzun Dönem Dengesi 58
Tablo 5.8: Hata Düzeltme Modelinin Sonuçları 59
Tablo 5.9: C-D Fonksiyonu Korelasyon Matrisi ve VIF Değerleri 62
Tablo 5.10: C-D Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmin Sonuçları (k=0.380544) 64
Tablo 5.11: C-D Fonksiyonu Anova Tablosu 65
Tablo 5.12: Translog Üretim Fonksiyonu Korelasyon Matrisi 65
Tablo 5.13: Translog Üretim Fonksiyonu Ridge RegresyonTahmin Sonuçları 68
Tablo 5.14: Girdiler için Yıllara göre Çıktı ve İkame Esneklik Sonuçları 69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Teknik İkame Oranı 11
Şekil 2.2: Etkin Bölge..... 15
Şekil 2.3: İkame Sınırı 16
Şekil 2.4: Azalan Verimler Yasası..... 19
Şekil 2.5: Ölçeğe Göre Getiri 21
Şekil 2.6: Kişi Başına GSYH ve Kişi Başına Enerji Tüketimi (1963-2015)..... 23
Şekil 5.1: 1963-2017 Dönemine ait Türkiye Fiziki Sermaye Stoğu (Bin TL)… 52
Şekil 5.2: CUSUM ve CUSUMSQ Test Sonuçları 61
Şekil 5.3: Cobb-Douglas Fonksiyonu Ridge İzi..... 63
Şekil 5.4: Cobb-Douglas Fonksiyonu VIF Grafiği..... 63
Şekil 5.5: Translog Fonksiyonu Ridge İzi Grafiği 66
Şekil 5.6: Translog Fonksiyonu VIF Grafiği..... 67

KISALTMALAR

AIC : Akaike Information Criteria
C-D : Cobb - Douglas
CES : Constant Elasticity of Substitution
ECM : Error Correction Model
EKK : En Küçük Kareler
FGLS : Feasible Generalized Least Squares
GMM : Genelleştirilmiş Momentler Metodu
MRTS : Marginal Rate of Technical Substitution
OLS : Ordinary Least Square
PIM : Perpetual Inventory Method
RR : Ridge Regresyon
SEY : Sürekli Envanter Yöntemi
TRANSLOG : Trancendental Logarithmic
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
VIF : Variance Inflation Factor

1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçlarını giderecek mal ve hizmetlerin elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar bütünü olarak tanımlanan üretim, bir malın miktarını artırarak ondan daha çok insanın faydalanmasına olanak sağlarken öte yandan bir malın daha fazla fayda sağlayacak duruma getirilmesini de sağlamaktadır. Üretim faktörleri, üretimin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan temel girdilerdir. Üretim faktörleri ve üretim arasındaki ilişkiler İktisat Teorisinin temel konularından biridir. Hem firma açısından hem de ekonominin bütünü açısından bu ilişki önem arz etmektedir. Girdilerin en etkin bir şekilde kullanılmasıyla tek ve maksimum bir çıktı elde edilmektedir. Çıktı ile üretim faktörleri arasındaki teknik ilişkileri matematiksel olarak ifade eden fonksiyonlara üretim fonksiyonu denilmektedir. Rasyonel bir firma maksimum kar elde etmek için optimum üretim düzeyinde üretim yapma, ülkeler ise rasyonel davranarak amaçlanan çıktı seviyesine ulaşmak için üretim faktörlerinin hangi bileşimde kullanıldığını bilme ihtiyacı hissetmektedir. Bu durum girdi faktörlerinin nasıl ve ne oranda etkin kullanılacağı hakkında bilgi veren üretim fonksiyonlarının kullanılmasını bir nevi gerekli kılmaktadır. Çünkü bir toplumun refah düzeyi, sahip olduğu sınırlı emek, sermaye ve doğal kaynakların kullanılmasıyla yapacağı üretime bağlıdır.

Üretim fonksiyonları mikro düzeyde firma, sektör ya da endüstri için kullanılabileceği gibi makro ölçekte ülkeler düzeyinde de kullanılmaktadır. Üretim fonksiyonu girdileri mikro ve makro düzeyde emek ve sermaye değişkenleri içinde toplanmaktadır. Bu değişkenlerin yanı sıra farklı değişkenler eklenerek modellerin açıklanma gücü artırılmaya çalışılmaktadır. Özellikle son dönemlerde enerji değişkeni üretim faktörleri arasında sıklıkla yer almaktadır. Üretim fonksiyonu, İktisat literatüründe geniş yer bulduğu gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır.

Üretim fonksiyonu tahmininde girdi kullanımı aynı oranda artırıldığında çıktıdaki değişim hakkında bize bilgi veren ölçeğe göre getiriler ve üretilen mal miktarının değişken girdi miktarına olan duyarlılığını gösteren esneklik ön plana çıkan kavramlardır. Bunların yanı sıra önem arz eden diğer bir kavram ikame esnekliği olup

faktör oranlarındaki yüzde değişimin faktörlerin marjinal verimlilik oranındaki yüzde değişime oranını ifade etmektedir. En Temel üretim fonksiyonu 1928 yılında Charles W. Cobb ve Paul H. Douglas'ın geliştirdikleri Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonudur. Bu üretim fonksiyonunda ölçeğe göre sabit getiri varsayımı yapılmakta ve dolayısıyla ikame esnekliği 1 olarak kabul edilmektedir. Arrow ve diğ. (1961) tarafından geliştirilen Sabit İkame Esneklikli (CES) üretim fonksiyonu modelinde ikame esnekliği sabit bir değere eşittir. Ayrıca CES üretim fonksiyonu ölçeğe göre getiri varsayımı yapmadığı için ölçek parametresinin hesaplanmasına izin vermektedir. Christensen, Jorgenson ve Lau (1973), tarafından geliştirilen Translog üretim fonksiyonu ise çıktı esnekliği, ölçek parametresinin hesaplanmasına izin vermektedir. Ayrıca ikame esnekliği hakkında daha genel ve doğru sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmanın amacı sermaye, emek ve enerji girdileri ile Türkiye için üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirmektir. Bununla birlikte girdilerin ikame esneklik değerlerinin Translog üretim fonksiyonu ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Birinci bölümde üretim fonksiyonu hakkında genel değerlendirmelere yer verilmiştir. İkinci bölümde üretim fonksiyonunun tanımı, Neo-Klasik çerçevede üretim fonksiyonu ile ilgili kavramların tanıtılması, İktisat teorisinde sıklıkla kullanılan üretim fonksiyonunun faydaları ve kullanım amaçları hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde Cobb-Douglas, CES ve Translog üretim fonksiyonlarının temel özellikleri ve tahmin modelleri tanıtılmıştır. İzleyen bölümde temel üretim fonksiyonları üzerinde yapılan çalışmalara yönelik literatüre değinilmiştir. Beşinci bölümde üretim fonksiyonu tahmininde kullanılacak olan veriler, verilerin elde edilme şekli, tahmin yöntemleri ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar iktisadi olarak yorumlanmıştır.

2. ÜRETİM FONKSİYONU

Üretim fonksiyonu, belirli bir dönemde kullanılan girdiler ile elde edilen çıktı arasındaki ilişkiyi gösteren fonksiyonlardır. Bu ilişki açıklanırken çıktı seviyesi, marjinal ürün kavramları, ölçeğe göre getiriler, teknolojik değişim, esneklik, ikame esnekliği gibi kavramlar önem arz etmektedir. Bu bölümde Neo-Klasik çerçevede üretim fonksiyonu ile ilgili kavramlar açıklanacaktır.

2.1. Üretim Fonksiyonu Tanımı

Üretim fonksiyonu, girdideki değişimlerin çıktıyı nasıl değiştirdiğini ölçen fonksiyonlardır. Üretim fonksiyonunun genel matematiksel formu:

$$Y = f(L, K, R, S, v, \gamma) \tag{2.1}$$

Burada,

Y: Çıktı

L: Emek girdisi

K: Sermaye girdisi

R: Hammadde

S: Arazi girdisi

v: Ölçek parametresi

γ: Etkinlik parametresi

Üretim fonksiyonunun tanımlanmış genel formu tamamen girdi miktarı ile çıktı miktarı arasındaki ilişkiyi açıklamaya dayalıdır. Faktör ya da ürün fiyatları dahil değildir. Genel olarak firmanın üretim kararıyla ilgilidir. Arazi girdisi ekonominin tamamı için yapılan analizlerde sabit kabul edilir. Ancak firma ya da sektör analizlerinde arazi girdisi sabit değildir. Bu değişken; makine, ekipman girdileriyle beraber K (sermaye) faktörünün içerisinde kullanılır. Sektör ya da firma için hammadde girdisi üretimin tüm aşamalarında çıktı ile ilişkilidir. Genellikle katma

değer ile çıktının ölçüldüğü varsayılmaktadır. Bundan dolayı $Q = Y - R$ olarak kabul edilmektedir (Koutsoyiannis, 1975, 69-70).

İktisat Teorisinde geleneksel üretim fonksiyonu şöyle tanımlanmaktadır.

$$Q = f(L, K, v, \gamma) \tag{2.2}$$

Buradaki etkinlik parametresi; teknolojik gelişmeyi, ölçek parametresi ise firmanın uzun dönem ilişkisindeki ölçeğe göre getirisini belirtmektedir.

İktisat Teorisinde üretim fonksiyonu, belirli bir malın üretimine katılan üretim faktörleriyle, elde edilen üretim miktarı arasındaki fiziki ilişkileri ifade eden fonksiyondur. Üretim fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir. $f: A \rightarrow R_+ , A \in R_n^+$ ve

$$Q = f(\mathrm{x}) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{2.3}$$

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, girdileri ve Q çıktıyı ifade etmektedir. Çıktı ve girdi arasındaki ilişkiyi cebirsel olarak formüle eden kişi Philip Wicksteed (1894) olarak bilinmektedir. Ancak üretim fonksiyonu çok önceden Alman matematiksel iktisatçı, teorisyen ve bilimsel tarım uzmanı Johann Heinrich von Thünen (1783-1850) tarafından formüle edilmiştir (Humphrey, 1997, 61). İktisat literatüründeki ilk üretim fonksiyonu çalışmaları 1906 yılında Knut Wicksell tarafından yapılmıştır (Onalan ve Basegmez, 2018). Knut Wicksell firmalar için homojen olmayan üretim fonksiyonunun, lineer homojen üretim fonksiyonu ile endüstrinin tamamıyla uyumlu olduğunu kanıtlayarak önemli katkılarda bulunmuştur. Firma düzeyinde homojen olmayan üretim fonksiyonunu tanımlamıştır. Endüstri için homojen üretim fonksiyonu ve toplulaştırılmış lineer homojen üretim fonksiyonunu tanımlamıştır (Humphrey, 1997, 74). Daha sonra üretim fonksiyonu Cobb-Douglas (1928) tarafından geliştirilmiştir. Bu fonksiyon 2 girdili bir fonksiyondur.

$$Q = f(K, L) \tag{2.4}$$

$$Q = A.L^{\alpha}K^{\beta} \;\; A \geq 0 \, , \alpha \geq 0 \, , \beta \geq 0 \tag{2.5}$$

İleriki aşamalarda detaylı olarak anlatılacak olan diğer üretim fonksiyonlarını Tablo 2.1'deki gibi gösterebiliriz.

Tablo 2.1: Temel Üretim Fonksiyonu Tipleri

Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu	$Q = A.L^{\alpha}K^{\beta}\ \ A \geq 0\ , \alpha \geq 0\ ,\qquad \beta \geq 0\ ve\ \ \alpha + \beta = 1$
Sabit Esneklikli(CES) Üretim Fonksiyonu	$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-v/\rho}$
Translog Üretim Fonksiyonu	$lnQ = \alpha_0 + \alpha_K lnK + \alpha_L lnL + \beta_{KK}(lnK)^2 + \beta_{KL} lnKxlnL + \beta_{LL}(lnL)^2$
Loentief Üretim Fonksiyonu	$Q = \min[\alpha K, \beta L]$

Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Üretim fonksiyonları, üretim faktörleri ile üretim arasındaki ilişkinin bir belirleyicisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim faktörleri ve üretim arasındaki ilişki İktisat Teorisinin temel konularından biridir. Gerek firma açısından gerek ekonominin bütünü açısından bu ilişkinin nasıl olduğu önem arz etmektedir. Belirli koşullar altında belirli hedeflere ulaşabilmek adına üretim faktörlerinin nasıl kombine edilmesi gerektiği açıklanması gereken temel sorulardan biridir (Avralıoğlu, 1977, 1).

Neo-Klasik teorisyenler mikro ölçekte üretim yapan firmayı bir üretim fonksiyonu ile veya aynı anda birden çok mal üretiyorsa "ürün demeti" olarak tanımlamaktadır. Üretim fonksiyonu, her girdi kombinasyonuna, üretimine imkan verdiği maksimum çıktı seviyesini ifade eder. Üretim fonksiyonu, bilinen veya ulaşılabilir üretim tekniklerini bir araya getirerek bağımlı değişken olarak nitelenen çıktıyı üretmek ve bunu maksimum kılmak için üretim faktörlerini (girdileri) farklı biçimlere dönüştürerek kullanmaktadır. Maksimum çıktıyı elde etmek için girdiler farklı teknikler kullanılarak farklı biçimlerde birleştirilmektedir ve her girdi birleşiminde en etkin tekniğin kullanıldığı varsayılmaktadır. En temel girdiler arasında hammadde, işgücü, enerji ve makineler vardır. Sermaye değişkeni genellikle K ile temsil edilir ve mikro ölçekte üretime giren hammaddelerin, makinelerin sunduğu hizmetin göstergesidir. Belirli bir düzeyde elde edilmek istenen çıktı miktarı farklı yöntemler kullanılarak elde edilebilmektedir (Dönmez, Şahin, Tokdemir, 2017, 255).

Firmalar, teknoloji ya da üretim süreçleri ile girdileri ya da üretim faktörlerini çıktı elde etmek için kullanmaktadır. Birçok girdi kullanılabilmektedir ama bu girdiler 3

temel faktör altında toplanmaktadır. Sermaye hizmeti (K); arazi, bina/yapı (fabrika, mağaza) ve ekipman (makine, araç) gibi uzun ömürlü girdileri kapsamaktadır. Emek hizmeti (L); vasıflı ve vasıfsız işgücünün toplamı olarak ifade edilmektedir. Malzeme; doğal kaynaklar, hammaddeler, işlenmiş ürünler olarak tanımlanmaktadır (Perloff, 2014, 199). Ölçme probleminden bağımsız olarak sermaye; nitelik olarak işgücünden farklı bir yapıya sahip olmasına rağmen işgücü gibi üretime katkıda bulunan bir üretim faktörü olarak ele alınmaktadır. K ve L faktörlerinin birlikte kullanılarak eşlenmesinden ortaya çıkan ekonominin toplam üretimi, faktör ödemelerinin kaynağını oluşturmaktadır (Dönmez, Şahin, Tokdemir, 2017, 255). Firma, üretiminde emek-yoğun bir teknik uygularsa daha fazla emek ve daha az makine kullanıldığı anlamına gelmektedir. Aynı üretim, sermaye-yoğun bir tekniğin uygulanmasını gerektiriyorsa daha fazla makine ve daha az emek kullanılarak sağlanabilir (Işık ve Acar, 2006, 94).

$Q = f(K, L)$ şeklinde tanımlanmış üretim fonksiyonunda K ve L ekzojen, Q ise endojen değişkendir. Yani Q'deki değişmeler, K ve L değişkenlerindeki değişmelerle açıklanmaktadır. İktisadi hayatta değişkenler arasındaki ilişkiler karmaşıklık gösterebilir. Bir değişkenin endojen ve ya ekzojen olarak tanımlamak için ilişkilerin çok iyi belirlenmiş olması gereklidir (Avralıoğlu, 1977, 6-7)

Üretim fonksiyonu incelenirken mikro düzeyden makro düzeye geçişte basitleştirici bazı varsayımlar bulunmaktadır. Ulusal ekonomi düzeyinde üretim fonksiyonu; emek, sermaye faktörleri ile sınırlandırılmıştır. Ancak bu fonksiyon farklı üretim faktörleri ile genişletilebilmektedir. Global üretim fonksiyonu üretim yapısını statik kabul etmektedir. Ayrıca üretimi, sermayeyi ve emeği homojen kabul etmektedir. Üretilen malın yatırım malı ya da tüketim malı olması dikkate alınmamaktadır. Firma düzeyinde mikro üretim fonksiyonundan hareketle makro üretim fonksiyonuna geçildiğinden mikro düzeydeki rasyonalitenin makro düzeyde de varlığı kabul edilmektedir (Unay, 2001, 32).

Toplulaştırılmış/Global üretim fonksiyonu, yaygın olarak emek ve sermaye faktörleri; sektör bazında, endüstrileri kapsayan çalışmalarda ve tüm ekonomiyi kapsayan analizlerde kullanılmaktadır (Fisher, 1969, 553). Cobb-Douglas üretim fonksiyonu, rekabetçi dengedeki tüm girdiler ele alındığında tüm girdilerin gerçek fiyatları marjinal ürünlerin değeri kadar ödendiği, tüm ürünlerin tüketildiği, ölçeğe göre sabit getirinin geçerli olduğu ve ampirik olarak uzun dönemde üretim faktörleri

paylaşımının göreceli olarak incelendiği durumda kolaylıkla ikna edici, açıklanabilir, makul ve doğal kanıtlar sunmaktadır. Bu bulgular Cobb-Doglas üretim fonksiyonunun global/toplulaştırılmış üretim fonksiyonu olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Mishra, 2007, 15). Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun toplulaştırılmış olarak makro düzeyde kullanılabileceği ampirik olarak test edilmiştir ve bu tez çürütülememiştir (Felipe ve Adams, 2005, 442).

Toplumların refah düzeyi, sahip olduğu sınırlı emek, sermaye ve doğal kaynakların kullanılmasıyla yapacağı üretime bağlıdır. Bundan dolayı toplum, refahını maksimum kılmak isteyecektir. Refahın maksimum düzeye ulaşması ise ancak kaynakların en rasyonel şekilde kullanılmasıyla gerçekleşecektir (Unay, 2001, 31). Makro düzeyde üretim fonksiyonu (global üretim fonksiyonu), ülkedeki tüm işletmelerin üretim fonksiyonlarının toplamını ifade etmektedir. İşletmeler sermaye ve emeği kullanarak üretim yapmaktadırlar. Emek ve sermaye veri iken çıktı düzeyini teknoloji belirleyecektir. Teknolojideki gelişme; sermaye ve çıktı veri iken daha fazla üretim yapılmasını sağlamaktadır (Tunca, 2005, 36).

Global üretim fonksiyonu, üretimi global olarak inceleme imkanı veren ve bu üretimin emek ve sermaye arasındaki bölüşümünü görmemize imkan veren 2 faktörlü girdiden oluşan Cobb-Douglas üretim fonksiyonu biçiminde ele alınmaktadır. Fonksiyon; ekonominin tümünde mevcut tüm tekniklerin bir özeti olarak, toplam üretim (çıktı); GSYH gibi global bir büyüklük olarak ele alınmaktadır. Üretim fonksiyonunun biçemi basit bir şekilde tanımlanmıştır. Bu fonksiyonun türevi alınabilir, yani emek ve sermaye ikame edilebilmektedir. Bir ülkenin bütününde, aynı ürünün eldeki imkanlar dahilinde daha az işgücü veya daha fazla emek kullanılarak ya da farklı teknolojilerle üretilmesi olanaklıdır. Ancak bu durum üretimde emek ve sermaye girdilerinden belirli düzeyde hazır olarak bulundurulduğunu ve bu girdilerin tam kullanılmadığını göstermektedir. Sermayenin emeği ikame etmesi, ileri teknolojiye sahip makineler kullanılarak ya da gelişmiş robotik tekniklerle üretim yapılarak mevcut işgücünün belirli bir kısmını işten çıkartarak makinelerin işçilerin yerini alması ile açıklanmaktadır. Emeğin sermayeyi ikame etmesi ise aksine makinelere ve ileri düzeyde robotik tekniklere üretim zincirinde daha az yer verilmesi ile gerçekleşmektedir (Dönmez, Şahin, Tokdemir, 2017, 256-257).

Emek ve sermayenin ikame edilebilirliği bu faktörlerin marjinal verimliliği ilkesini de beraberinde getirmektedir. Emeğin marjinal verimliliği; üretimde kullanılan diğer

faktörler sabitken çalışma zamanındaki bir birimlik değişmenin toplam üründe meydana getireceği yaklaşık değişimi verir. Sermayenin marjnal verimliliği ise diğer üretim faktörleri veri iken sermayede bir birimlik değişmenin toplam üründe neden olacağı değişme olarak ifade edilebilir. Bir ülke bütün olarak dikkate alındığında global üretim fonksiyonunda (K,L) faktör çiftini ülkenin tam olarak kullanılmış kaynakları olarak görmek doğru bir yaklaşım olur (Dönmez, Şahin, Tokdemir, 2017, 257).

Faktörler arasındaki ikame derecesi; faktör donatımı ve teknolojik gelişmenin etkisine bağlı olarak üretimdeki faktör kullanımını, faktör paylarını ve zaman içerisindeki gelişimini çok yakından etkilemektedir. İkame derecesindeki değişiklikler faktör yoğunluklarını etkileyerek kaynakların daha etkin ve rasyonel kullanımında etkin bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra bir ekonomide faktörler arası ikame olanaklarının yükselmesi durumunda faktör fiyatlarına müdahale edilmesiyle teknoloji seçimine yön verilmesi mümkündür (Baray ve Güran, 1986, 20).

2.2. Üretim ve Üretim Fonksiyonu ile ilgili Kavramlar

Her firma çıktı üretmek için çeşitli girdi kombinasyonları belirlemektedir. Firma seçimlerinin anlaşılması için firmanın üretim olanaklarının ve girdi kombinasyonlarının bilinmesi gerekmektedir (Donduran, 2013, 93). Bir üretim vektörü (girdi-çıktı, net çıktı ya da üretim planı),

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots y_n) \in R^n$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Pozitif faktörler çıktıyı negatif faktörler ise girdiyi temsil etmektedir. Bazı faktörler 0 olabilir. Bu faktörler üretimde kullanılmayan faktörler olarak gösterilmektedir (Mas-Collell, Winston ve Green, 1995, 128). Bir firma için teknolojiyi de içine alan uygulanabilir tüm üretim planı, firmanın üretim olanakları seti olarak adlandırılmaktadır ve Y ile gösterilmektedir ($Y \in R^n$). Y, kullanılabilir tüm girdi ve çıktıları temsil etmektedir. Bir üretim yapan firma için net çıktı $(y, -\mathrm{x})$ şeklinde gösterilmektedir. Burda x girdi vektörü y ise birim çıktıyı göstermektedir (Varian, 1992, 2). Üretim fonksiyonunu ise;

$$f(x) = \{y \in R_+^n : y; Y'de - x\ değerine\ karşılık\ gelen\ maksimum\ çıktı\}$$

olarak tanımlayabiliriz. Üretim kümesi/fonksiyonu özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

i. **Y boş olmayandır**. Bu varsayıma göre firma bir şeyler planlamalıdır. Yoksa firma davranışlarını çalışmak anlamsızdır.

ii. **Y kapalıdır.** Y kümesi sınırlarını da kapsamaktadır. Teknolojik olarak ulaşılabilir olan girdi-çıktı vektörlerinin ardışık limiti de ulaşılabilirdir. Bu temel olarak teknik bir koşuldur.

iii. **Bedavacılık yoktur.** $y \in Y \; ve \; y \geq 0$ olduğu durumda y vektörü hiçbir girdi kullanmamaktadır. Girdi kullanmadan üretim yapmak mümkün değildir. Girdi miktarı 0 iken üretim miktarı sıfırdır. Üretim miktarı sıfırdan büyükse kullanılan girdi miktarı da sıfırdan büyüktür.

iv. **Eylemsizlik Olanağı.** $0 \in Y$. Tam olarak kapanma mümkündür. Eğer bir firma teknolojik olanakları olduğu halde organize olmadıysa eylemsizlik açıkça olanaklıdır. Ancak eğer firma üretim kararını zaten almışsa ya da bazı girdilerin nakliyesi için sözleşme imzaladıysa, eylemsizlik olanaklı değildir.

v. **Serbest Elden Çıkarma.** Belirli sayıda girdilerle belirli sayıda çıktı üretmek ve daha sonra istenmeyen çıktıları maliyetsiz bir şekilde yok etmek mümkündür. Yani $y \in Y$ ve $y' \leq y$ (ve y' aynı girdiden daha azıyla aynı miktarda çıktı üretmektedir), o zaman $y' \in Y$'dir. Kısacası, $Y - R_+^n \subset Y$.

vi. **Geri Dönülemezlik.** Belirli miktarda girdi kullanılarak belirli bir düzeyde çıktı üretildikten sonra üretilen çıktı tekrar girdiye dönüştürülemez. $y \in Y$ ve $y \neq 0$ olmak üzere geri dönülemezliğe göre $y \notin Y$ olacaktır. Yani teknolojik olarak olanaklı üretim vektörünü bir miktar çıktıyı girdiye dönüştürmek için kullanmak olanaksızdır.

vii. **Toplanabilirlik.** $y \in Y$ ve $y' \in Y$ olsun. Toplanabilirlik özelliği $y + y' \in Y$ olmasını gerektirmektedir. Bir malı y ve y' gibi iki farklı üretim yöntemi ile üretmek teknolojik olarak mümkün ise o malı bu malların toplamından oluşan bir üretim yöntemi ile üretmekte mümkündür.

viii. **Ölçeğe göre artmayan getiri.** Herhangi bir $y \in Y$ için $\alpha y \in Y \; ve \; \alpha \in [0,1]$ için Y'de ölçeğe göre artmayan getiri söz konusudur.

ix. **Ölçeğe göre azalmayan getiri.** (viii) özelliğinin aksine herhangi bir $y \in Y$ için $\alpha \geq 1$ için $\alpha y \in Y$ ise üretimde ölçeğe göre azalmayan getiri söz konusudur.

x. **Ölçeğe göre sabit getiri.** Bu özellik (viii) ve (ix) özelliklerinin birleşimidir. $y \in Y$ için $\alpha y \in Y$ tüm $\alpha \geq 0$ değerleri için ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur.

xi. **Dış bükeylik (convexity).** Mikroekonominin en temel varsayımlarından biridir. Üretim seti Y'nin konveks olduğunu söylemektedir. Eğer $y, y' \in Y$ ve $\alpha \in [0,1]$ ise $\alpha y + (1-\alpha)y' \in Y$. Dış bükeylik varsayımı üretim olanakları hakkında 2 temel çıkarımda bulunmaya imkan vermektedir. İlki ölçeğe göre artmayan getiri. Eğer eylemsizlik olanaklı ise Y'de ölçeğe göre artmayan getiri söz konusudur. İkincisi ise dengelenmemiş girdi kombinasyonlarının dengelenmiş girdi kombinasyonlarından daha üretken olmadığıdır.

xii. **Y dışbükey bir konidir**. Bu özellik (xi) dış bükeylik ve x ölçeğe göre sabit getiri özelliklerinin birleşimidir. Eğer $y, y' \in Y$ ise $\alpha \geq 0$ ve $\beta \geq 0$ olduğu durumda $\alpha y + \beta y' \in Y$ olmaktadır (Mas-Collell, Winston ve Green, 1995, 133-134; Donduran, 2013, 99).

2.2.1. Eş Ürün Eğrisi ve Teknik İkame Oranı

Eş ürün eğrisi, aynı çıktı düzeyini farklı girdi bileşimleriyle sağlayan noktaların geometrik yeri olarak tanımlanmaktadır. Teknik ikame oranı, eş-ürün eğrisinin eğimini göstermektedir (Varian, 1992, 11). Eş ürün eğrisinin yüksekliği, firmanın üretim sürecindeki emek ve sermaye ikame oranını belirler. Marjinal teknik ikame oranı, eş ürün eğrisi üzerinde girdilerden birinin kullanımı artırıldığında aynı çıktı düzeyinde kalmak için öteki girdiden ne kadar vazgeçilmesi gerektiğini gösteren orandır. Bu aynı çıktı düzeyinde kalmak için emeğin artırılıp sermayenin azaltılması ya da emeğin azaltılıp sermayenin artırılması şeklinde olabilir (Besanko ve Braeutigam, 2014, 221).

Cobb-Douglas tipi bir üretim fonksiyonu için çıktı sabit kalmak koşuluyla K (sermaye) girdisinin miktarı azaltılmak ve L (emek) girdisinin miktarı artırılmak istenirse bu 2 faktör arasındaki teknik ikame oranı ilişkisi Şekil 2.1'deki gibi olacaktır. Üretim farksızlık eğrisi üzerinde bir girdi bileşiminden başka bir girdi birleşimine geçildiğinde, kullanımı azaltılan girdideki azalma miktarının (dK), kullanımı artırılan girdideki artma miktarına (dL), oranına ise marjinal teknik ikame oranı denilmektedir. Eş ürün eğrisinin eğimi marjinal teknik ikame oranı ile ölçülmektedir (Şahin, 2012, 129).

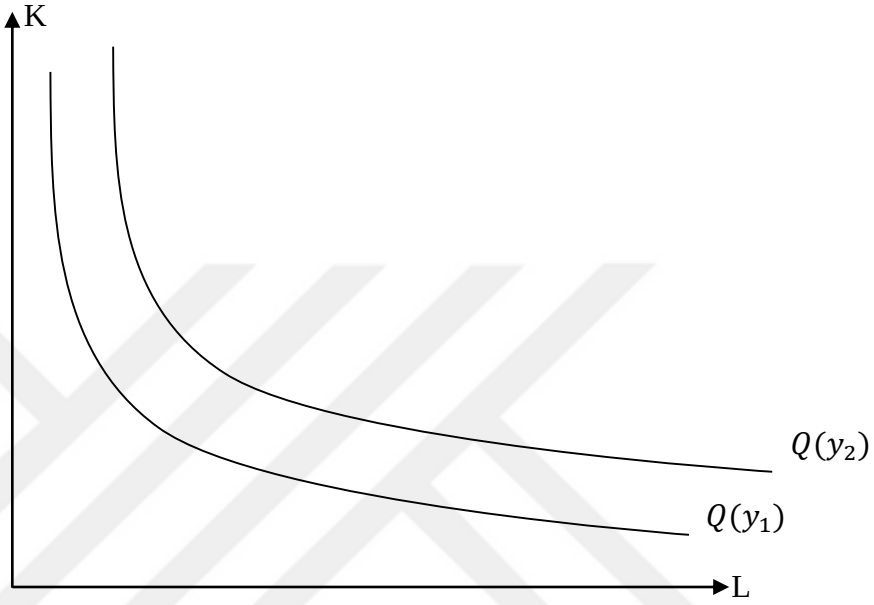
$\bar{Q} = f(K, L)$. $dQ = (dK, dL)$ olarak yazılan girdi seviyelerinde (küçük) değişimlerin bir vektörü olarak tanımlanmıştır. Çıktı seviyesindeki ilgili değişim yaklaşık olarak,

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial K} dK + \frac{\partial Q}{\partial L} dL \tag{2.6}$$

Bu ifade $f(Q)$ fonksiyonun toplam diferansiyeli olarak bilinmektedir. Çıktı sabit kalırsa,

$$0 = \frac{\partial Q}{\partial K} dK + \frac{\partial Q}{\partial L} dL \tag{2.7}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial L} dL = - \frac{\partial Q}{\partial K} dK \tag{2.8}$$



Şekil 2.1: Teknik İkame Oranı

Heathfield, David F. ve Sören Wibe, **An Introduction to Cost and Production Function** (London: Macmillan Education Ltd., 1987), 14.

Eşitlikte (2.8), sol taraf emek girdisinin dL kadar daha fazla kullanımından dolayı meydana gelecek çıktı artışını, sağ tarafı ise sermaye girdisinin dK kadar kullanımından dolayı uğranılan çıktı kaybını temsil etmektedir. Eşitlik (2.7) çözülürse marjinal teknik ikame oranı,

$$MRTS = - \frac{\partial f(Q)/\partial K}{\partial f(Q)/\partial L} \tag{2.9}$$

olarak elde edilir (Donduran, 2013, 109).

Girdilerdeki fiziki ölçüm birimlerinin farklı olması ölçme hatalarına neden olabilmektedir. Üretim fonksiyonunda girdilerin ikame edilebilme ilişkisi Marjinal Teknik İkame Oranı ile ölçülmektedir. Bu oranın ölçüm birimleriyle sıkı bir ilişkisi olduğundan hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu oran yerine üretim faktörleri K ve L'nin ölçüm birimlerinden bağımsız bir değer olan ikame esnekliği, ikame edilebilirlik

derecesinin ölçülmesinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Şahin, 2012, 129).

2.2.2. Esneklik ve Marjinal Ürün Kavramları

Tek çıktı ve birkaç girdiden oluşan bir üretim fonksiyonu için ele alınan girdi kombinasyonu aynı düzeyde çıktı elde edilmesini sağlar. x_j miktarda j^i kadar girdi kullanan bir firma için: $j = 1,2,3, \dots, n$ ve girdi vektörü:

$$\mathrm{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)' \tag{2.10}$$

olarak tanımlandığı durumda girdi uzayındaki mümkün olan tüm girdi vektörleri negatif olamaz, tüm girdiler sürekli olabilir.

$$I = \{\mathrm{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)' \mid x_j \geq 0\}, \qquad j = 1,2, \dots, n \tag{2.11}$$

Tüm girdi bileşimleri için tek bir maksimum çıktı düzeyi vardır. Çıktı ve girdi arasındaki bu ilişki üretim fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. q çıktı miktarı olmak üzere üretim fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$q = f(\mathrm{x}) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{2.12}$$

Üretim fonksiyonunun temel varsayımlarından biri sürekli ve türevlenebilir olması varsayımıdır. Ayrıca üretim fonksiyonu 2 temel aksiyoma sahiptir. 1.aksiyom girdi uzayının alt kümesi olan ekonomik bölgede hiçbir girdinin artmaması ile çıktı artmaz. x^1 ve x^2 bu bölgedeki 2 nokta olmak üzere:

$$\mathrm{x}^1 \geq \mathrm{x}^2 \; ise \; f(\mathrm{x}^1) \geq f(\mathrm{x}^2) \tag{2.13}$$

Bu bölge; üretim fonksiyonun 1. Dereceden kısmi türevleri ile karakterize edilen marjinal ürünlerin negatif olmayacağını göstermektedir (Intriligator, 1987, 178-180).

$$\frac{\partial f}{\partial x_j}(\mathrm{x}) = MP_j(\mathrm{x}) \geq 0, \quad j = 1,2, \dots, n \tag{2.14}$$

Her bir girdi için marjinal ürün verimliliği, çıktının ilgili değişkene göre kısmi türevi ile bulunmaktadır. $Q = f(L, K)$ üretim fonksiyonu için emeğin ve sermayenin marjinal verimliliği:

$$MP_L = \frac{\partial Q}{\partial L} \; ve \; MP_K = \frac{\partial Q}{\partial K} \tag{2.15}$$

şeklinde elde edilecektir. Denklem (2.14)'de tanımlandığı üzere $MP_L > 0\ ve\ MP_K > 0$ olacaktır (Perloff, 2014, 201). n girdili üretim fonksiyonu için Marjinal Ürün vektörü:

$$MP(\mathrm{x}) = \frac{\partial f}{\partial \mathrm{x}}(\mathrm{x}) = \big(MP_1(\mathrm{x}), MP_2(\mathrm{x}), \dots, MP_n(\mathrm{x})\big), \tag{2.16}$$

Ekonomik bölge ise:

$$\big\{\big(\mathrm{x} \in \mathrm{I} \big| MP(\mathrm{x})\big) \geq 0\big\}. \tag{2.17}$$

olarak tanımlanır.

Üretim fonksiyonunun 2.temel aksiyomu ise ekonomik bölgenin konveks alt kümesi (R) için üretim fonksiyonunun Hessian matrisi negatif tanımlıdır.

$$H = H(\mathrm{x}) = \frac{\partial^2 \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}^2}(\mathrm{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2}(\mathrm{x}) & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2}(\mathrm{x}) & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n}(\mathrm{x}) \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1}(\mathrm{x}) & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2}(\mathrm{x}) & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n}(\mathrm{x}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1}(\mathrm{x}) & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2}(\mathrm{x}) & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2}(\mathrm{x}) \end{pmatrix} \tag{2.18}$$

İlgili bölgenin üretim seti:

$$\big\{\big(\mathrm{x} \in \mathrm{I} \big| f(\mathrm{x})\big) \geq q^0\big\}. \tag{2.19}$$

konveks negatif olmayan tüm q^0 için ilgili bölge:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x_j^2}(\mathrm{x}) = \frac{\partial}{\partial x_j}\Big(MP_j(\mathrm{x})\Big) < 0, \quad j = 1,2,\dots,n \tag{2.20}$$

olarak elde edilir. Bu 2 aksiyoma göre var olan konveks bölge, R olarak tanımlanan girdi uzayının ilgili bölümü aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Intriligator, 1987, 180-181).

$$R = \{\mathrm{x} \in \mathrm{I} | MP(\mathrm{x}) \geq 0\},\ \ H(\mathrm{x})\ negatif\ tanımlı \tag{2.21}$$

Üretim fonksiyonu, ölçeğe göre getirileri ve ikame olanakları görmemize imkan vermektedir. Girdilerdeki aynı orandaki değişimin çıktıda nasıl bir değişime neden olacağı ölçeğe göre getirileri göstermektedir. t ölçek faktörü olarak tanımlanırsa üretim fonksiyonundaki tüm girdiler aynı oranda artırıldığında ve çıktıda aynı oranda artıyorsa ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur (Jehle ve Reny, 2011, 133).

$$f(t\mathrm{x}) = tf(\mathrm{x}) \tag{2.22}$$

Girdi uzayı için tanımlı belli bir noktada üretimin esnekliği:

$$\varepsilon(\mathrm{x}): \lim_{\propto\to 1} \frac{\propto}{f(\propto \mathrm{x})} \frac{\partial f(\propto \mathrm{x})}{\partial \propto} = \lim_{\propto\to 1} \frac{\partial lnf(\propto \mathrm{x})}{\partial ln \propto} \tag{2.23}$$

Eşitlik (2.23), ölçek parametresine ($\propto$) göre çıktı esnekliğini verir. Ölçeğe göre sabit (artan, azalan) getiri durumunda çıktı esnekliği 1'e eşittir (büyüktür, küçüktür). Bundan dolayı $f(\propto \mathrm{x}) = f(\propto x_1, \propto x_2, \dots, \propto x_n)$, eşitliğinin her iki tarafının da türevi alınırsa eşitlik (2.20) elde edilir.

$$\frac{\partial f(\propto \mathrm{x})}{\partial \propto} = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial f(\propto \mathrm{x})}{\partial \mathrm{x}_j} \mathrm{x}_j \tag{2.24}$$

Böylece üretim esnekliği aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\varepsilon(\mathrm{x}) = \lim_{\propto\to 1} \frac{\propto}{f(\propto \mathrm{x})} \frac{\partial f(\propto \mathrm{x})}{\partial \propto} = \lim_{\propto\to 1} \frac{\propto}{f(\propto \mathrm{x})} . \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial f(\propto \mathrm{x})}{\partial \mathrm{x}_j} \mathrm{x}_j \,, \tag{2.25}$$

ya da,

$$\varepsilon(\mathrm{x}) = \frac{MP(\mathrm{x})}{f(\mathrm{x})} \mathrm{x} \tag{2.26}$$

Tanımlanan çıktı esnekliği j. girdideki değişime göre yeniden düzenlenirse,

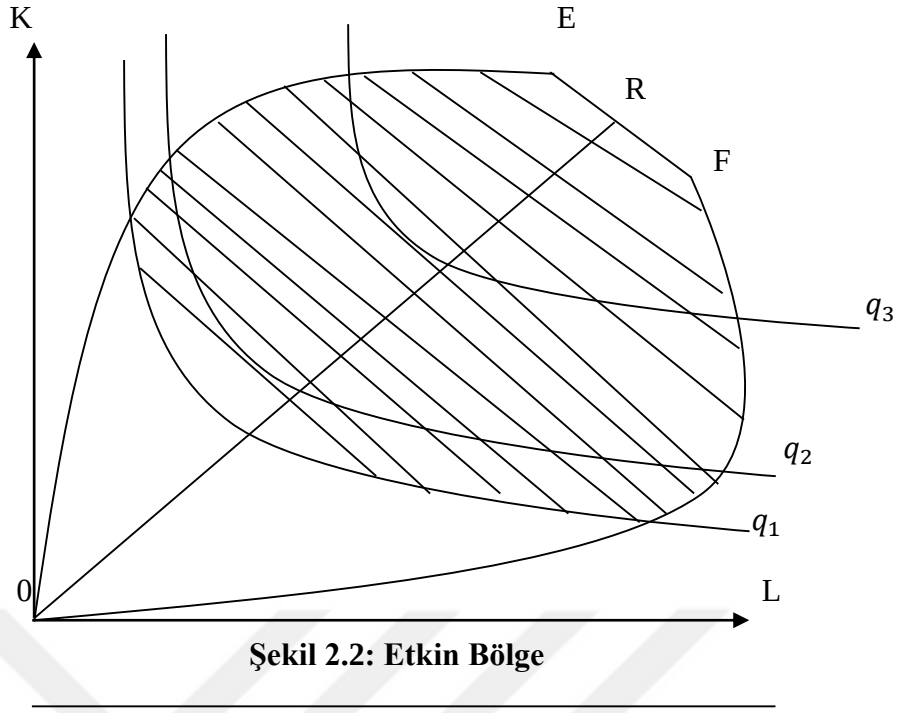
$$\varepsilon_j(\mathrm{x}) = \frac{x_j}{f(\mathrm{x})} \frac{\partial f}{\partial x_j}(\mathrm{x}), \quad j = 1,2, \dots, n \tag{2.27}$$

eşitlik,

$$\varepsilon(\mathrm{x}) = \sum_{j=1}^{n} \varepsilon_j(\mathrm{x}) \tag{2.28}$$

olarak yazılabilir (Intriligator, 1987, 181-182).

Yukarıda tanımlanmış olan etkin bölge Şekil 2.2'deki taralı alandır. OE ve OF arasında kalan bölge üretim yapan firma için etkin bölgedir. Firma bu bölgede üretim yapmak isteyecektir.



Şekil 2.2: Etkin Bölge

Intriligator M. D, **Mathematical Optimization and Economic Theory** (Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1987), 183.

2.2.3. İkame Esnekliği ve İkame Sınırı

İkame esnekliği, aynı çıktı düzeyinde kalmak için girdilerin hangi oranlarda kullanılabileceğinin göstergesidir (Intriligator, 1987, 182). Daha spesifik olarak ikame esnekliği, çıktı sabitken faktör oranındaki yüzde değişimin marjinal teknik ikame oranındaki yüzde değişime oranıdır (Donduran, 2013, 109).

Faktörler arası ikame esnekliği ve bunu etkileyen başlıca etmenlerin bilinmesi ve ya tahmin edilmesi; başta üretim, istihdam ve faktör girdilerinin kullanım oranı olmak üzere iç ve dış piyasa koşulları, izlenen ekonomi politikaları sonucunda ortaya çıkacak olan etkilerin bilinmesinde önemli olacaktır (Baray ve Güran, 1986, 20).

x vektörü ile tanımlı bir üretim fonksiyonu için x_j ve x_k girdilerinin ikame esnekliği denklem (2.29)'de tanımlandığı biçimde hesaplanmaktadır.

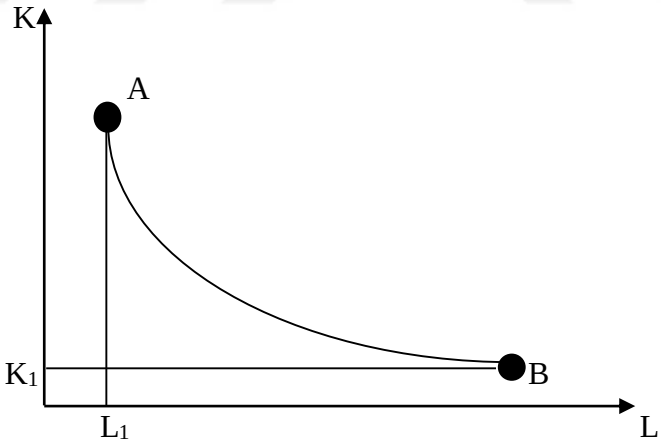
$$\sigma_{jk}(\mathrm{x}) = \frac{dln\left(x_j/x_k\right)}{dln\left(MP_k(\mathrm{x})/MP_j(\mathrm{x})\right)}, \qquad j,k = 1,2,\dots,n \tag{2.29}$$

$Q = f(K,L)$ için ikame esnekliği denklem (2.30)'de tanımlanmaktadır.

$$\sigma_{KL} = \frac{\frac{\Delta(K/L)}{K/L}}{\frac{\Delta(MP_L/MP_K)}{MP_L/MP_K}} = \frac{\Delta(K/L)}{\Delta(MP_L/MP_K)} \cdot \frac{MP_L/MP_K}{K/L} \quad (2.30)$$

İkame esnekliği, eş-ürünün eğimindeki değişimin faktör girdileri oranındaki değişim üzerindeki etkisini göstermektedir. Eğimdeki küçük bir değişim, faktör girdi oranında büyük bir değişime neden oluyorsa eş-ürün eğrisi göreceli olarak düz bir şekilde olacaktır. Bu ikame esnekliğinin büyük olduğunun göstergesidir (Donduran, 2013, 110). İkame esnekliği pozitif değerler almaktadır ($\sigma_{KL} > 0$). İkame esnekliğinin 0 olması ikamenin mümkün olmadığını göstermektedir (Jehle ve Reny, 2011, 129).

Faktörler arasındaki ikame sınırını gösteren Şekil 2.3'de, orijine dışbükey olan eş ürün eğrileri girdiler arasındaki ikamenin sabit oranda gerçekleşmeyeceğini göstermektedir. Faktörlerden biri arttırıldıkça (ya da öteki faktör azaltıldıkça) miktarı artırılan faktörün öteki faktörü ikamesi giderek güçleşmekte ve belirli bir bileşimin ötesinde, faktörlerin birbirini ikamesi artık mümkün olmamaktadır. Zira her malın üretiminde üretim faktörlerinin mutlaka belirli bir oranda birleşmeleri gerekmektedir (Dinler, 2008, 150).



Şekil 2.3: İkame Sınırı

Şahin, Hüseyin, **Mikro İktisat** (Bursa: Ezgi Kitabevi, 2012), 130.

Şekil 2.3'de belirli bir düzeyden sonra girdilerin ikame edilebilirliği yok denecek düzeye gelecektir ve girdiler birbirlerinin tamamlayıcısı haline gelecektir. Bu durumda Marjinal Teknik İkame Oranı 0'dır. Şekil 2.3'ün A noktasında emek girdisi ile sermaye girdisi birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadır. Çıktı seviyesini sabit tutarak emek girdisini L_1 düzeyinin altına indirmek mümkün değildir. Bu noktadan sonra sermayeyi

emeğin yerine ikame etme imkanı bulunmamaktadır (MRTS=0). Aynı şekilde B noktasında sermaye emeğin tamamlayıcısı durumundadır. B noktasının sağında emek girdisi artırılsa bile kendisini ikame edecek K_1 düzeyinden daha düşük seviyede bir sermaye girdisi olmayacaktır. Dolayısıyla A noktasının solunda ve B noktasının sağında kalan girdi birleşimi teknik bakımdan etkin değildir. Rasyonel beklentilerle hareket eden bir firma aynı çıktıyı daha fazla girdi birleşimleri ile üretmeyecektir (Şahin, 2012, 130).

2.3. Üretim Fonksiyonu-Zaman İlişkisi

Girdi ve çıktı arasındaki ilişkileri açıklayan üretim fonksiyonu, girdilerin değiştirilmesine yetecek kadar zamanın olup olmaması göz önüne alınarak kısa ve uzun dönem olarak ayrılmaktadır. Kısa dönem girdilerden en az birinin sabit olduğu dönemdir. Uzun dönem belirli bir peryotta tüm girdilerin değişken olduğu dönemdir. Kısa ve uzun dönem ayrımında önemli olan geçirilen süre değildir. Kısa ve uzun dönem ayrımı girdilerin değişken olup olmaması ile ilgilidir (Arnold, 2008, 172).

2.3.1. Kısa Dönemde Üretim Yasaları: Azalan Verimler Kanunu

İktisatçılar kısa dönemi üretim faktörlerinden sadece birinin değiştirilebileceği zaman uzunluğu olarak tanımlamaktadırlar. Kısa dönem, sermayenin sabit emeğin değişken olduğu ve firmanın kullandığı teknolojinin sabit olduğu dönemdir. Kısa dönemde teknolojinin ve üretim yönteminin değişmediği varsayıldığı için firmanın üretimini artırmasının tek yolu istihdam edilen emek miktarını artırmaktır (Parasız ve Bildirici, 2002, 367). Kısa dönem, üretim fonksiyonu emeğin toplam ürünü olarak ta bilinmektedir. Çıktı miktarı (toplam ürün), diğer değişkenler sabit olduğu için emek miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Emeğin marjinal ürün (MP_L) değeri, sermaye ve teknoloji sabit olduğu için ilave bir birim emek kullanımı durumunda toplam çıktıdaki değişimi göstermektedir. MP_L üretim fonksiyonunun emeğe göre 1.dereceden kısmi türevi ile bulunmaktadır (Perloff, 2014, 201).

$$MP_L = \frac{\partial q}{\partial L} = \frac{\partial f(K,L)}{\partial L} \quad ve \quad \frac{\partial (MP)_L}{\partial L}, \qquad MP_L > 0, \qquad \frac{\partial (MP)_L}{\partial L} < 0 \qquad (2.31)$$

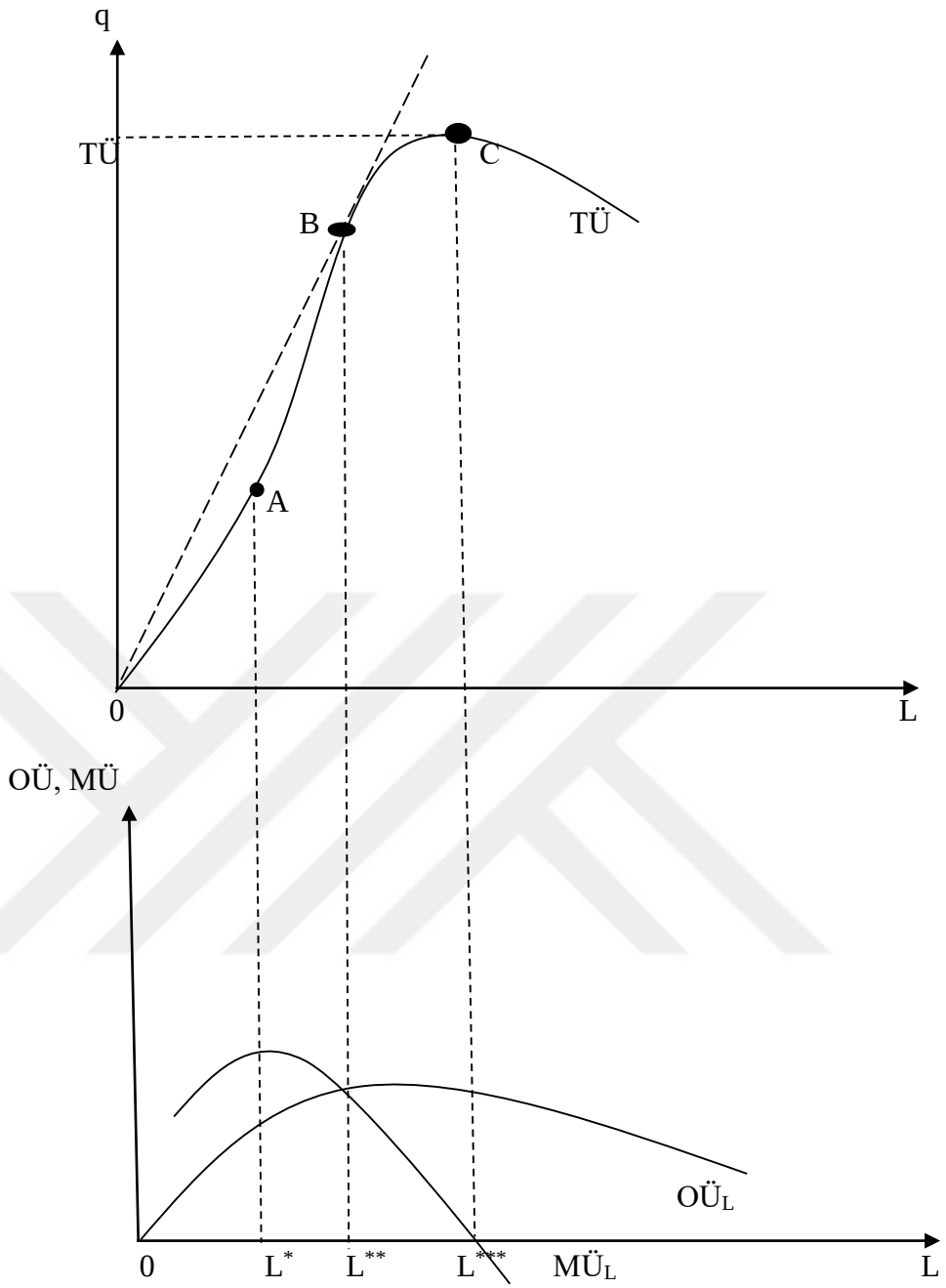
Emeğin marjinal verimliliği pozitiftir ve azalandır. Bu koşul geleneksel üretim fonksiyonu teorisinde eş ürün eğrisinin eğiminin negatif ve orijine göre konveks (xi. varsayım) olduğunu ima etmektedir (Koutsoyiannis, 1975, 72).

Sermayenin belirli bir seviyede tutulup değişken girdinin miktarı arttırılırsa toplam üretim artar. Yani toplam üretim, değişir girdinin kullanılan miktarının artan bir fonksiyonu durumundadır. Ancak bu artış sürekli değildir. Belirli bir seviyeye kadar bu artış devam etmektedir. Toplam ürün maksimum düzeye ulaştıktan sonra değişken girdinin artırılması toplam ürünün azalmasına neden olmaktadır. Fransız İktisatçı Turgot'un (1727-1781) söylediği gibi:

> "Eğer tek bir işçi ilave ederseniz üretim çok fazla olacaktır, ikinci ve üçüncü işçi belki de iki kat üç kat değil, üretim miktarını dört misli ve belki de on misli artıracaktır. Fakat bu gelişme belli bir noktada durur ve üretim en yüksek düzeye ulaşır. Bu noktaya gelindiğinde hala girdiler artırılırsa üretim yine artacak fakat bu artış git gide azalarak devam edecektir. Toprak tamamen tükendiğinde maharet hiç katkıda bulunmayacaktır, girdilerin daha da artırılması üretime mutlak olarak bir katkıda bulunmayacaktır."

Yani yalnız emeği artırarak üretimi devamlı yükseltmek olanaksızdır (Umay, 2001, 39).

Şekil 2.4'de emek girdisi ve toplam çıktı arasındaki ilişki görülmektedir. Başlangıçta emek girdisindeki küçük değişimler çıktı üzerinde büyük bir etki oluşturmaktadır. Toplam ürün eğrisi üzerindeki bir noktada marjinal ürün değeri toplam ürün eğrisine o noktada teğet olan doğrunun eğimine eşittir. A noktasında emeğin marjinal verimliliği maksimumdur ($f' > 0$). Emek kullanımı arttıkça belirli bir noktada (C nokt.) çıktı maksimum düzeye ulaşmaktadır. Bu noktada fonksiyonun birinci türevi 0'a eşittir ($f' = 0$). Bu noktadan sonra emek girdisindeki artış çıktıyı düşürmektedir. Dolayısıyla fonksiyonun birinci türevi negatif değerler almaktadır ($f' < 0$). C noktasından sonra firma üretime devam ettikçe toplam çıktı azalacaktır (Nicholson, 1978, 184-187). Şekil 2.4'de görüldüğü üzere faktörlerden biri sabitken değişir faktörün miktarının artırılması değişir girdinin ilk önce artmasına belirli bir noktadan sonra azalmasına neden olmaktadır. Bu durumu İktisatçılar azalan verimler kanunu ya da değişen girdi oranları kanunu olarak tanımlamaktadır. Azalan verimler kanunu girdilerin göreli miktarları ile ilgili bir durumdur. Girdilerin tümünün artırıldığı durumda geçerliliğini kaybetmektedir (Ada ve diğ., 1998, 64-65). Toplam ürün eğrisi üzerinde bulunan bir noktayı orijine birleştiren doğrunun eğimi ortalama ürüne eşittir. Ortalama ürün eğrisi ise B noktasına kadar yükselmekte daha sonra düşmektedir. Marjinal ürün eğrisi ortalama ürün eğrisinin üzerinde (MÜL>OÜL) iken ortalama ürün eğrisi yükselmektedir. Marjinal ürün eğrisinin ortalama ürün eğrisini kestiği B noktasında ortalama ürün maksimum düzeydedir (Ünsal, 2014, 308).



Şekil 2.4: Azalan Verimler Yasası

Nicholson, Walter, **Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions** (Hinsdale, Illinois: The Dryden Press, 1978), 184.

TÜ'deki değişim hızı fonksiyonun ikinci türevi ile ölçülmektedir. Değişken olan girdideki aynı miktardaki artış toplam üründe giderek daha büyük miktarda bir artışa neden oluyorsa artan verim söz konusudur. Yani toplam çıktının emeğe göre ikinci türevi pozitiftir ($\partial^2 q/\partial^2 L > 0$). TÜ'deki bu artış bir zaman sonra değişken girdideki miktar artırılsada verimin değişmedeği safhaya doğru gidecektir. Bu durumda çıktının değişken girdiye göre ikinci türevi 0'dır ($\partial^2 q/\partial^2 L = 0$). Üretim fonksiyonunda bu

safhadan sonra değişken girdi miktarı artırılmaya devam edilirse azalan verim safhasına geçilir. Azalan verim, toplam üründeki artış hızının düşmesi anlamındadır. Toplam ürün miktarının azalmasını ifade etmemektedir. Bu durumda fonksiyonun ikinci türevi 0'dan küçük olacaktır (Şahin, 2012, 120).

Kısa dönemde değişir girdinin belirli bir noktadan sonra azalmasının nedeni, üretim faktörlerinin "optimal faktör bileşim oranı" ile açıklanabilmektedir. Bu oran girdi bileşim oranındaki (L/K) en yüksek verim düzeyini göstermektedir. Başlangıçta değişken girdi miktarı artırıldıkça girdi bileşim oranındaki değişken girdi miktarı daha yüksek olacak ve girdi bileşim oranı yüksek olacaktır. Optimal bileşim oranına kadar sabit faktör kullanılmadığı için aylak kapasite ile karşılaşılmaktadır. Değişken girdi miktarındaki artış sabit girdiden kaynaklanan aylak kapasitenin kullanılmasını sağlamaktadır ve L/K oranı artmaktadır. Emek miktarındaki kullanımın artması uzmanlaşma ve iş bölümünü beraberinde getirmektedir. Bu da üretime bir öncekinden daha fazla katkı sağlayarak verimlilik artışı sağlamaktadır. Optimal bileşim oranına kadar değişken girdideki artış üretime olumlu katkı sağlayacaktır. Bu orandan sonra değişken girdi kullanımındaki artış değişken faktördeki verimin düşmesine neden olmaktadır. Böylece değişken faktörün sabit faktörü ikame etmesi güçleşmektedir. Bu süreç iki faktör arasındaki "tamamlayıcılık oranına" kadar devam eder. Başlangıçta faktörler arasındaki tamamlayıcılık ilişkisi güçlüdür. Girdiler arasındaki tamamlayıcılık ilişkisi zayıfladıkça değişken girdinin marjinal ve ortalama verimleri düşmektedir (Parasız, 2002, 100-101).

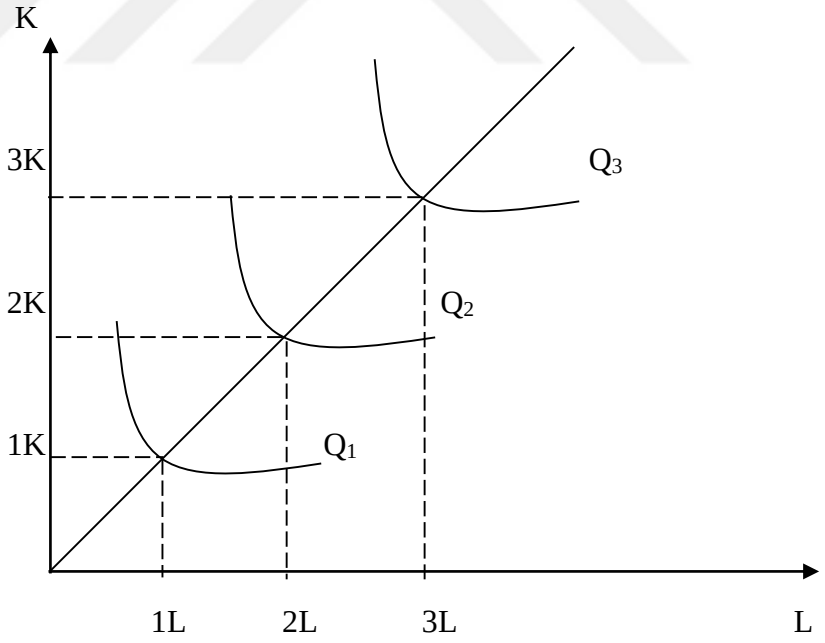
2.3.2. Uzun Dönemde Üretim Yasaları: Ölçeğe Göre Getiri İlişkileri

Uzun dönem; tüm girdilerin ve teknolojinin değişken olduğu dönem olarak tanımlanmaktadır. Bu dönemde üretim yasaları ölçeğe göre getiri ile açıklanabilmektedir. Tüm girdiler belirli bir oranda artırıldığında veya azaltıldığında çıktıdaki değişimin nasıl olacağı üretim fonksiyonunun niteliğine bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Girdiler pozitif marjinal ürüne sahipse, tüm girdilerin miktarı artırıldığında firmanın ölçeği artacaktır. Tüm girdiler artırıldığında çıktıdaki değişimin nasıl olacağı ölçeğe göre getiriler ile öğrenilebilmektedir (Besanko ve Braeutigam, 2014, 221). Denklem 2.32'de tanımlanan Cobb-Douglas üretim fonksiyonu için 3 durum söz konusudur.

$$Q = A.L^{\alpha}K^{\beta} \quad A \geq 0\,, \alpha \geq 0\,, \beta \geq 0 \qquad (2.32)$$

1.durum: Üretim fonksiyonu birinci dereceden büyük homojen ($\alpha+\beta > 1$) ise, uzun dönemde tüm girdiler aynı oranda artırılırsa, ceteris paribus (teknoloji ve girdi fiyatları veri iken) çıktı daha büyük bir oranda artar. Burada çıktıdaki artış, girdilerin marjinal katkıları toplamından büyüktür. Bu durumda ölçeğe göre artan getiri söz konusudur ve üretim ölçeği büyüdükçe ölçeğin ortalama verimi artıp, ortalama maliyetler düşecektir. Bunun nedeni ise pozitif ölçek ekonomileridir (Şahin, 2012, 140). Bu durumda Şekil 2.5'teki ilişki $Q_2 / Q_1 > 2$, $Q_3 / Q_2 > 1.5$ ve $Q_3 / Q_1 > 3$ şeklinde olacaktır.

Ölçeğe göre artan getirinin nedenlerinden biri teknik ekipmanların bölünmezliğidir. Ekipmanların bölünmezliği, üretim arttıkça teknik ekipman kullanımını artırdığından dolayı ekipmanın boşta kalma süresini azalmaktadır ve verimliliğin artmasına neden olmaktadır. Bir diğer neden ise iş bölümünün artması ile uzmanlaşmanın artması ve bununla birlikte verimliliğin artmasıdır (Koutsoyiannis, 1975, 81). 2 küçük fabrikada üretim yapımak yerine tek büyük bir fabrikada üretim yapıldığında; operasyon, bakım, makine arızaları daha düşük seviyede olacaktır. Emek ve sermayenin de daha etkin kullanımı ile etkinlik artacaktır (Perloff, 2014, 217).



Şekil 2.5: Ölçeğe Göre Getiri

Koutsoyiannis, A, **Modern Microeconomics** (London: The Macmillan Press Ltd., 1975), 79.

2.durum: Firma üretimde kullandığı girdi miktarlarını aynı oranda değiştirdiğinde ürettiği çıktı miktarı da aynı oranda değişir ($\alpha+\beta =1$). Bu durumda ölçeğe göre sabit

getiri geçerli olmaktadır. Başka bir ifade ile ölçeğin verimi sabittir (Ünsal, 2014, 318). Ölçeğe göre sabit getiri durumunda Şekil 2.5'teki ilişki, $Q_2/Q_1 = 2$, $Q_3/Q_1 = 3$, $Q_3/Q_2 = 1.5$ şeklinde olacaktır.

3.durum: $\alpha+\beta < 1$ ise, üretimdeki artış üretim faktörlerindeki artıştan oransal olarak daha düşüktür. Bu durumda ölçeğe göre azalan getiri söz konusudur (Parasız, 1998, 55). Firmanın ölçeği büyüdükçe çıktı azalan oranda artar ve ölçeğin ortalama verimi düşer (Şahin, 2012, 142). Ölçeğe göre azalan getiri durumunda ise Şekil 2.5'deki çıktı ilişkisi $Q_2 / Q_1 < 2$, $Q_3 / Q_2 < 1.5$ ve $Q_3 / Q_1 < 3$ şeklinde olacaktır.

Ölçeğe göre azalan getirinin temel nedenlerinden biri yönetimin firmanın çeşitli bölümlerindeki koordinasyonu sağlayamamasıdır. Bir diğer neden ise tükenebilir doğal kaynaklardır. Örneğin; madencilik ve petrol sektörlerinde firma büyüklüğünü iki katına çıkarmak çıktıyı iki kat artırmayabilir (Koutsoyiannis, 1975, 82). Firma büyüklüğü arttıkça koordinasyon, organizasyon ve bütünleşme aktiviteleri zorlaşacaktır. Küçük takımları oluşturmak ve yönetmek daha kolaydır. Firmadaki girdi miktarı artırıldığında çeşitli ürünlerin üretilmesi için daha fazla işgücüne ihtiyaç duyulması ve bu işgücünün koordinasyonunun sağlanamaması ölçeğe göre azalan getirinin temel nedenlerindendir (Perloff, 2014, 217).

Ölçek ekonomileri ile ölçeğe göre getiri birbirinden farklı kavramlardır. Ölçek ekonomileri faktör fiyatlarını ve üretimin değerini temel alırken ölçeğe göre getiriler fiziksel koşullarda açıklanmaktadır (Parasız, 1998, 53).

2.4. Üretim Fonksiyonlarına Enerjinin Ayrı Bir Üretim Faktörü Olarak Girmesi

Enerjinin ekonomide önemli bir role sahip olduğu Nicholas Georgescu-Roegen tarafından 1971 yılında belirtilmiştir. Enerjinin çok yönlü olarak kullanıldığı ve ekonomide tamamlayıcı bir rol üstlendiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte Yom-Kippur ve İran-Irak savaşından dolayı ortaya çıkan enerji krizi ABD ekonomisini ve birçok ekonomiyi tehdit etmiştir. Bu gelişmeler enerjiden bağımsız bir üretim fonksiyonu olmayacağını ve enerjinin emek ve sermaye girdileri kadar önemli bir üretim faktörü olduğunun görülmesine imkan sağlamıştır (Tintner ve diğ, 1974; Hudson ve Jorgenson, 1974; Berndt ve Wood, 1979; Aktaran: Mishra, 2007, 10).

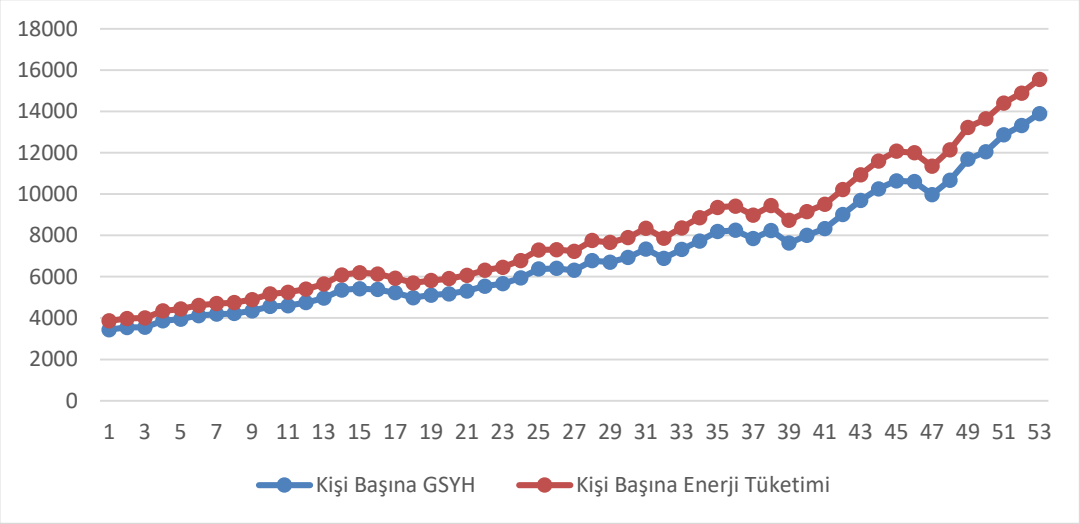
Üretim için gerekli girdilerin kullanımında bazen düşük düzeyde bazen daha yüksek düzeylerde enerji kullanımı gereklidir. Tüm üretim için de belirli bir düzeyde

enerji gereklidir. Emek, sermaye ve doğal kaynaklar tekrarlanabilir/yeniden kullanılabilir faktörler iken enerji yeniden kullanılamayan üretim faktörüdür (Stern, 2004, 37).

Sermaye ve emek, ekonomik üretim fonksiyonunu açıklamada yeterli görülebilir. Ancak enerjinin ekonomideki rolü görülmek istendiğinde enerjinin bir girdi olarak üretim fonksiyonuna dahil edilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak pratikte enerji 3. üretim faktörü olarak üretim fonksiyonunda kullanılmaktadır (Bruns, 2012, 3).

Enerji, sermaye ve emek ikame edilebilir üretim faktörleridir. Enerji girdisindeki pahalılaşma; enerji, sermaye ve malzeme kullanımını azaltmaktadır. Bu durum üretim yapan firmanın daha fazla emek-yoğun üretim tekniklerini kullanmasına neden olmaktadır. Toplam enerji kullanımındaki azalış emek ve sermaye girdilerinin kullanımını azaltmaktadır (Hudson ve Jorgenson, 1974, 504).

Türkiye için 1963-2015 dönemine ait kişi başına enerji tüketimi ve kişi başına GSYH ilişkisi Şekil 2.13'de gösterilmektedir. Şekilde enerji tüketimi ve GSYH arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6: Kişi Başına GSYH ve Kişi Başına Enerji Tüketimi (1963-2015)

Dünya Bankasından alınan verilerle yazar tarafından hazırlanmıştır.

2.5. Üretim Fonksiyonu Kullanım Alanları ve Faydaları

Ekonomistler kıt kaynakları en verimli şekilde kullanmak için çeşitli modeller geliştirmişlerdir. Girdilerin faktör ilişkilerini gösteren ve bunun çıktı üzerindeki etkisini ölçmeye yarayan üretim fonksiyonu da bu modellerden biridir. Üretim

fonksiyonu, bir firma için kullanılabildiği gibi, bir endüstri için veya daha geniş kapsamlı olarak ekonominin tamamı için kullanılabilmektedir.

Üretim fonksiyonu üretimde geçerli olan verim, kanun ve prensiplerin açıklanmasında önemli bir role sahiptir. Girdilerdeki değişikliklerin çıktıdaki etkisinin dönemsel analizleri, ölçeğe göre getiriler, azalan verimler kanunu, esneklik hesaplamaları gibi İktisat Teorisinde önemli bir yere sahip kavramların açıklanmasında da üretim fonksiyonlarından faydalanılmaktadır (Dinler, 2008, 138).

Üretim fonksiyonu ekonomik analizlerin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Temel olarak ekonomik büyüme analizlerinde, uluslararası ve bölgelerarası ticarette optimal modelin belirlenmesinde, teknolojik değişimin ölçülmesinde ve faktör paylaşımlarının ölçülmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Lu, 1967, 6).

Üretim fonksiyonu üretim faktörleri arasında ikame ilişkilerini görmemize imkan sağlamaktadır. Üretim faktörlerinden sermaye değişkeni arzında bir azalma meydana gelmesi durumunda emek değişkenin durumunun ölçülmesine yardımcı olmaktadır. Üretim faktörlerinin rakamlarla ifadesi üretim fonksiyonu ile mümkündür. Sermaye değişkeni içerisinde bina gibi demirbaşlar bulunduğu gibi makine, teçhizat gibi teknolojik gelişmeye açık olan araçlarda bulunmaktadır (Solow, 1955, 103). Teknolojideki gelişme çıktı üzerinde olumlu etkiye sebep olmaktadır. Daha az faktör kullanarak aynı miktarda ya da daha fazla miktarda üretim yapılabilmesi teknolojinin ilerlemesi ile mümkündür. Teknolojik gelişme sermaye mallarının geliştirilmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu noktada teknolojideki gelişmeleri sermaye değişkeninden bağımsız olarak bir değişken olarak ele almak gerekmektedir. Üretim fonksiyonu teknolojik değişimi ölçmemize de yardımcı olmaktadır (Brown ve De Cani, 1963, 297).

3. TEMEL ÜRETİM FONKSİYONU MODELLERİ

İktisat literatüründe üretim fonksiyonu olarak tanımlanmış farklı üretim fonksiyonu modelleri bulunmaktadır. Bu bölümde Cobb-Douglas, Sabit İkame Esneklikli (Constant Elasticity of Substitution) ve Translog (Transcendental Logarithmic) üretim fonksiyonu modellerinin temel özellikleri, homojenlikleri, ölçeğe göre getiri ilişkileri, ikame esneklik değerleri hesaplanacaktır.

3.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu

Cobb-Douglas üretim fonksiyonu doğrusal olmayan bir formda genel olarak,

$$Q = A.L^{\alpha}K^{\beta} \;\; A \geq 0\,, \qquad 0 < \alpha < 1\,, \qquad 0 < \beta < 1 \tag{3.1}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Fonksiyon Charles W. Cobb ve Paul H. Douglas (1928) tarafından tanımlanmıştır. Burada;

Q: Çıktı miktarı

A: Teknolojik gelişme parametresi

K: Sermaye girdisi

L: Emek girdisi

α: Çıktının emeğe göre esneklik parametresi

β: Çıktının sermayeye göre esneklik parametresini ifade etmektedir.

Cobb-Douglas fonksiyonu 1.dereceden türdeş bir fonksiyondur. 1.dereceden türdeş olan C-D fonksiyonu,

$$Q = A.L^{\alpha}K^{1-\alpha} \;\; A \geq 0\,, 0 < \alpha < 1 \tag{3.2}$$

şeklinde yazılabilir (Cobb ve Douglas, 1928, 152).

3.1.1. C-D Üretim Fonksiyonu Özellikleri

Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

i. K ve L 0 ise çıktı 0 olacaktır.

ii. K veya L artar ise Q artar.
iii. Toplam faktör verimliliği (A) artarsa faktörlerin marjinal ürün değerleri artar.
iv. L değeri büyüdükçe emeğin marjinal verimliliği azalmaktadır. K değeri büyüdükçe sermayenin marjinal verimliliği azalmaktadır.
v. Faktörlerden birinin üretimi artarsa diğer faktörün marjinal ürün değeri artar (Hoover, 2012, 327-328).

C-D üretim fonksiyonunun diğer özellikleri ise,

i. CD fonksiyonu $\alpha + \beta$ dereceden homojendir.
ii. Fonksiyonda α, üretimin işgücüne göre esnekliğini, β ise üretimin sermayeye göre esnekliğini vermektedir.
iii. CD fonksiyonunda K ve L arasındaki ikame esnekliği (σ_{LK}) 1'e eşittir (Nam, 1975, 43).

3.1.2. C-D Fonksiyonunun Homojenliği

Matematiksel olarak homojenlik,

$$f(tx) = t^i f(x) \tag{3.3}$$

olarak tanımlanmaktadır ve bu fonksiyonda i, fonksiyonun homojenlik derecesini göstermektedir. C-D fonksiyonu için bu eşitlik aşağıdaki gibi olacaktır.

$$t.Q = tA.(tL)^{\alpha}(tK)^{1-\alpha} \tag{3.4}$$

$$Q' = A.tK^{1-\alpha} \tag{3.5}$$

$$Q' = t^1 Q \tag{3.6}$$

Denklem (3.6)'de görüldüğü üzere CD fonksiyonu 1.dereceden homojen (türdeş) bir fonksiyondur.

3.1.3. C-D Üretim Fonksiyonunda Ölçeğe Göre Getiri

Cobb-Douglas üretim fonksiyonu;

$$Q = A.L^{\alpha}K^{\beta} \tag{3.7}$$

olarak tanımlanırsa ölçek ilişkisi denklem (3.8)'deki gibi olacaktır.

$$f(tL, tK) = (tL)^{\alpha}.(tK)^{\beta} = t^{\alpha+\beta}.L^{\alpha}K^{\beta} = t^{\alpha+\beta}f(L,K) \tag{3.8}$$

Ölçeğe göre getiri, üretim faktörlerindeki eş anlı olarak ortaya çıkan değişmeye karşı, çıktının duyarlılığını göstermektedir. Üretim faktörleri aynı oranda artırıldığında çıktı aynı oranda artıyorsa ölçeğe göre sabit getiri ($\alpha + \beta = 1$) söz konusudur. Üretim faktörleri aynı oranda artırıldığında çıktı daha yüksek bir oranda artıyorsa ölçeğe göre artan getiri ($\alpha + \beta > 1$) geçerlidir. Ancak üretim faktörleri aynı oranda artırıldığında çıktı daha düşük bir oranda artıyorsa ölçeğe göre azalan getiri ($\alpha + \beta < 1$) söz konusudur (Varian, 1992, 17). C-D fonksiyonu 1.dereceden homojen bir fonksiyon olduğu için ölçeğe göre sabit getiri geçerlidir (Cobb ve Douglas, 1928).

3.1.4. C-D Üretim Fonksiyonunda Marjinal Teknik İkame Oranı

Emeğin marjinal verimliliği, ilave bir birim emeğin çıktıya yaptığı katkıyı ifade etmektedir. Emeğin marjinal verimliliği, C-D üretim fonksiyonu için çıktının emeğe göre 1.türevi alınarak bulunmaktadır (Perloff, 2014, 201). Bu durumda emeğin marjinal verimliliği,

$$MP_L = \frac{\partial Q}{\partial L} = \alpha . A . L^{\alpha-1} . K^{\beta} = \alpha . \frac{Q}{L} \tag{3.9}$$

Sermayenin marjinal verimliliği,

$$MP_K = \frac{\partial Q}{\partial L} = \beta . A . L^{\alpha} . K^{\beta-1} = \beta . \frac{Q}{K} \tag{3.10}$$

Marjinal teknik ikame oranı (MRTS),

$$MRTS_{L,K} = \frac{MP_L}{MP_K} = \frac{\alpha . A . L^{\alpha-1} . K^{\beta}}{\beta . A . L^{\alpha} . K^{\beta-1}} = \frac{\alpha}{\beta} . \frac{K}{L} \tag{3.11}$$

şeklinde olacaktır. Literatürdeki bir çok çalışma emeğin marjinal verimliliğinin sermayenin marjinal verimliliğinden daha yüksek çıktığını göstermektedir (Berndt, 1976).

3.1.5. C-D Fonkisyonu İkame Esnekliği

İkame esnekliği; faktörler arasındaki oransal değişmenin, marjinal teknik ikame oranındaki oransal değişmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. İkame esnekliği faktörler arası ikame kolaylığını ölçmektedir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu için ikame esnekliği:

$$\sigma = \frac{\frac{\partial(\frac{K}{L})}{K/L}}{\frac{\partial(MRTS)}{MRTS}} = \frac{\Delta(\frac{K}{L})}{K/L} \cdot \frac{MRTS_{L,K}}{\Delta MRTS_{L,K}} = \frac{\Delta(\frac{K}{L})}{\Delta MRTS_{L,K}} \cdot \frac{MRTS_{L,K}}{\left(\frac{K}{L}\right)} \quad (3.12)$$

$$= \frac{\Delta(\frac{K}{L})}{\Delta MRTS_{L,K}} \cdot \frac{\left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{K}{L}\right)}{(K/L)} = \frac{\Delta\left(\frac{K}{L}\right)}{\Delta MRTS_{L,K}} \cdot \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \quad (3.13)$$

$$\sigma = \frac{\Delta(\frac{K}{L})}{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \cdot \Delta(\frac{K}{L})} \cdot \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) = 1 \quad (3.14)$$

İkame esnekliğinin 1 olması $\alpha + \beta = 1$ olduğunu göstermektedir. Bu aynı zamanda esnekliğin $\varepsilon = \alpha + \beta = 1$ olduğunu da göstermektedir.

ε = 1 ise $(\alpha + \beta = 1)$ ölçeğe göre sabit getiri

$\varepsilon > 1$ ise $(\alpha + \beta > 1)$ ölçeğe göre artan getiri

$\varepsilon < 1$ ise $(\alpha + \beta < 1)$ ölçeğe göre azalan getiri söz konusudur.

3.1.6. C-D Üretim Fonksiyonu Tahmin Modeli

Tahmin modelinde 2 faktörlü olan C-D modeline enerji değişkeni de eklenmiştir. Burada enerji değişkeni de eklenirse doğrusal olmayan bir şekilde model:

$$Y = A.L^{\alpha}K^{\beta}E^{\theta} \quad (3.15)$$

Modelin doğal logaritması alınırsa:

$$lnY_t = lnA + \alpha lnL_t + \beta lnK_t + \theta lnE_t + u \quad (3.16)$$

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında $\alpha + \beta + \theta = 1$ olacaktır. u hata terimini göstermektedir.

Yatay kesit ile yapılan çalışmalarda genellikle ölçeğe göre sabit getiri varsayımı sağlanmaktadır. Ancak zaman serilerinde daha farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Berndt, 1976).

3.2. Sabit İkame Esneklikli Üretim Fonksiyonu (Constant Elasticity of Substitution-CES)

Arrow ve diğ. (1961), tarafından geliştirilen ve yazarların baş harfleri alan ACMS modeli olarakta bilinen model; literatürde genellikle CES üretim fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. CES üretim fonksiyonu 1.dereceden türdeş bir fonksiyondur.

$$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \tag{3.17}$$

Daha sonra Paroush (1966), tarafından yapılan çalışmada CES fonksiyonun v. dereceden homojen olduğunu gösterilmiştir. Paroush'un katkılarıyla fonksiyon şu şekli almıştır.

$$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-\frac{v}{\rho}} \tag{3.18}$$

Q: Çıktı

γ: Teknolojik gelişme katsayısı

L , K: Üretim Faktörleri

ρ: İkame parametresi

v: Sermayenin emeğe oranı

δ: Çıktının sermaye esnekliği

$1-\delta$: Çıktının emek esnekliği

CES fonksiyonunun genel formu ise,

$$Q = \gamma\left(\sum_{i=1}^{n} \delta.z_i^{\rho/\rho_1}\right)^{-v/\rho} ve\ z_i = \sum_{j=1}^{n_1} \delta_{j,i}\, x_{j,i}^{-\rho_1}\ \ \forall_i = 1,2,\dots\dots\dots\dots,n \tag{3.19}$$

şeklindedir. Ancak bu spesifikasyon normalizasyon gerektirmektedir.

$$\sum_{i=1}^{n} \delta_i = 1\ ve \sum_{j=1}^{n_1} \delta_{j,i} = 1\ \ \forall i = 1,\dots\dots\dots,n \tag{3.20}$$

CES fonksiyonu günümüzde makroekonomik programlama modellerinde, özellikle bölgelerin ekonomik büyümelerinde, uluslararası ticarette, enerji ekonomisinde kullanılmaktadır. Ancak parametreler genellikle ampirik kanıtlar yerine sezgiye dayalı tahminlere dayanmaktadır. CES fonksiyonu doğrusal olmayan bir

forma sahiptir. Fonksiyonun doğal logaritması alınarak doğrusal hale getirilememektedir (Henningsen ve Henningsen, 2011, 1-2).

Henningsen ve Henningsen (2011) geliştirmiş oldukları optimizasyona dayalı limit yaklaşımı ile 3 ve 4 girdili CES fonksiyonu tahminini gerçekleştirebilmektedir ve bu yaklaşımın daha güvenli sonuç verdiğini belirtmektedir.

3.2.1. CES Üretim Fonksiyonu Özellikleri

Sabit İkame Esneklikli üretim fonksiyonunun temel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

i. Fonksiyon v. dereceden homojendir.
ii. Parametrelerin sabit değerleri için pozitif ve azalan marjinal verimlilik söz konusudur.
iii. K ve L arasındaki ikame esneklik katsayısı sabittir ($\sigma_{LK} = 1/1 + \rho$). Ancak C-D fonksiyonunda olduğu gibi 1'e eşit olmak zorunda değildir.
iv. CES fonksiyonu C-D ve sabit katsayılı fonksiyonu özel haller olarak içine almaktadır (Tsang, 1971, 38).

Nitekim CES fonksiyonunda $\rho = 0$ olduğu durumda CD fonksiyonu elde edilmektedir. Fonksiyon $\rho = 0$ için bir belirsizlik durumunu gösterse de bu belirsizlik L'hospital kuralı ile giderilmektedir (Avralıoğlu, 1977, 44).

$$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \tag{3.21}$$

İki tarafın logaritması alınırsa

$$log\frac{Q}{\gamma} = -\frac{1}{\rho} - log[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}] \tag{3.22}$$

elde edilir. Burada L'hospital kuralına göre;

$$\lim_{\rho\to 0} log\frac{Q}{\gamma} = \lim_{\rho\to 0}\frac{\frac{-1}{d\rho} - dlog[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]}{\frac{d\rho}{d\rho}} \tag{3.23}$$

$$= \lim_{\rho\to 0}\frac{\frac{-d}{d\rho} - [\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]}{\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}} \tag{3.24}$$

$\rho = 0$ için payda 1'e eşit olduğu için ihmal edilirse,

$$\lim_{\rho \to 0} log\frac{Q}{\gamma} = \lim_{\rho \to 0} \frac{-d}{d\rho} - [\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}] \quad (3.25)$$

$$= \lim_{\rho \to 0} -[-\delta K^{-\rho} logK - (1-\delta)L^{-\rho} logL] \quad (3.26)$$

$$= \delta logK + (1-\delta)logL \quad (3.27)$$

$$log\frac{Q}{\gamma} = log\left[K^{\delta}L^{1-\delta}\right] \quad (3.28)$$

$$Q = \gamma K^{\delta} L^{1-\delta} \quad (3.29)$$

3.2.2. CES Fonkisyonunun Homojenliği

CES üretim fonksiyonu v. dereceden homojendir (Paroush, 1966). CES fonksiyonunun homojenliğini aşağıdaki biçimde gösterebiliriz.

$$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-\frac{v}{\rho}} \quad (3.30)$$

$$Q = \gamma.[\delta t^{-\rho} K^{-\rho} + (1-\delta)t^{-\rho} L^{-\rho}]^{-\frac{v}{\rho}} \quad (3.31)$$

$$Q = \gamma.[t^{-\rho}(\delta K + (1-\delta)L^{-\rho})]^{-\frac{v}{\rho}} \quad (3.32)$$

$$Q' = t^{-\rho.(-\frac{v}{\rho})}.Q = t^{v} \quad (3.33)$$

3.2.3. CES Üretim Fonksiyonunda Ölçeğe Göre Getiri

CES üretim fonksiyonu için ölçeğe göre getirilerin belirleyicisi fonksiyonun homojenlik derecesidir (Paroush, 1966). Eğer,

$v = 1$ ise ölçeğe göre sabit getiri

$v > 1$ ise ölçeğe göre artan getiri

$v < 1$ ise ölçeğe göre azalan getiri söz konusu olmaktadır.

3.2.4. CES Üretim Fonksiyonunda Marjinal Teknik İkame Oranı

Çıktı fonksiyonunun emeğe göre 1.dereceden türevi bize emeğin marjinal verimliliğini vermektedir (Heathfield ve Wibe, 1987, 99).

$$MP_L = \frac{\partial Q}{\partial L} = \gamma.\frac{-v}{\rho}\,[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{(-\frac{v}{\rho}-1)}.-\rho.L^{-\rho-1}.1-\delta \quad (3.34)$$

Aynı şekilde çıktı fonksiyonun sermayeye göre 1.derece türevi bize sermayenin marjinal verimliliğini vermektedir.

$$MP_K = \frac{\partial Q}{\partial K} = \gamma.\frac{-v}{\rho}\ [\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{\left(-\frac{v}{\rho}-1\right)}.-\rho.K^{-\rho-1}.\delta \tag{3.35}$$

Marjinal teknik ikame oranı (MRTS) ise i. değişkenin marjinal verimliliğinin j. değişkenin marjinal verimliliğine bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$MRTS_{ij}(x_i, x_j) = \frac{\partial f(\mathrm{x})/\partial x_i}{\partial f(\mathrm{x})/\partial x_j} \tag{3.36}$$

CES fonksiyonu için bu formül düzenlenirse,

$$MRTS_{KL}(K,L) = \frac{\partial f(\mathrm{Q})/\partial K}{\partial f(\mathrm{Q})/\partial L} \tag{3.37}$$

$$MRTS_{K,L} = \frac{MP_K}{MP_L} = \frac{\gamma.\frac{-v}{\rho}\ [\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{\left(-\frac{v}{\rho}-1\right)}.-\rho.K^{-\rho-1}.\delta}{\gamma.\frac{-v}{\rho}\ [\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{\left(-\frac{v}{\rho}-1\right)}.-\rho.L^{-\rho-1}.1-\delta} \tag{3.38}$$

$$MRTS_{K,L} = \frac{\delta}{1-\delta}\cdot\left(\frac{L}{K}\right)^{1+\rho} \tag{3.39}$$

3.2.5. CES Fonksiyonu İkame Esnekliği

CES fonksiyonunun ikame esnekliği Jehle ve Reny (2011, 129)'den hareketle hesaplanmıştır.

f (x) üretim fonksiyonu için, $\mathrm{x}^0 \in R_n^{++}$ tanımlı i ve j girdilerinin ikame esnekliği,

$$\sigma_{ij}(\mathrm{x}^0) = \left(\frac{dlnMRTS_{ij(\times(r))}}{dlnr}\bigg|_{r=x_j^0/x_i^0}\right)^{-1} \tag{3.40}$$

x (r) tek vektörü için $\mathrm{x} = (x_1 \dots \dots \dots \dots . x_n)$ olduğu gibi,

i. $x_j/x_i = r$

ii. $x_k = x_k^0\ \ k \neq i,j$

iii. f (x) = f (x^0)

$$\sigma_{KL} = \left(\frac{dln(r)^{1+\rho}}{dlnr}\Big|_{r=L/K} \right)^{-1} = \left(\frac{(1+\rho).dlnr}{dlnr} \right)^{-1} = \frac{1}{1+\rho} \quad (3.41)$$

CES üretim fonksiyonu ikame esneklik değeri C-D fonksiyonunda olduğu gibi 1'e eşit değildir. Ancak ikame esnekliği ρ ile ilişkili olup sabit bir değere eşittir. CES üretim fonksiyonunda ikame esnekliği 0 ile sonsuz arasında değerler alabilir (Jehle ve Reny, 2013, 130).

Zaman serileri ile yapılan çalışmalarda yatay kesit ile yapılan çalışmalara nispeten daha düşük ikame esneklik değerleri elde edilmektedir (Berndt, 1976).

3.2.6. CES Fonksiyonu Tahmini

CES fonksiyonunu parametreleri açısından doğrusal hale getirmek yaklaşık olarak mümkündür. Kmenta (1967), CES fonksiyonunun doğrusal hale getirilmesi için bir yaklaşım geliştirmiştir. Yaklaşım Taylor serisine dayanmaktadır.

$$Q = \gamma.[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]^{-v/\rho} \quad (3.42)$$

İki tarafın logaritması alınırsa,

$$logQ = log\gamma - \frac{v}{\rho}[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}] \quad (3.43)$$

elde edilir. Burada $log[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}]$ ifadesi Taylor serisi olarak $\rho = 0$ etrafında açılınca:

$$log[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}] = -\rho[\delta logK^{-\rho} + (1-\delta)logL^{-\rho}] + \frac{1}{2}.\rho^2.\delta.(1-$$
$$\delta)[logK - logL]^2 - \frac{1}{6}\rho^3\delta.(1-\delta).(1-2\delta)[logK - logL]^3 + \cdots \quad (3.44)$$

elde edilir. Eğer ρ'nun gerçek değeri küçük ise ρ^3 ve daha yüksek dereceli ρ içeren terimler ihmal edilebilir. Bu durumda $\rho \to 0$ iken model:

$$logQ = log\gamma + v.\delta.logK + v.(1-\delta)logL - \frac{\rho.v}{2}\delta(1-\delta)[logK - logL]^2 \quad (3.45)$$

şeklinde elde edilir. Zaman serisi verileriyle çalışıldığı düşünülürse model:

$$logQ_t = \alpha_0 + \alpha_1 logK_t + \alpha_2 logL_t + \alpha_3[logK_t - logL_t]^2 + u \quad (3.46)$$

şeklinde yazılıp model doğrusal bir formda tahmin edilebilmektedir. Burada u stokastik değişken olup hata terimini temsil etmektedir. Tahmin edilen modelden

aşağıdaki eşitlik kullanılarak orijinal parametre değerleri bulunabilmektedir (Stoicuta ve Stoicuta, 2015).

$\alpha_0 : log\gamma$

$\alpha_1 : v.\delta$

$\alpha_2 : v.(1-\delta)$

$\alpha_3 : -\frac{\rho.v}{2}.\delta.(1-\delta$

3.3. Translog (Transcendental Logarithmic) Üretim Fonksiyonu

Translog üretim fonksiyonu; Christensen, Jorgenson ve Lau (1973) tarafından ortaya konmuştur. Oldukça esnek bir fonksiyonel yapıya sahip olan Translog model karesel ve doğrusal fonksiyonlar için kullanılabilmektedir. Bu modelde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı yapılmaktadır. n faktör girdili modelin genel formu,

$$lnY = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i . lnx_i + 0.5 \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} . lnx_i . lnx_j \quad (3.47)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1 \; ve \; \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} = 0 \quad (3.48)$$

Translog model esnek bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı ekonometrik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Modelin esnek yapıda olması çok değişkenli modellerin daha kolay tahmin edilmesine izin vermektedir. Ancak bu çoklu doğrusal bağıntı riskini de beraberinde getirmektedir (Grassetti, Gori, Minotti, 2005).

3.3.1. Translog Üretim Fonkisyonu İkame Esnekliği

Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ikame esnekliği 1 ve CES üretim fonksiyonu ikame esnekliği sabit bir değere eşittir. Ancak Translog üretim fonksiyonunda ikame esnekliği 1 ya da sabit bir değer değildir. Zaman serisi ile ikame esnekliği aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

Çıktı esnekliği;

$$\varepsilon_{kt} = \frac{\partial lnY_t}{\partial lnX_{kt}} = \alpha_k + \sum_i \alpha_{ki} + lnX_{it} > 0 \quad (3.49)$$

Denklem (3.49)'den hareketle çıktının sermaye esnekliği:

$$\varepsilon_K = \frac{dlnY_t}{d\ln K_t} = \alpha_K + \beta_{KL} lnL_t + \beta_{KE} lnE_t + 2\beta_{KK} lnK_t > 0 \quad (3.50)$$

Çıktının emek esnekliği:

$$\varepsilon_L = \frac{dlnY_t}{d\ln L_t} = \alpha_L + \beta_{KL} lnK_t + \beta_{LE} lnE_t + 2\beta_{LL} lnL_t > 0 \quad (3.51)$$

Çıktının enerji esnekliği:

$$\varepsilon_E = \frac{dlnY_t}{d\ln E_t} = \alpha_E + \beta_{KE} lnK_t + \beta_{LE} lnL_t + 2\beta_{EE} lnE_t > 0 \quad (3.52)$$

İkame esnekliği ise;

$$\sigma_{ij} = \frac{\%\Delta\left(X_{it}/X_{jt}\right)}{\%\Delta(MP_{jt}/MP_{it})} = \frac{d(X_{it}/X_{jt})}{d(MP_{jt}/MP_{it})} \cdot \frac{\left(MP_{jt}/MP_{it}\right)}{\left(X_{it}/X_{jt}\right)} \quad (3.53)$$

Denklem (3.54)'den hareketle K ve L için ikame esnekliği hesaplanırsa:

$$\sigma_{KL} = \frac{d(K/L)}{d(MP_L/MP_K)} \cdot \frac{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)}{\left(\frac{K}{L}\right)} \quad (3.54)$$

Marjinal fiziki ürünler aşağıdaki gibi tanımlanırsa:

$$\frac{MP_L}{MP_K} = \frac{\frac{\partial Q}{\partial L}}{\frac{\partial Q}{\partial K}} = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} \cdot \frac{K}{L} \quad (3.55)$$

$$\sigma_{KL} = \frac{d(K/L)}{d(MP_L/MP_K)} \cdot \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} \cdot \left[\frac{d\left(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} \cdot \frac{K}{L}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)}\right]^{-1} \quad (3.56)$$

$$\frac{d(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K}\ \frac{K}{L})}{d(\frac{K}{L})} = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} + \frac{K}{L} \cdot \frac{d\left(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)} \quad (3.57)$$

$$d\left(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K}\right) = -\frac{\varepsilon_L}{{\varepsilon_K}^2} d(\varepsilon_K) + \frac{1}{\varepsilon_K} d(\varepsilon_L) \quad (3.58)$$

$$d\left(\frac{K}{L}\right) = -\frac{K}{L^2} d(L) + \frac{1}{L}\, d(K) \quad (3.59)$$

Denklem (3.58) ve denklem (3.59), denklem (3.57)'de yerine konulursa:

$$\frac{d\left(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)} = \frac{-\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K^2}d(\varepsilon_K) + \frac{1}{\varepsilon_K}\,d(\varepsilon_L)}{-\frac{K}{L^2}d(L) + \frac{1}{L}\,d(K)} \tag{3.60}$$

Denklem (3.60) d(L)'ye bölünür ise,

$$\frac{d\left(\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)} = \frac{-\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K^2}\cdot\frac{d(\varepsilon_K)}{d(L)} + \frac{1}{\varepsilon_K}\cdot\frac{d(\varepsilon_L)}{d(L)}}{-\frac{K}{L^2}\cdot\frac{d(L)}{d(L)} + \frac{1}{L}\cdot\frac{d(K)}{d(L)}} \tag{3.61}$$

Denklem (3.61)'den elde edilenler denklem (3.56)'de yerine konulursa:

$$\sigma_{KL} = \left[1 + \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K} + \frac{K}{L}\cdot\frac{-\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_K^2}\cdot\frac{d(\varepsilon_K)}{d(L)} + \frac{1}{\varepsilon_K}\cdot\frac{d(\varepsilon_L)}{d(L)}}{-\frac{K}{L^2}\cdot\frac{d(L)}{d(L)} + \frac{1}{L}\cdot\frac{d(K)}{d(L)}}\right]^{-1} \tag{3.62}$$

Denklem (3.62)'den hareketle sermaye (K) ve emek (L) ikame esnekliği:

$$\sigma_{KL} = \left[1 + \frac{-\beta_{KL} + (\varepsilon_K/\varepsilon_L)\beta_{LL}}{-\varepsilon_K + \varepsilon_L}\right]^{-1} \tag{3.63}$$

Translog modeli için ikame esnekliği genel olarak şu şekilde (3.64) formüle edilmektedir.

$$\sigma_{ij} = \left[1 + \frac{-\beta ij + (\varepsilon_i/\varepsilon_j)\beta_{jj}}{-\varepsilon_i + \varepsilon_j}\right]^{-1} \tag{3.64}$$

Denklem (3.64)'den hareketle sermaye-enerji ve emek-enerji ikame esneklikleri hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{KE} = \left[1 + \frac{-\beta_{KE} + (\varepsilon_K/\varepsilon_E)\beta_{EE}}{-\varepsilon_K + \varepsilon_E}\right]^{-1} \tag{3.65}$$

$$\sigma_{LE} = \left[1 + \frac{-\beta_{LE} + (\varepsilon_L/\varepsilon_E)\beta_{EE}}{-\varepsilon_L + \varepsilon_E}\right]^{-1} \tag{3.66}$$

3.3.2. Translog Üretim Fonksiyonu Tahmin Modeli

Tahmin edilecek model, zaman serisi varsayımı altında aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$lnY_t = \alpha_0 + \alpha_K lnK_t + \alpha_L lnL_t + \alpha_E lnE_t + \beta_{KL} lnK_t . lnL_t + \beta_{KE} lnK_t . lnE_t + \beta_{LE} lnL_t . lnE_t + \beta_{KK}(lnK_t)^2 + \beta_{LL}(lnL_t)^2 + \beta_{EE}(lnE_t)^2 + u_t \tag{3.67}$$

u_t modelin hata terimini ifade etmektedir.

4. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde üretim fonksiyonu tahminine ilişkin çok fazla çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde üretim fonksiyonu tahminlerinde sıklıkla kullanılan Cobb-Douglas, CES ve Translog üretim fonksiyonları ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1. Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür

Charles W. Cobb ve Paul H. Douglas'ın 1928 yılında ABD imalat sanayisindeki 98 firmaya ilişkin yaptıkları çalışma sonucunda ortaya konan Cobb-Douglas üretim fonksiyonu en basit üretim fonksiyonu olmakla birlikte literatürde çok sık kullanılmaktadır. Bu üretim fonksiyonu tahmininde farklı tahmin yöntemleri bulunmakla birlikte genellikle En Küçük Kareler tahmin yöntemi kullanılmakta; temel olarak emek ve sermaye değişkenleri incelenmektedir. Cobb ve Douglas yaptıkları çalışmada çıktının sermaye esnekliğini 0.25, çıktının emek esnekliğini ise 0.75 olarak tahmin etmişlerdir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonuna ilişkin bazı çalışmalar Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti

Yazarlar	Ülke/Sektör	Yıl	Yöntem	Üretim Faktörleri
Cobb-Douglas (1928)	ABD İmalat Sanayii	1889-1922	Regresyon Analizi	Emek ve sermaye
Berndt (1976)	ABD İmalat Sanayii	1929-1968	EKK ve 2 Aşamalı EKK	Emek ve sermaye
Blundell ve Bond (2000)	ABD İmalat Sanayii 509 firma Ar-Ge performansı	1982-1989	GMM	Emek ve sermaye
Mıhçı ve Akkoyunlu Wigley (2000)	Türkiye İmalat Sanayii alt sektörleri	1992-1995	EKK	Emek ve sermaye Yutiçi Ar-Ge Yurtdışı Ar-Ge
Chow ve Li (2002)	Çin	1952-2010	EKK	Emek ve sermaye

Tablo 4.1 - devam

Şimşek ve Kadılar (2005)	Türkiye	1963-2002	Pesaran Sınır Yöntemi	Özel ve kamu sabit sermaye yatırımları ve Emek
İsmihan (2009)	Türkiye	1960-2006	Johansen Eş Bütünleşme FM-OLS	Emek, fiziki sermaye ve beşeri sermaye
Açıkgöz ve Çatalbaş (2010)	Türkiye	1968-2006	Parametrik olmayan regresyon analizi	Emek ve Sermaye
Erden ve Karaçay Çakmak (2010)	Türkiye İmalat Sanayii 57 il	1986-2000	Panel Sabit Etkiler Tahmincisi	Emek ve sermaye
Küçük (2011)	Kobiler 25 imalatçı firma	2007	EKK	Emek ve sermaye
Inglesi-Lotz (2015)	34 OECD ülkesi	1990-2010	Panel Sabit Etkiler Tahmincisi ve Pedroni Eşbütünleşme testi	Emek, sermaye ve yenilenebilir enerji
Avcı ve Çağlar (2016)	İSO 500 firma	2011-2014	EKK	Emek ve sermaye
Chikabwi, Chidoko ve Mudzingiri (2017)	Güney Afrika Topluluğuna üye 9 ülke imalat sanayii	2000-2013	Panel Sabit Etkiler Tahmincisi	Emek ve sermaye
Oransay (2017)	Türkiye	1986-2011	Varyans ayrışması ve Vektör Hata Düzeltme Modeli	Emek, sermaye, elektrik tüketimi

Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Berndt (1976), 1929-1968 dönemine ait ABD imalat sanayisine yönelik çalışmasında 6 farklı fonksiyonel form uygulamış ve 5 alternatif veriden yararlanmıştır. Model En Küçük kareler yöntemi ve 2 aşamalı En Küçük Kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir. Yapılan tahmin sonucunda 2 aşamalı En Küçük Kareler yöntemi ile tahmin edilen ikame esnekliği değerinin EKK ile yapılan tahminden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Blundell ve Bond (2000), çalışmalarında ABD imalat sanayisine ait 509 firmanın araştırma ve geliştirme performansını ölçmek için 8 yıllık bir dönemi kapsayan 1982-

1989 dönemine ait verilerle Cobb Douglas üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Panel veri analizi ile gerçekleştirilen çalışmada GMM tahmin yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sermaye değişkeninin güçlü bir şekilde anlamlı olduğu ve ölçeğe göre sabit getirinin red edilemediği görülmüştür.

Mıhçı ve Akkoyunlu Wigley (2000), 1992-1995 dönemi için Türkiye'de ulusal ve uluslararası teknoloji yatırımının üretim süreci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 12 imalat sanayi alt sektörü için Cobb Douglas üretim fonksiyonu tahmin edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sektörel katma değerin sermaye stoğu esnekliği 0.14, yurt içi Ar-Ge sermaye stoğu esnekliği 0.18, ithalat esnekliği ise 0.08 olarak tahmin edilmiştir.

Chow ve Li (2002), 1952-2010 dönemini kapsayan çalışmalarında Çin'deki ekonomik büyümeyi tahmin etmek için emek, sermaye ve faktör verimliliğini Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu kullanarak En Küçük Kareler yöntemi ile tahmin etmişlerdir. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında yapılan çalışma sonucunda çıktının sermayeye göre esnekliği 0.6136 ve çıktının emeğe göre esnekliği 0.4118 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca toplam faktör verimliliği 0.01514 olarak tahmin edilmiştir.

Şimşek ve Kadılar (2005) , çalışmalarında 1963-2002 dönemine ait kamu sabit sermaye yatırımlarının Türkiye özel imalat sanayii çıktısı üzerindeki etkisini Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından geliştirilen sınır testi yöntemi ile araştırmışlardır. Çalışmada Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen bulgular kamu sabit sermaye yatırımları, çıktı, özel sermaye yatırımları ve işgücünün eşbütünleşik olduğunu göstermektedir.

İsmihan (2009), çalışmasında 1960-2006 dönemine ait verilerle Türkiye için makroekonomik istikrarsızlığın, potansiyel büyüme hızı üzerindeki rolünü araştırmıştır. Cobb-Douglas Üretim fonksiyonu modeli tahmininde Johansen Eş bütünleşme Testi ve FM-OLS yöntemi kullanılmıştır. Ele alınan dönemde Türkiye ekonomisinin ölçeğe göre artan getirilere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Fiziki sermayenin çıktı üzerine etkisi 0.30, beşeri sermayenin çıktı üzerine etkisi 1.17 olarak tahmin edilmiştir.

Açıkgöz ve Çatalbaş (2010), 1968-2006 dönemine ait Türkiye ekonomisi için büyümenin kaynakları ve toplam faktör verimliliğine (TFV) yönelik çalışmalarında

Neo-Klasik büyüme modeli için Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu kullanmışlardır. Parametrik olmayan regresyon analizi ile yapılan çalışmada ölçeğe göre sabit getiri varsayımının yapılmadığı durumda sermaye stoğunun gelirden aldığı pay 0.32 iken işgücünü gelirden aldığı pay 0.48 olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre 1980 öncesi büyümenin kaynağı sermaye birikiminin olduğu 1980 sonrası dönem için 1991-1995 dönemi dışında büyümenin kaynağının toplam faktör verimliliği büyümesi olduğu görülmüştür.

Erden ve Karaçay Çakmak (2010), Türkiye'de kamu sermayesinin optimalliğini araştırmışlardır. 57 il verilerini kapsayan çalışmada ele alınan 1986-2000 dönemi için panel veri seti kullanılmıştır. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu sabit etkiler modeli ile tahmin edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bulgular Türkiye′de kamu sermayesinin özel imalat sanayi sektörü üretimini pozitif etkilediğini göstermektedir. Kamu sermayesinin marjinal verimliliği 1.37, özel sektör sermayesinin marjinal verimliliği ise 1.07 olarak tahmin edilmiştir.

Küçük (2011), Kobiler için faktör esnekliği ve ölçeğe göre getirileri araştırmıştır. Araştırmada 25 imalatçı işletmeye ait üretim faktörleri ve üretime ait veriler ile Cobb-Douglas Üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Çıktının emek esnekliği 0.515 ve çıktının sermaye esnekliği 0.475 olarak tahmin edilmiştir. Bu bulgular ışığında 2007 yılı için Erzurum'a ait 25 imalatçı işletme için ölçeğe göre sabit getiri olduğu saptanmıştır.

Inglesi-Lotz (2015), çalışmasında yenilenebilir enerji tüketimimin ekonomik refah üzerindeki etkisini araştırmıştır. 1990-2010 dönemini kapsayan 34 OECD ülkesi üzerine yapılan çalışmada Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Panel veri sabit etkiler tahmincisi ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Ayrıca değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisinin varlığı Pedroni eşbütünleşme testi ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi pozitif olarak etkilediği görülmüştür. Yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artışın GSYH'ı %0.105 artırdığı görülmüştür.

Avcı ve Çağlar (2016), çalışmalarında 2011-2014 dönemine ait İSO'ya kayıtlı ilk 500 firma verileriyle firmaların etkinliklerinin ölçülmesi için Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanmışlardır. Stokastik Sınır Analizi ile yapılan çalışmadan elde edilen bulgular kamu sektörünün etkinliğinin özel sektörden daha düşük olduğunu, 2014 yılında gıda sektöründeki etkinlik değerlerinin diğer sektörlere oranla daha yüksek bir

değere sahip olduğunu göstermektedir. Diğer yandan firmaların etkinlik skorlarının 2011-2013 yıllarında düşerken 2014 yılında yükseldiği görülmüştür.

Chikabwi, Chidoko ve Mudzingiri (2017), Güney Afrika Gelişme Topluluğuna üye 9 ülke imalat sanayisinin büyümeye etkisini araştırmışlardır. 2000-2013 dönemini kapsayan çalışmada Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu, Panel veri sabit etkiler tahmincisi ile tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda ticari açıklık, teknoloji transferi, sermaye yatırımlarının imalat sanayi sektöründeki büyümeyi pozitif etkilediği görülmüştür. Kullanılan emek ve inovasyonların ise büyümeyi negatif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Oransay (2017), 1986-2011 dönemi için üretim faktörlerinden olan elektrik tüketimi, istihdam ve sermayenin üretim artışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Üretim faktörleri arasındaki uzun dönem ilişkisi Vektör Hata Düzeltme Modeli ve Varyans Ayrışması ile araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular modeldeki tüm üretim faktörlerinin sanayi sektöründeki reel çıktı üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Reel çıktı üzerinde en fazla katkıyı sırasıyla sermaye stoğu, işgücü ve elektrik yapmaktadır.

4.2. Sabit İkame Esneklikli (CES) Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür

Arrow ve diğ. (1961), tarafından ortaya konan Sabit İkame Esneklikli (CES) üretim fonksiyonunda 19 ülke için 24 endüstriye ait 1949-1955 dönemi verileri kullanılmıştır. Regresyon analizi (EKK) ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Çalışmada geniş oranda üretim fonksiyonu teorisi üzerinde durulmuştur. Gelirin fonksiyonel dağılımı, teknolojik ilerlemeler, etkinlikteki uluslararası farklılıkların avantajları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda emek ve sermaye arasındaki ikame esnekliğinin 1 olmadığı ancak sabit bir oranda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

CES üretim fonksiyonuna ilişkin ele alınan çalışmalar Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: CES Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti

Yazarlar	Ülke/Sektör	Yıl	Yöntem	Üretim Faktörleri
Arrow ve diğ. (1961)	19 ülke 24 endüstri	1949-1955	EKK	Emek ve sermaye
Kmenta (1967)	ABD	1947-1960	EKK	Emek ve sermaye

Tablo 4.2-devam

Sato (1967)	ABD imalat sanayii	1929-1963	EKK	Emek ve sermaye
Kemfert (1998)	Batı Almanya endüstrileri	1960-1993	Doğrusal olmayan regresyon tahmini	Emek, sermaye ve enerji
Akan (2002)	Türkiye İmalat sanayii	1970-1999	EKK	Emek ve sermaye
Su ve diğ. (2012)	Çin	1953-2006	EKK	Emek, sermaye ve enerji
Okorie (2017)	Nijerya	1970-2012	EKK	Emek ve sermaye
Kim, Nakano ve Nishimura (2017)	Kore ve Japonya	1995-2005	EKK	Emek ve sermaye

Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Paroush (1966), çalışmasında CES fonksiyonu için geçerli olduğu varsayılan 1.dereceden homojenlik varsayımının geçerli olup olmadığını araştırmıştır. Çalışma sonucunda CES üretim fonksiyonunun h. dereceden homojen bir fonksiyon olduğunu ortaya koymuştur.

Kmenta (1967), çalışmasında CES modelinin ölçeğe göre sabit getiri varsayımı olmaksızın modelin farklı ölçeklere sahip olabileceğini göstermiştir. Lineer olmayan bir formda olan CES modelinin lineer bir forma dönüştürmek için Taylor serisinden faydalanmıştır. Kmenta'ya göre CES fonksiyonu $\rho = 0$ durumunda Taylor serisine açılmaktadır ve böylece model lineer bir formda tahmin edilebilmektedir. ABD 1947-1960 dönemine ait tarım dışı verilerinden faydalanarak yapılan çalışmada ikame esnekliği 0.444 olarak tahmin edilmiştir.

Sato (1967), çalışmasında Arrow ve diğ.(1961) tarafından tanımlanan 2 faktörlü CES fonksiyonu modelini 2 ayrı 2 faktörlü CES modelinin birleşimi olarak, 4 değişkenli bir model olarak tanımlamıştır. ABD imalat sanayii üzerine yapılan çalışmada 1929-1963 dönemine ait EKK Tahmini gerçekleştirilmiştir. Genel olarak yuvalanmış model olarak ta bilinen bu model 3 değişkenli fonksiyonların tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır.

Kemfert (1998), Batı Almanya endüstrilerine ilişkin yaptığı çalışmasında yuvalanmış CES üretim fonksiyonu kullanarak emek, sermaye ve enerji değişkenlerinin çıktı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Model doğrusal olmayan bir formda tahmin edilmiştir. Tahmin sonucunda sermaye-enerji ikame esnekliği 0.653, sermaye-emek ikame esnekliği 0.822 ve emek-enerji ikame esnekliği 0.422 olarak tahmin edilmiştir.

Akan (2002), 1970-1999 dönemini kapsayan çalışmasında Türk imalat sanayisinde sermaye ve emeğin çıktı esneklikleri, ölçeğe göre getiri ilişkisi, teknolojik değişme hızları ve ikame esneklik değerlerini C-D ve CES üretim fonksiyonu ile araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Cobb-Douglas üretim fonksiyonu için ikame esnekliği (σ) 1 olarak tahmin edilmiştir. Belirlenen dönem içinde CES fonksiyonu tahmin sonuçları ise Türk imalat sanayisinin ölçeğe göre artan getiriye sahip olduğunu göstermektedir.

Henningsen ve Henningsen (2012), çalışmalarında CES fonksiyonunun lineer formda tahmin edilmesinin yakınsama sorunlarına ve tahmin sonuçlarının hatalı değerler verebileceğini belirtmektedir. Süreksiz olan CES fonksiyonu tahminlerinde ikame esnekliği 1 ya da 1'e yakın bulunmaktadır. Henningsen ve Henningsen çalışmalarında geliştirmiş oldukları optimizasyon algoritmalarına dayanan limit yaklaşımı modeli önermektedir ve bu modelin daha güvenilir sonuçlar vereceğini belirtmektedirler.

Su ve diğ. (2012), Çin'de 1953-2006 döneminde faktörler arası ikame esnekliği tahmini için 2 aşamalı Sabit İkame Esneklikli (CES) üretim fonksiyonu kullanmışlardır. Üretim faktörleri olarak sermaye, emek ve enerji kullanılmıştır. Teknoloji sabit değildir ve ölçeğe göre değişen getiri olduğu varsayımı ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yıllar 3 döneme ayrılmıştır. Tahmin sonucunda 1953-1978, 1953-2006, 1979-2006 dönemleri için sırasıyla emek-sermaye ikame esnekliği 0.3614-0.3952-0.7676, sermaye-enerji ikame esnekliği 0.2152-0.2826-0.6667, enerji-emek ikame esnekliği 0.8067-0.9123-2.5532 olarak tahmin edilmiştir.

Okorie (2017), Nijerya ekonomisi için Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ve Sabit İkame Esneklikli üretim fonksiyonunun uygunluğunu 1970-2012 dönemi için araştırmıştır. Üretim faktörleri olarak emek ve sermaye kullanılmıştır. EKK tahmincisi ile yapılan çalışma sonucunda Cobb-Douglas üretim fonksiyonu için çıktının sermaye esnekliği 0.68, emek esnekliği ise 3.47 olarak tahmin edilmiştir. CES üretim

fonksiyonu tahmin sonucunda ise sermaye değişkeni katsayısı 0.56, emek ise 3.44 olarak tahmin edilmiştir. CES fonksiyonu ikame esnekliği -0.0555 olarak tahmin edilmiştir. Analiz sonucunda Cobb-Douglas ve CES üretim fonksiyonlarının Nijerya ekonomisi için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kim, Nakano ve Nishimura (2017), Kore ve Japonya için yapmış oldukları çalışmalarında çok faktörlü CES üretim fonksiyonu kullanarak büyüme verimliliğini araştırmışlardır. Ayrıca Loentief ve Cobb-Douglas fonksiyonlarının esneklikleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Cobb-Douglas ve CES fonksiyonu tahmin sonuçlarının esneklik değerleri Loentief fonksiyonuna oranla daha yüksek bulunmuştur.

4.3. Translog (Transcendental Logarithmic) Üretim Fonksiyonu'na ilişkin Literatür

Christensen, Jorgenson ve Lau (1973), tarafından 1929-1969 dönemi ABD imalat sanayisi için yapılan çalışmada Translog üretim fonksiyonu ortaya konmuştur. Çalışmada Translog fiyat yaklaşımı da ortaya konulmuştur. 2 faktör (K, L) için oluşturulan model çok rahat bir şekilde yeni değişkenlerle genişletilebilir bir formdadır.

Translog üretim fonksiyonuna ilişkin literatürde incelenmiş olan çalışmalar özet olarak Tablo 4.3'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3: Translog Üretim Fonksiyonu Literatür Özeti

Yazarlar	Ülke/Sektör	Yıl	Yöntem	Üretim Faktörleri
Christensen, Jorgenson ve Lau (1973)	ABD İmalat sanayii	1929-1969	EKK	Emek ve sermaye
Caloghirou, Mourelatos ve Thompson (1997)	Yunanistan İmalat sanayii	1980-1991	EKK	Emek, sermaye, elektrik ve elektrik dışı enerji
Koirala ve Koshal (1999)	Nepal 1021 imalat firması	1992	EKK	Emek ve sermaye
Péridy (2004)	Avrupa Birliği ülkeleri	1975-2000	SUR ve 2 Aşamalı EKK	Emek ve sermaye

Tablo 4.3-devam

Brox ve Fader (2005)	Kanada İmalat sanayii	1961-1997	EKK	Kamu sermaye hizmetler ve özel sektör verimliliği
Işık ve Acar (2006)	Türkiye İmalat sanayii	1985-2001	EKK	Emek ve sermaye
Kök ve Yeşilyurt (2006)	Türkiyedeki ilk 500 imalat firması	1993-2000	EKK	Emek ve sermaye
Gómez-Calero ve Pablo-Romero (2013)	İspanya 50 şehir	1985-2006	EKK	Fiziki sermaye ve beşeri sermaye
Taşdoğan (2014)	Türkiye 26 bölge teşvik programı etkinliği	2012	Stokastik Sınır Analizi	Emek ve sermaye
Pablo-Romero ve Sánchez-Braza (2015)	38 Ülke	1995-2007	Panel Veri Analizi	Emek, sermaye ve enerji
Çalmaşur (2016)	Türkiye Otomotiv sektörü 20 firma	1992-2012	Panel Veri Analizi	Emek ve sermaye
Lin, Atsagli ve Dogah (2016)	Gana	1980-2012	Ridge Regresyon	Emek, sermaye, petrol ve elektrik
Lin ve Liu (2017)	Çin ağır sanayii	1980-2004	Ridge Regresyon	Emek, sermaye ve enerji
Songur (2017)	Türkiye	1950-2014	Ridge Regresyon	Fiziki sermaye ve beşeri sermaye
Lin ve Atsagli (2017)	Güney Afrika	1980-2012	Ridge Regresyon	Petrol, kömür ve elektrik

Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Caloghirou, Mourelatos ve Thompson (1997), 1980'lerin Yunanistan imalatındaki faktör ikamesini açıklamak amacıyla havuzlanmış veri ile dinamik Translog harcama modeli tahmini gerçekleştirmişlerdir. Modelin girdileri emek, sermaye, elektrik ve elektrik dışındaki enerji olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda emek ve sermayenin fiyat esnekliği inelastik iken elektrik değişkeninin daha esnek (-0.9) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uzun dönemde elektrik ve sermayenin, emek-elektrik dışı enerjinin tamamlayıcı mallar olduğu görülmüştür.

Koirala ve Koshal (1999), Nepal'deki 986'sı yerli ve 35'i yabancı toplam 1021 imalat firmasının 1992 yılındaki üretim teknolojisi ve emek verimliliğini açıklamak için CES, Translog ve Cobb-Douglas üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir.

En Küçük Kareler yöntemi ile yapılan tahmin sonucunda Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun, modeli açıklamada yeterli olduğu görülmüştür. Cobb-Douglas tahmin sonucuna göre çıktının sermaye esnekliği 0.4540, çıktının emeğe göre esnekliği ise 0.5399 olarak bulunmuştur.

Péridy (2004), çalışmasında ölçek ekonomileri ve ticaret arasındaki ilişkiyi 1975-2000 dönemi için ampirik olarak incelemiştir. Ölçek ekonomileri tahmininde Translog üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Model lineer olmayan bir formda tahmin edilmiştir. 2 aşamalı EKK kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ölçek ekonomilerinin Avrupa Birliği ülkeleri ihracatını pozitif şekilde etkilediği görülmüştür.

Brox ve Fader (2005), Kanada İmalat sanayisine ilişkin kamu ve özel sektör arasındaki etkileşimi araştırmışlardır. Sabit İkame Esneklikli (CES) model ve Translog modeli kullanılmıştır. Model Kanada'ya ait 1961-1997 dönemi için imalat endüstrisinin tamamı için oluşturulmuştur. Maliyet yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda faktör girdi taleplerinin genellikle fiyata karşı inelastik olduğu görülmüştür. Kamu sermaye hizmetleri artırıldığında özel sektör sermaye verimliliğinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Işık ve Acar (2006), çalışmalarında 1985-2001 dönemi için Türkiye imalat sanayi ve tekstil sektörü için Cobb-Douglas, CES ve Translog üretim fonksiyonları tahmini gerçekleştirmişlerdir. Tekstil ve sanayi sektöründeki emek ve sermayenin üretim esnekliği, ölçeğe göre getirisi ve ikâme esneklik değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular emek ve sermayenin incelenen dönemde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda tekstil ve imalat sanayi sektörlerinde ölçeğe göre artan getirinin hakim olduğu görülmüştür.

Kök ve Yeşilyurt (2006), 1993-2000 dönemine ait çalışmalarında Türkiye'de ilk 500 imalat sanayi kuruluşunun etkinliğini stokastik sınır analizi ile firmaların etkinliğini endüstri bazında incelemişlerdir. Cobb-Douglas ve Translog Üretim fonksiyonları kullanılarak yapılan çalışma sonucunda sektörler arasında ıraksama olduğu görülmüştür. Özel sektörde bulunan alt sektörlerin kamu kesiminde bulunan alt sektörlerden daha yüksek etkinlik seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Gómez-Calero ve Pablo-Romero (2013), İspanya'nın 50 şehri için 1985-2006 dönemini kapsayan çalışmalarında Translog model ve genişletilmiş Translog üretim fonksiyonu kullanmışlardır. Fiziki sermaye ve beşeri sermaye arasındaki ilişki

araştırılmıştır. Çalışma sonucunda fiziki ve insan sermayesi arasında tamamlayıcılık ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin azalan ölçekte olduğu görülmüştür. Fiziki sermayenin artması ekonomideki insan sermayesini etkileyeceği ve bu girdi toplamındaki artışın ekonomik büyümeyi artıracağı sonucuna ulaşılmıştır.

Taşdoğan (2014), tarafından Türkiye'de 2012 yılı için 26 bölge kapsamında teşvik programının etkinliği Translog Üretim Fonksiyonu kullanılarak stokastik sınır analizi ile araştırılmıştır. En yüksek olabilirlik yöntemi kullanılmıştır. Katma değerin brüt yatırımlara göre esnekliği -0.083, katma değerin istihdama göre esnekliği 0.43 olarak tahmin edilmiştir.

Pablo-Romero ve Sánchez-Braza (2015), 1955-2007 dönemi için 38 ülkede, enerjinin ekonomik büyümedeki rolünü Translog üretim fonksiyonu kullanarak araştırmışlardır. Panel veri analizi kullanılmıştır. 38 ülke; OECD, BRIC, NAFTA, Doğu Asya, Doğu Avrupa ve EU15 ülkelerinden seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda tüm ülke gruplarında enerji kullanımı verimliliği pozitif etkilemektedir. GMM tahmin sonuçlarına göre çıktının sermaye esnekliği 0.308, çıktının emek esnekliği 0.086 ve çıktının enerji esnekliği 0.163 olarak tahmin edilmiştir. BRIC ve Doğu Avrupa grupları hariç tüm gruplarda enerji ve sermaye arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmüştür.

Çalmaşur (2016), Türkiye'de 1992-2012 dönemine ait verilerle otomotiv sektöründe yer alan 20 firma için teknik etkinlik analizini araştırmıştır. C-D ve Translog üretim fonksiyonu, panel veri analizi kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular, teknik etkinlik ile kapasite kullanım oranı, ihracat yoğunluğu ve yabancı sermaye oranı arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca firma yaşı ile teknik etkinlik arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Lin, Atsagli ve Dogah (2016), 1980-2012 dönemi Gana ekonomisi için emek sermaye, elektrik, petrol değişkenlerinin çıktı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Translog üretim fonksiyonu ve maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Çoklu doğrusal bağlantı sorununa sahip olan modelde parametre tahminleri için Ridge Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular petrol tüketimi ve emek değişkenlerinin istatistiksel olarak anlamlı ve çıktıyı pozitif olarak etkilediğini göstermektedir. Sermaye ve elektrik tüketimi çıktı (GSYH)'yı negatif etkilemektedir. Ayrıca emek, sermaye, petrol ve elektrik değişkenlerinin ikame edilebilir olduğu

görülmüştür. Emek-sermaye ikame esnekliği ortalama 1.44, petrol-elektrik ikame esnekliği ortalama 0.98 olarak tahmin edilmiştir.

Lin ve Liu (2017), enerji, sermaye ve emek faktör girdilerini kullanarak 1980-2004 dönemi Çin ağır sanayisi için Translog üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Ridge Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda emek, sermaye ve enerji girdilerinin çıktı esneklikleri pozitif olarak tahmin edilmiştir. Çin ağır sanayisinin sermaye-enerji ağırlıklı olduğu görülmüştür. Sermaye-emek ikame esnekliği 0.94 ve sermaye-enerji ikame esnekliği 0.96 olarak tahmin edilmiştir.

Songur (2017), 1950-2014 dönemini kapsayan çalışmasında Türkiye'de beşeri sermaye ve fiziksel sermayenin çıktı esnekliğini ve bu faktörler arasındaki ikame esneklik değerlerini Ridge Regresyon yöntemi ile tahmin etmiştir. Tahmin sonuçları fiziksel sermaye ve beşeri sermaye ikame esneklik değerinin 1 olduğunu göstermektedir. Çıktının beşeri sermaye elastikiyeti 1'den büyük iken çıktının fiziksel sermaye esnekliği birden küçüktür. Ele alınan dönem içerisinde çıktının fiziksel sermaye esnekliği yıllar içerisinde durağan bir seyir izlerken, çıktının beşeri sermaye elastikiyetinin artan bir seyir izlediği görülmüştür.

Lin ve Atsagli (2017), çalışmalarında 1980-2012 dönemi için Güney Afrika'daki teknik değişim, petrol, kömür, elektrik arasındaki ikame olanaklarını Translog üretim fonksiyonu kullanarak Ridge Regresyon yöntemi ile araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda Güney Afrika için çıktı (GSYH) 'yı etkileyen temel değişkenlerin elektrik tüketimi ve kömür tüketimi olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda petroldeki hızlı teknolojik ilerlemelerin çıktıyı artırdığı görülmüştür. Kömür tüketimi-elektrik tüketimi ikame esnekliği 0.328, kömür tüketimi-petrol kullanımı ikame esnekliği 1.005 ve petrol kullanımı-elektrik tüketimi ikame esnekliği 1.051 olarak tahmin edilmiştir.

5. VERİ SETİ, YÖNTEM ve BULGULAR

Bu bölümde öncelikle 1963-2017 dönemine ait Türkiye için üretim fonksiyonu tahminine ilişkin kullanılan veri seti tanıtılacaktır. Ardından kullanılan yöntemler anlatılacaktır. Son olarak yöntem tahminlerinden elde edilen bulgular değerlendirilecektir.

5.1. Veri Seti

1963-2017 dönemine ait Türkiye için enerjiyle genişletilmiş üretim fonksiyonu tahmini yapılan bu çalışmada bağımlı değişken olarak zincirlenmiş hacim GSYİH, bağımsız değişken olarak sermaye stoğu, istihdam edilen kişi sayısı ve kişi başına enerji tüketimi kullanılmıştır. Tüm değişkenlerin doğal logaritması alınarak model tahmini yapılmıştır. Analizde Eviews9 ve NCSS 12 paket programları kullanılmıştır.

lnGSYH (Zincirlenmiş Hacim GSYH): Gayri Safi Yurtiçi Hasıla 2009 yılı baz alınarak hesaplanmış olan zincirlenmiş hacim endeksi kullanılmıştır. Veriler T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Tablo 1-9 TÜİK verilerine göre uyumlaştırılmış GSYH'den elde edilmiştir.

"Zincirlenmiş hacim endeksleriyle GSYH, üretimdeki değişimin doğru ölçülmesi için enflasyon etkisinden arındırılmasıyla yapılan hesaplamadır (Eğilmez, [02.01.2019])."

1963-2017 dönemine ait Zincirlenmiş Hacim (2009=100) ile GSYH (Bin TL), Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığından alınmıştır. Zincirlenmiş hacim, sabit fiyatlara dayandığı için reel bir büyüklüktür.

lnK (Sermaye Stoğu): "Sermaye stoğu; bir ekonomide zamanın herhangi bir anında, ekonominin prodüktif gücüne ilave olan konutların, makinelerin, fabrikaların ve teçhizatın birikmiş stoğudur" (Parasız, 2003, 35).

Fiziki sermaye stoğu hesaplanmasına ilişkin farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada fiziki sermaye stoğu hesaplanmasında literatürde sıklıkla kullanılan Sürekli Envanter Yöntemi (Perpetual Inventory Method-PIM) kullanılmıştır. 1963-1998 dönemine ait sermaye yatırımları T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe

Başkanlığından alınan sektörel bazlı verilerle tarafımızdan hesaplanmıştır. Sektörel bazlı cari fiyatlarla hesaplanan sermaye yatırımları, Kalkınma Bakanlığından alınan Kamu Sabit Sermaye Yatırım ve Dış Para Deflatörleri (2009 = 1) yardımıyla 2009 yılı fiyatları ile reel hale getirilmiştir. Sektörler bazında reel hale getirilen sermaye yatırımları toplanarak 2009 fiyatlarıyla toplam sermaye yatırımları elde edilmiştir. 1998-2017 dönemine ait 2009 yılı fiyatlarıyla sermaye yatırımları verileri ise T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının Resmi İstatistik Programına yaptığı katkılar bölümünden elde edilmiştir. Elde edilen sermaye yatırımları verilerinden hareketle sermaye stoğu Sürekli Envanter Yöntemi ile hesaplanmıştır.

Ekonomik modellerde fiziki sermaye stoğu (makine, bina, bilgisayar vb.) üretim fonksiyonunun ana faktörlerinden biridir. Toplam çıktıyı hesaplayabilmek için var olan sermaye stoğu gereklidir. Sermaye stoğu genellikle Sürekli Envanter Yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. SEY ile sermaye stoğu hesaplayabilmek için:

i. Sermaye yatırımlarının zaman serisine
ii. Sermaye stoğunun başlangıç zamanı için sermaye yatırım serisinin başlangıç yılına
iii. Sermaye stoğunun amortisman oranına

ihtiyaç duyulmaktadır (Berlemann ve Wesselhöft, 2014, 4).

PIM hesaplanmasına ilişkin 2 temel formül kullanılmaktadır.

1. $K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1}$ (5.1)

2. $K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t$ (5.2)

Bu çalışmada 1.formül kullanılmıştır. Bu formülün kullanılmasında Young (1995), Barro ve Sala-i-Martin (2004, 436), Kamps (2006), Berlemann ve Wesselhöft (2014) baz alınmıştır. Sermaye stoğu hesaplanmasında başlangıç sermaye stoğunun hesaplanması önem arz etmektedir. Bu değerin hesaplanmasına ilişkin farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada başlangıç sermaye stoğu STATA 14 paket programı ile hesaplanmıştır. Ayrıca bir diğer bilinmesi gereken δ (amortisman oranı), %5 kabul edilmiştir. Bu değerin %5 kabul edilmesinde Dünya Bankası (World Bank) tarafından yayınlanan Vincelette (2010) baz alınmıştır.

Fiziki sermaye stoğunun başlangıç peryodu t, K_t, olarak tanımlanmaktadır. Net sermaye stoğunun başlangıçtan bir önceki peryodu $t-1, K_{t-1}$, brüt sermaye

yatırımlarının bir önceki peryodu I_{t-1} ve sabit sermaye harcaması D_{t-1} olarak tanımlanmaktadır (Berlemann ve Wesselhöft, 2014, 4).

$$K_t = K_{t-1} + I_{t-1} - D_{t-1} \tag{5.3}$$

Geometrik amortismanın (δ) sabit oranda olduğu varsayımı altında, sermaye stoğu:

$$K_t = (1-\delta)K_{t-1} + I_{t-1} \tag{5.4}$$

Net sermaye stoğunu genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$K_t = \sum_{i=1}^{\infty} \left(I_{t-i} \,.\, (1-\delta)^{i-1} \right) \tag{5.5}$$

Böylece t zamanındaki sermaye stoğu, sermaye yatırımlarının t-i anlarındaki toplam değerine eşittir. Bu sonuçlar geometrik amortisman fonksiyonu için geçerlidir.

I_t: Sermaye stoğundaki brüt sermaye yatırımlarını

δ: Sabit amortisman oranını (yıllık) ifade etmektedir.

Brüt yatırım büyüme oranı sabit oranda ve bu oran g olarak tanımlanmaktadır.

$$I_t = I_{t-i}.(1+g)^i \;\; ya\; da\; I_{t-i} = \left(\frac{I_t}{(1+g)^i} \right) \tag{5.6}$$

Bundan dolayı,

$$K_t = I_{t-1} + I_{t-2}.(1-\delta) + I_{t-3}(1-\delta)^2 + \cdots + I_{t-\infty}(1-\delta)^{\infty-1} \tag{5.7}$$

Denklem (5.6) ve denklem (5.7) birleştirilirse:

$$K_t = I_t \left(\frac{1}{1+g} \right) + I_t \left(\frac{1-\delta}{(1+g)^2} \right) + I_t \left(\frac{(1-\delta)^2}{(1+g)^3} \right) + \cdots + I_t \left(\frac{(1-\delta)^{\infty-1}}{(1+g)^{\infty}} \right) \tag{5.8}$$

$$K_t = \frac{I_t}{1-\delta} \;.\left[\left(\frac{1-\delta}{1+g} \right) + \left(\frac{1-\delta}{1+g} \right)^2 + \cdots + \left(\frac{1-\delta}{1+g} \right)^{\infty} \right] \tag{5.9}$$

Denklemdeki bilinmeyenler için:

$$0 < \delta < 1 \; ve \; 0 < g < 1 \,, \left(\frac{1-\delta}{1+g} \right) < 1 \tag{5.10}$$

eşitlikleri yazılabilir. $x = \frac{1-\delta}{1+g}$ olarak tanımlanırsa $0 < x < 1$ eşitliği elde edilir.

$$\left(\frac{1-\delta}{1+g} \right) + \left(\frac{1-\delta}{1+g} \right)^2 + \cdots + \left(\frac{1-\delta}{1+g} \right)^{\infty} = x + x^2 + \cdots + x^{\infty} = \frac{x}{1-x} \tag{5.11}$$

Buradan hareketle $\frac{x}{1-x} = \frac{1-\delta}{1+g}$ olarak elde edilir. Elde edilen eşitlik denklem (5.9)'de yerine yazılırsa:

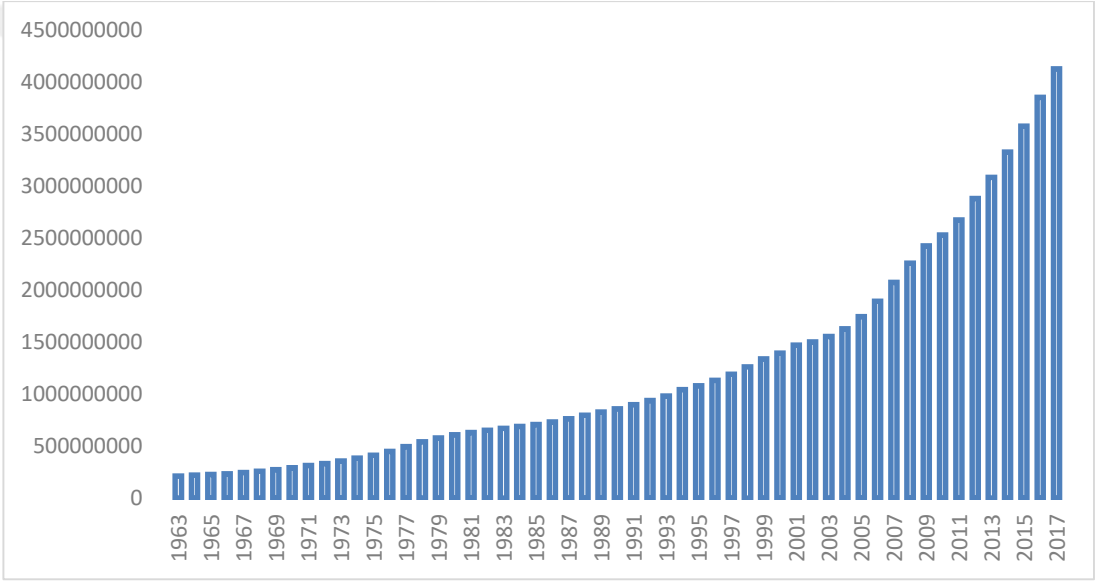
$$K_0 = \frac{I_0}{g+\delta} \tag{5.12}$$

K_0: Başlangıç Sermaye Stoğu

I_0: Başlangıç Sermaye Yatırımı

δ: Amortisman oranı (%5)

Sürekli Envanter Yöntemi ile 1963-2017 dönemine ait hesaplanmış olan Türkiye sermaye stoğu Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: 1963-2017 Dönemine ait Türkiye Fiziki Sermaye Stoğu (Bin TL)

Yazar tarafından hazırlanmıştır.

lnL (İstihdam Edilen Kişi Sayısı): Emek değişkeni olarak 1963-2017 dönemine ait istihdam edilen kişi sayısı (15+) kullanılmıştır. 1963-2014 dönemine ait veriler Penn World Table 9.0'dan elde edilmiştir. 2014-2017 yıllarına ait istihdam verileri ise International Labour Organization (ILO)'dan elde edilmiştir.

lnE (Kişi Başına Nihai Enerji Tüketimi): Enerji değişkeni olarak kişi başına toplam nihai enerji tüketimi (kg eşdeğer petrol) kullanılmıştır. 1963-2015 dönemine ait veriler Dünya Bankasından alınmıştır. 2016 ve 2017 yılına ait veriler ise Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün Denge Tablolarından elde edilmiştir.

Tablo 5.1: Değişkenler

Değişkenler	Açıklama	Dönem	Kaynak
lnGSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	1963-2017	T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
lnK	Sermaye stoğu	1963-2017	Tarafımızdan hesaplanmıştır
lnL	İstihdam edilen kişi sayısı	1963-2017	Penn World Table 9.0
lnE	Kişi başına toplam nihai enerji tüketimi(kg eş-değer petrol)	1963-2017	Dünya Bankası (World Bank)

Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
lnGSYH	Bin TL	20.01022	0.6888473	18.78834	21.24995
lnK	Bin TL	20.59736	0.8440924	19.17782	22.14141
lnL	Bin kişi	9.681232	0.2548911	9.28489	10.2311
lnE	kg eş-değer petrol	6.813922	0.4000082	6.04397	7.49443

5.2. Auto-Regressive Distrubured Lag (ARDL) Yöntemi

Eşbütünleşme testleri genellikle tüm serilerin I(1) olmasına dayanmaktadır. Pesaran, Shin ve Smith (2001) geliştirdikleri sınır yaklaşımı ile bu sorunu ortadan kaldırmışlardır. ARDL sınır testi, seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi olup olmadığını test etmektedir. Boş hipotez seriler arasında ilişki olmadığını ifade etmektedir. Sınır testi asimptotik dağılım göstermektedir. Asimptotik dağılım altında sınır testi I(0) ve I(1) karışık seriler için tutarlıdır. Sınır testi serilerin I(0) veya I(1) olmasını dikkate almaksızın uygulanabilmektedir. Serilerin farklı eşbütünleşme derecesine sahip olması bir sorun oluşturmamaktadır. Ancak I(2) ve üzeri seriler için uygulanamamaktadır (Pesaran, Shin ve Smith, 2001, 290).

$$lnGSYH = f(lnK, lnL, lnE) \tag{5.13}$$

Çalışmamızdaki veri setinden hareketle ARDL modeli denklem (5.14)'de tanımlanmıştır.

$$\Delta lnGSYH_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^{q} \delta_{1i}\, \Delta lnGSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \delta_{2i}\, \Delta lnK_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \delta_{3i}\, \Delta lnL_{t-i} +$$

$$\sum_{i=0}^{q} \delta_{4i}\, \Delta lnE_{t-i} + \delta_5 lnK_{t-1} + \delta_6 lnL_{t-1} + \delta_7 lnE_{t-1} + +\delta_8 lnGSYH_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.14)$$

Denklemdeki Δ, değişkenlerin birinci farkını temsil etmektedir. Sınır testi uygulanırken q (gecikme uzunluğu) belirlenmelidir. Gecikme uzunluğu bilgi kriterleri ile belirlenmektedir. Bu çalışmada AIC bilgi kriteri kullanılmıştır. Gecikme uzunluğu belirlendikten sonra sınır testi yapılmalıdır. Sınır testinde 2 kritik değer kullanılmaktadır. Alt kritik değer, serilerin I(0) olması halinde elde edilen değerdir. Üst kritik değer ise kullanılan serilerin tamamının I(1) olduğu durumu gösteren değerdir. Boş hipotezin red edildiği durumda seride eşbütünleşme ilişkisi olduğu söylenmektedir.

$$H_0: \delta_5 = \delta_6 = \delta_7 = \delta_8 = 0 \quad (5.15)$$

Modelde eş bütünleşme ilişkisi araştırılırken kullanılan sınır testi, Dickey-Fuller tipi regresyonda olduğu gibi değişkenlerin gecikmelerinin anlamlılığını toplu F testi diğer ismiyle Wald testi ile sınamaktadır (Pesaran, Shin ve Smith, 2001). Modelin kısa dönem ilişkileri Hata düzeltme modeli ile açıklanmaktadır. Hata Düzeltme Modeli denklem (5.16)'de tanımlanmıştır.

$$\Delta lnGSYH_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^{q} \delta_{1i}\, \Delta lnGSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \delta_{2i}\, \Delta lnK_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \delta_{3i}\, \Delta lnL_{t-i} +$$

$$\sum_{i=0}^{q} \delta_{4i}\, \Delta lnE_{t-i} + \omega ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.16)$$

$\delta_{1i}, \delta_{2i}, \delta_{3i}, \delta_{4i}$ modelin dengeye gelmesini sağlayan katsayılardır. ECM hata düzeltme terimi (ω) bir şok durumunda uzun dönem ilişkiden kısa dönemli sapmaların ne zaman dengeye geleceğini göstermektedir (Halicioglu, 2008, 2427).

5.3. Ridge Regresyon Yöntemi

Çoklu doğrusal regresyon modellerinde parametreler genellikle En Küçük Kareler yöntemi ile tahmin edilmektedir. Temel lineer regresyon modeli denklem (5.17)'deki gibi tanımlanmaktadır (Wooldridge, 2013, 807).

$$Y = X\beta + u \quad (5.17)$$

En Küçük Kareler Tahmincisi (OLS) ile parametre (β) tahmini ise;

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y \tag{5.18}$$

EKK tahmin yönteminde açıklayıcı değişkenlerin birbiriyle yüksek derecede çoklu doğrusal bağıntıya (multicollinearity) sahip olması tahmin edicilerin varyanslarının yüksek olmasına neden olur. Bu durum da açıklayıcı değişkenlerin tekil olarak istatistiksel bakımdan anlamsız gibi görünmesine neden olabilmektedir (Wooldridge, 2013, 94). Çoklu doğrusallık sadece regresyon modelinin tahmin gücünü etkilemez aynı zamanda regresyon katsayılarını da etkiler (Hair ve diğ., 2014, 197).

Çoklu doğrusal bağıntıyı gidermedeki bir yöntem modeldeki açıklayıcı değişkenlerden birini model dışına çıkarmaktır. Üretim fonksiyonu tahminlerinde model değişkenleri belirli bir üretim fonksiyonu türüne dayandığı için değişken çıkarılması söz konusu değildir. Bu yüzden bu çalışmada çoklu doğrusal bağıntı durumunda tutarlı tahmin sonuçları veren Ridge Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Ridge Regresyon ilk defa 1962 yılında A. E. Hoerl tarafından tanımlanmıştır. Hoerl ve Kennard (1970) tarafından önerilen "Ridge Regresyon" yöntemi ile yapılan tahminden elde edilen hata kareler ortalaması, EKK tahmininden elde edilen hata kareler ortalamasından daha küçüktür.

Ridge Regresyon modelinde parametre (β) tahmini;

$$\hat{\beta} = [X'X + kI]^{-1}X'Y; k \geq 0 \tag{5.19}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Modele küçük pozitif bir k değeri eklenmiştir. k 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Ridge Regresyon tahmini ile daha küçük hata kareler ortalaması elde edilmektedir (Hoerl ve Kennard, 1970, 65). Ridge Regresyonun başlıca amaçlarından biri de hassaslık analizidir. Modeldeki değişkenlerin yüksek korelasyona sahip olduğu durumda katsayılar k'nın sıfıra yakın değerlerinde çok hızlı değişkenlik göstermektedir ve k değerleri arttıkça regresyon katsayıları kararlı hale gelmektedir. Regresyon katsayılarının durağanlaştığı bölgedeki k değeri optimum k değeri olarak seçilmektedir. Kararlılığın sağlandığı k değerinde istenilen katsayılar kümesi elde edilmektedir (Akdeniz ve Çabuk, 2005, 9). k değerini belirlemede farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada optimum k değerinin belirlenmesinde Hoerl ve Kennard (1976) baz alınmıştır $\left(k_\alpha = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\beta}'\hat{\beta}}\right)$.

5.4. Model Tahmin Bulguları

Birim Kök Testi: Serilerdeki durağanlığın test edilmesi için Genişletilmiş (Augmented) Dickey-Fuller (ADF), Ng-Perron (2001), Kwiatkowski-Philips-Schmidt ve Shin (1992) birim kök testleri kullanılmıştır. ADF ve Ng-Perron testleri için H_0 hipotezi serilerin durağan olmadığını belirtmektedir. Ng-Perron testi için MZa test sonucu değerleri alınmıştır. KPSS birim kök testinde ise H_0 hipotezi serilerin durağan olduğunu söylemektedir. KPSS testi bu yönüyle ADF ve Ng-Perron birim kök testlerinin sağlaması niteliğindedir.

Tablo 5.3: ADF, Ng-Perron ve KPSS Sonuçları

Birim Kök Testleri		ADF Test İstatistiği			Ng-Perron Test İstatistiği			KPSS Test İstatistiği		
		Düzey		Birinci Fark	Düzey		Birinci Fark	Düzey		Birinci Fark
Değişkenler		Sabit	Sabit veTrend	Sabit	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit
lnGSYH		-0.093	-2.723	-7.263*	1.933	-10.855	-26.482*	0.900	0.093*	0.065*
lnK		0.193	-2.476	-2.455	-8.427**	-21.027**	-8.411**	0.890	0.116*	0.159*
lnL		1.688	-3.160	-6.284*	2.908	-135.295*	-25.972*	0.888	0.095*	0.292*
lnE		-0.951	-3.222***	-6.944*	1.809	-8.9158	-26.478*	0.891	0.129**	0.092*
Anlamlılık Düzeyi	1%	-3.557	-4.137	-3.560	-13.800	-23.800	-13.800	0.739	0.216	0.739
	5%	-2.916	-3.495	-2.917	-8.100	-17.300	-8.100	0.463	0.146	0.463
	10%	-2.596	-3.176	-2.596	-5.700	-14.200	-5.700	0.347	0.119	0.347

Not: ADF, Ng-Perron testlerinde Akaike bilgi kriteri kullanılmıştır. Azami gecikme 10'dur.

Ng-Perron birim kök testinde düzeyde sabit ve trendli modelde lnK ve lnL değişkenleri durağandır I(0). Düzeyde durağan olmayan serilerin birinci farkı alındığında seriler durağanlaşmaktadır. KPSS birim kök test sonucuna göre tüm değişkenlerin sabitli ve trendli modelde I(0) olduğu görülmektedir. Değişkenlerin birinci farkı alındığında tümünün durağan olduğu görülmektedir. Testler düzeyde sabit ve sabitle birlikte trend içermesine göre I(0) veya I(1) olabilmektedir. ADF birim kök testinde lnGSYH ve lnL serileri I(1) serilerdir. Yalnız lnK serisi I(2) görünmektedir. ADF birim kök test sonucuna göre lnK serisinin I(1) olduğu red edilmektedir. Ancak olasılık değeri 0.13'tür. Serilerde yapısal kırılmalar varken bunu dikkate almayan testler genellikle seriye durağan değil demek eğilimindedir. Oysa yapısal kırılmalar göz önünde bulundurulduğunda seri düzey değerinde durağan olabilmektedir. Bu yüzden ADF yapısal kırılmalı birim kök testi de kullanılmıştır. ADF birim kök test sonucuna göre I(2) görünen lnK serisinin yapısal kırılmalı ADF birim kök test sonucunda I(1) bir seri olduğu Tablo 5.4'de görülmektedir.

Tablo 5.4: Yapısal Kırılmalı ADF Birim Kök Testi Sonucu

		Düzey		Birinci Fark	
Değişkenler		t-istatistiği	Prob*	t-istatistiği	Prob*
lnGSYH		-4.617954	0.1858	-7.925137	0.00*
lnK		-3.272294	0.9036	-4.923810	0.0924***
lnL		-4.359271	0.3061	-7.669611	0.00*
lnE		-4.260545	0.3584	-7.120536	0.00*
Anlamlılık Düzeyi	1%	-5.719131		-5.719131	
	5%	-5.175710		-5.175710	
	10%	-4.893950		-4.893950	

Not: Akaike bilgi kriteri kullanılmıştır. Azami gecikme uzunluğu 10 olarak alınmıştır. Sabit ve trendli olarak tahmin gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. Emek-Sermaye-Enerji Girdili C-D Üretim Fonksiyonu ARDL Tahmini

Modeldeki değişkenler arasında eşbütünleşmenin var olup olmadığına sınır testi ile karar verilmektedir. F istatistik değeri üst sınır değerinin üzerindeyse H_0 hipotezi reddedilirken alt sınır değerinin altındaysa H_0 hipotezi red edilemez. Sınır testi sonuçları Tablo 5.5'de gösterilmektedir. Sınır testi sonuçlarına göre F istatistik değeri 6.375 olarak bulunmuştur. Hesaplanan F istatistiği %1 anlamlılık düzeyinde I(0) ve I(1) üst sınır kritik değerlerinden büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi red edilmektedir. Sınır testi sonucuna göre modeldeki değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır.

H_0: Uzun dönemli bir ilişki yoktur.

Tablo 5.5: Sınır Testi Sonuçları

Test İstatistiği	Değer	k
F-istatistiği	6.375416	3

Sınır Kritik Değerleri

Anlamlılık Düzeyi	I(0) Sınırı	I(1) Sınırı
10%	3.47	4.45
5%	4.01	5.07
2.5%	4.52	5.62
1%	5.17	6.36

Değişkenler arasında eşbütünleşmenin varlığı belirlendikten sonra emek, sermaye ve enerji girdilerinin GSYH üzerindeki uzun dönem etkileri ARDL modeli ile araştırılmıştır. ARDL model seçimi için optimum gecikme uzunluğunun belirlenmesinde AIC bilgi kriteri kullanılmıştır. Azami gecikme uzunluğu 4 yıl olarak

belirlenmiştir. Model sabit ve lineer trend eklenerek tahmin edilmiştir. Elde edilen model ARDL (1,4,4,1) modelidir. Tahmin edilen model Tablo 5.6'da gösterilmektedir.

Tablo 5.6: ARDL (1,4,4,1) Modeli Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-rasyosu	p-değeri
Bağımlı Değişken: lnGSYH				
lnGSYH(-1)	0.0829	0.1889	0.4389	0.6633
lnK	1.1217	0.4210	2.6641	0.0115
lnK(-1)	-0.8428	0.6676	-1.2625	0.2149
lnK(-2)	-0.4077	0.6725	-0.6062	0.5482
lnK(-3)	-0.6080	0.6721	-0.9046	0.3717
lnK(-4)	0.8744	0.3631	2.4080	0.0213
lnL	0.1268	0.1793	0.7076	0.4837
lnL(-1)	0.2801	0.2419	1.1577	0.2546
lnL(-2)	0.2202	0.2469	0.8918	0.3784
lnL(-3)	-0.0921	0.2609	-0.3531	0.7260
lnL(-4)	-0.2994	0.2110	-14183	0.1647
lnE	0.6059	0.0976	6.2080	0.0000
lnE(-1)	-0.3136	0.1171	-2.6768	0.0111
C	10.668	2.3556	4.5288	0.0001
Zaman trendi	0.0207	0.0051	4.0659	0.0002
R^2	0.999047	Düzeltilmiş R^2		0.998677
Durbin Watson test istatistiği	2.09	F-istatistiği		2696.169

Tablo 5.6'dan elde edilen tahmin sonuçlarına göre DW test istatistiği 2.09 olarak bulunmuştur. Bu değer DW alt-üst sınır değeri arasında kaldığı için modelde otokorelasyon sorunu bulunmamaktadır. Ekonometrik varsayımların sınama sonuçları ileride gösterilecektir.

Tahmin edilen ARDL (1,4,4,1) modelinin uzun dönem sonuçları ise Tablo 5.7'de gösterilmektedir.

Tablo 5.7: ARDL (1,4,4,1) Uzun Dönem Dengesi

Değişkenler	Katsayılar	Std. Hata	t-değeri	Olasılık-değeri
lnK	0.1499	0.0746	2.00	0.0520***
lnL	0.2570	0.1357	1.89	0.0664***
lnE	0.3187	0.0815	3.90	0.0004*
C	11.6329	1.5477	7.51	0.0000*
Zaman trendi	0.0226	0.0038	5.92	0.0000*

Elde edilen sonuçlar tüm girdilerin uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı ve beklenildiği gibi pozitif işaretli olduğunu göstermektedir. Ayrıca sabit ve trend değişkenleri de istatistiksel olarak anlamlıdır ve pozitiftir. Tahmin edilen modelde GSYH'nin sermaye stoğu elastikiyeti 0.149'dur. Model, diğer değişkenler sabitken uzun dönemde sermaye stoğundaki %1'lik artışın GSYH'de %0.149 artışa yol açacağını göstermektedir. Çıktının emek esnekliği 0.257'dir. Bu sonuç modeldeki diğer değişkenler veri iken uzun dönemde istihdam edilen kişi sayısındaki %1'lik artışın çıktıyı %0.257 artıracağını göstermektedir. Ayrıca çıktının enerji esnekliği ise 0.318'dir. Elde edilen bu sonuca göre modeldeki diğer değişkenler değişmezken kişi başına enerji tüketimindeki %1'lik artış GSYH'yi %0.318 artırmaktadır. Elde edilen bulgulara göre Türkiye'de GSYH üzerinde kişi başına enerji tüketimi, istihdam edilen kişi sayısı ve sermaye stoğundan daha fazla öneme sahiptir. Tahmin modelinde kullanılan değişkenler arasındaki kısa dönem ilişkisi ARDL yaklaşımına dayalı hata düzeltme modeli ile araştırılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 5.8'de gösterilmektedir.

Tablo 5.8: Hata Düzeltme Modelinin Sonuçları

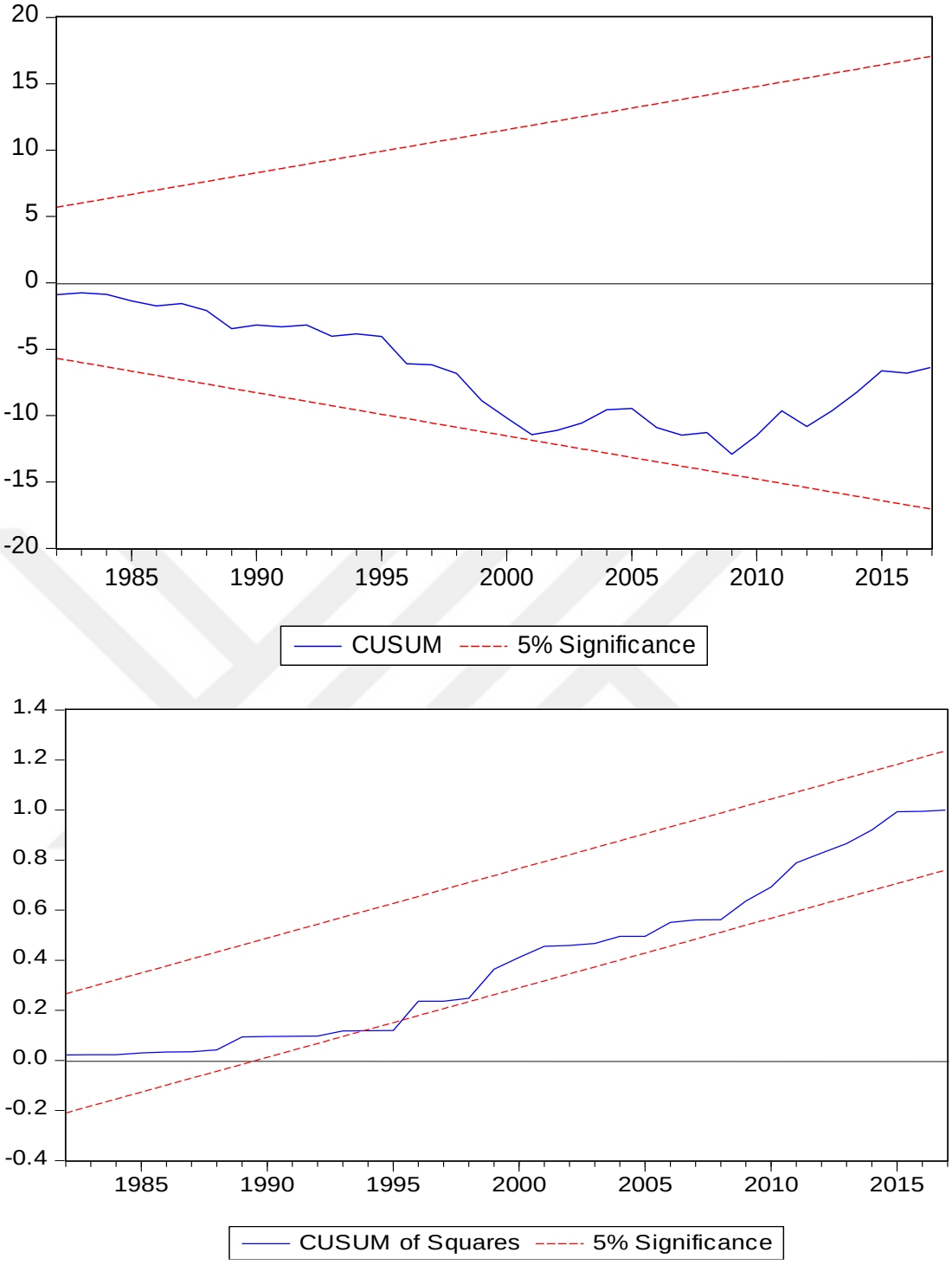
Değişkenler	**Katsayılar**	**Std. Hata**	**t-değeri**	**p-değeri**
Bağımlı Değişken: ΔlnGSYH				
ΔlnK	1.1217	0.4210	2.6641	0.0115**
ΔlnK(-1)	0.4077	0.6725	0.6062	0.5482
ΔlnK(-2)	0.6080	0.6721	0.9046	0.3717
ΔlnK(-3)	-0.8744	0.3631	-2.4080	0.0213**
ΔlnL	0.1268	0.1793	0.7076	0.4837
ΔlnL(-1)	-0.2202	0.2469	-0.8918	0.3784
ΔlnL(-2)	0.0921	0.2609	0.3531	0.7260
ΔlnL(-3)	0.2994	0.2110	1.4183	0.1647
ΔlnE	0.6059	0.0976	6.2080	0.0000*
Zaman Trendi	0.0207	0.0051	4.0659	0.0002*
Hata Düzetme Terimi (-1)	-0.9170	0.1889	-4.8544	0.0000*
Kısa Dönem Tanılama Testleri				
	Test istatistiği		p-değeri	
$\chi^2_{\text{Serial}(4)}$	0.6941		0.3964	
χ^2_{Ramsey}	0.8632		0.4308	
χ^2_{Normal}	0.6109		0.7368	
$\chi^2_{\text{Bruesch}-\text{Pagan}}$	1.9061		0.0597	

Tablo 5.8'de hata düzeltme katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Hata düzeltme katsayısı, modeldeki bağımlı değişken olan GSYH ve açıklayıcı değişkenler arasındaki kısa dönemli sapmaların ne kadar sürede düzeleceği hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olmaktadır. Hata düzeltme katsayısı -0.91 olarak tahmin edilmiştir. Aynı zamanda %1 düzeyinde anlamlıdır. Bu sonuç kısa süreli dengeden sapmaların yaklaşık %91'inin bir yıl içinde düzeleceğini göstermektedir. Kısa dönem diyagnostik (tanılama) test sonuçları modelin tutarlı ve etkin bir model olduğunu göstermektedir. Elde edilen test sonuçları, hata teriminin kendinden önce gelen hata terimlerinden etkilenmesini gösteren içsel bağıntının olmadığını göstermektedir. Bruesch-Pagan test sonucu, hata teriminin varyansının bağımsız değişkenlerdeki değişmelerle birlikte değişmediğini göstermektedir. Öte yandan hata terimi normal dağılmaktadır. Ramsey test sonucu ise modelin fonksiyonel biçiminin doğru kurulduğunu göstermektedir.

İstikrarsızlık sorunu bazı durumlarda kısa dönem dinamiklerinin eksik ya da yanlış tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Uzun dönem katsayılarının açıklanmasında kısa dönem dinamikleri etkili olmaktadır. Bu nedenle uzun dönem katsayılarının kararlılığının belirlenmesinde Brown, Durbin ve Evans (1975)'ın önerdikleri CUSUM ve CUSUMSQ testleri kullanılmıştır.

CUSUM (Cumulative um of recursive residuals) ve CUSUMSQ (Cumulative sum of squares of recursive residuals) %5 anlamlılık düzeyinde parametrelerin kararlılığını test etmektedir. CUSUM ve CUSUMSQ testleri regresyon kalıntılarının tekrarına dayanmaktadır. Bu testler uzun dönem kalıntılarıyla kısa dönem dinamikleri arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. CUSUM ve CUSUMSQ değerleri kritik değer aralığında kalıyorsa regresyon katsayıları kararlıdır. Bu test genellikle grafiksel gösterim ile uygulanmaktadır (Halicioglu, 2008, 2426).

Şekil 5.2 CUSUM ve CUSUMSQ test sonuçlarını göstermektedir. CUSUM ve CUSUMSQ istatistik değerlerinden elde edilen eğri %5 anlamlılığı gösteren iki kritik değer arasındadır. CUSUM ve CUSUMSQ grafiklerine göre tahmin edilen model parametreler açısından uzun dönemde kararlıdır.



Şekil 5.2: CUSUM ve CUSUMSQ Test Sonuçları

* Kesikli doğrular yüzde 5 anlamlılık düzeyinde kritik sınırları, düz çizgiler ise CUSUMSQ test değerini göstermektedir.

5.4.2. Emek-Sermaye-Enerji Girdili C-D Üretim Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmini

Çoklu doğrusal bağıntının belirlenmesinde en önemli gösterge korelasyon matrisidir. Tam çoklu doğrusallığın olması regresyon analizinde kabul edilmeyen bir koşuldur. Korelasyon matrisindeki bağımsız değişkenlerin birbiriyle olan korelasyon katsayısı 0.8'den büyük olması çoklu doğrusal bağıntının varlığını göstermektedir (Farrar ve Glauber, 1967, 98). Bir diğeri ise Varyans Büyütme Faktörü (Variance Inflation Factor-VIF) yöntemidir. VIF, bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarının standart hata üzerindeki etkisini gösterir. VIF değeri doğrudan modelin açıklanma gücünü gösteren R^2 ile ilişkilidir. Yüksek VIF değeri yüksek çoklu doğrusal bağıntıya işaret etmektedir (Hair ve diğ., 2014, 157). VIF değeri 10'dan büyükse çoklu doğrusal bağıntı olduğuna karar verilmektedir (Hair ve diğ., 2014, 200).

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \tag{5.20}$$

Denklem (5.20)'de görüldüğü üzere her bir bağımsız değişkene karşılık gelen bir VIF değeri bulunmaktadır. Modeldeki bağımsız değişkenlere ait korelasyon matrisi ve VIF değerleri Tablo 5.9'da gösterilmektedir.

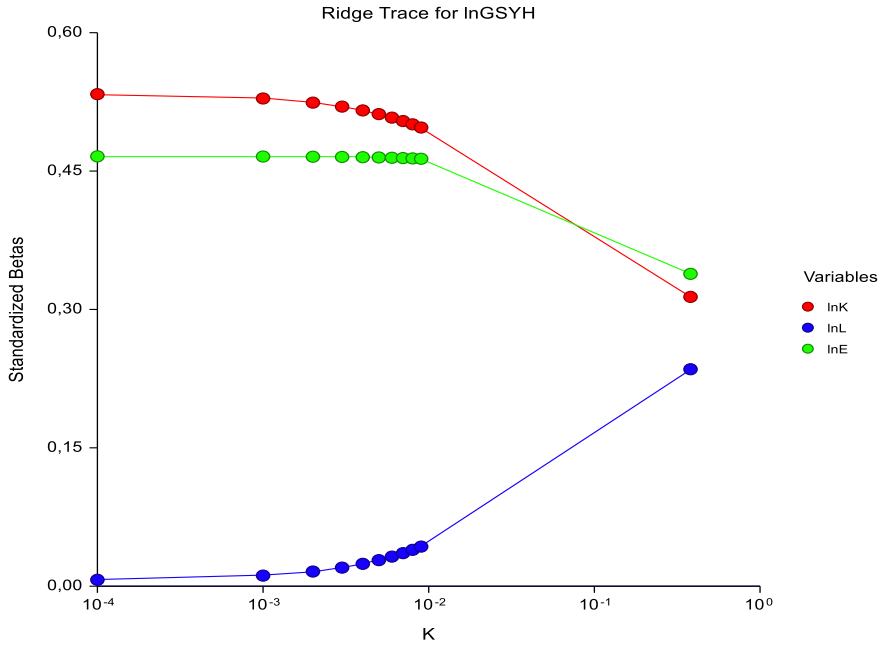
Tablo 5.9: C-D Fonksiyonu Korelasyon Matrisi ve VIF Değerleri

	lnK	**lnL**	**lnE**	**VIF**
lnK	1			88.5987
lnL	0.9882	1		42.7412
lnE	0.9890	0.9771	1	45.8355

Tablo 5.9 incelendiğinde bağımsız değişkenler arasında çok güçlü doğrusal bağıntı olduğu görülmektedir. Tüm bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan korelasyon değerleri 0.97'nin üzerindedir. Korelasyon değerleri 0.80'nin üzerinde olduğu için çoklu doğrusal bağıntı olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca değişkenlerin VIF değerleri 10'un üzerindedir. Bu değerde bize regresyonda çoklu doğrusal bağıntı olduğunu göstermektedir. Bu durumda EKK tahmincisi sapmalı sonuçları vereceğinden model tahmininde tutarlı ve etkin tahmin sonuçları veren Ridge Regresyon yöntemi kullanılmıştır.

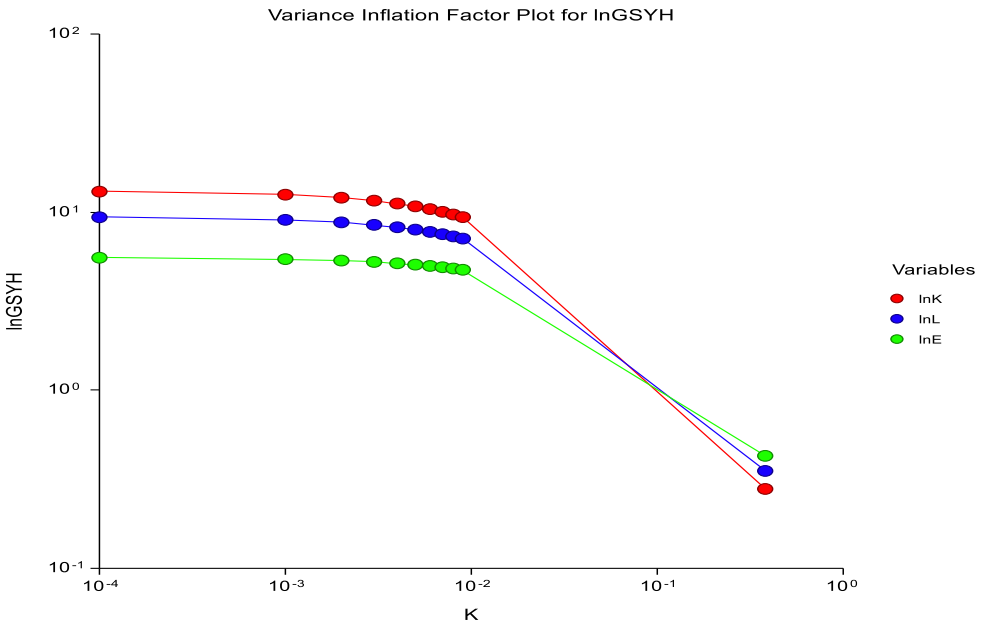
Model Ridge Regresyon ile tahmin edildikten sonra modelde otokorelasyon sorunu olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunu gidermek için FGLS dönüştürmesi yapılmıştır. ρ değerinin tahmin edilmesinde Prais-Winsten (PW) tahmincisi kullanılmıştır. 7

iterasyon sonunda ρ değeri 0.7846018 olarak tahmin edilmiştir. FGLS dönüştürmesi sapmasız olmadığından yanlı bir tahmin yapılmıştır. Aşağıdaki tüm sonuç ve testler dönüştürülmüş model sonrası elde edilen sonuçları göstermektedir.



Şekil 5.3: Cobb-Douglas Fonksiyonu Ridge İzi

Şekil 5.3'de görülen Ridge izi grafiği, regresyon parametrelerinin durağanlaştığı noktadaki k değerini göstermektedir. Bu çalışmada optimum k değerinin belirlenmesinde Hoerl ve Kennard (1976) baz alınmıştır.



Şekil 5.4: Cobb-Douglas Fonksiyonu VIF Grafiği

Şekil 5.4'de gösterilen VIF grafiği ise optimum k değerindeki VIF değerlerini göstermektedir. Optimum k değerinde, VIF değerleri sıklıkla 1'den daha küçük değerler almaktadır. Bu sonuç bize modeldeki çoklu doğrusal bağıntı sorunun ortadan kaldırıldığını göstermektedir. Tablo 5.10 enerji ile genişletilmiş Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun Ridge Regresyon ile tahmininde elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 5.10: C-D Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmin Sonuçları (k=0.380544)

R-square	0.8396	Adjusted R-square	0.8299	Standart hata	0.0618

Tahmin Sonuçları

Bağımsız Değişkenler	**Regresyon Katsayıları**	**Standart Hata**	**t-değeri**	**Standartlaştırılmış Regresyon Katsayıları**	**VIF**
Sabit	1.1333	0.2275	4.98	0.0000	0.0000
lnK	0.2571	0.0245	10.48	0.3136	0.2791
lnL	0.5753	0.0822	6.99	0.2352	0.3523
lnE	0.5734	0.0627	9.13	0.3386	0.4282
Tanılama Testleri					
	F-istatistiği		p-değeri		
$\chi^2_{\text{Serial}(4)}$	2.0713		0.1004		
$\chi^2_{\text{Bruesch-Pagan}}$	0.2321		0.8736		

Ridge Regresyon sonuçlarına göre model yazılırsa:

$$\hat{Y} = 1.133314 + 0.2571394lnK + 0.5753886lnL + 0.5734084lnE \qquad (5.21)$$

Tablo 5.10'dan elde edilen bulgular bu model için belirlenmiş olan optimum k değerinde (0.380544) üretim fonksiyonu girdilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Logaritmik sermaye stoğu-istihdam edilen kişi sayısı-kişi başına enerji tüketimi değişkenleri logaritmik GSYH'deki değişkenliğin yaklaşık %83.96'sını açıklamaktadır. Tüm değişkenlerin VIF değerlerinin 10'dan küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgular modeldeki diğer değişkenler sabitken sermaye stoğundaki %1'lik artışın GSYH'yi %0.257 artırdığını göstermektedir. Bir başka ifadeyle çıktının sermaye esnekliği 0.257 olarak tahmin edilmiştir. Benzer şekilde çıktının emek ve enerji esnekliği sırasıyla 0.575 ve 0.573 olarak tahmin

edilmiştir. Tahmin sonuçlarından hareketle enerji girdisinin üretim fonksiyonlarında önemli bir değişken olduğu da görülmektedir. Sermaye stoğu ve istihdam edilen kişi sayısı sabitken kişi başına enerji tüketimindeki %1'lik artış GSYH'yi %0.573 artırmaktadır.

Tanılama test sonuçları modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla test sonuçları etkin ve tutarlıdır.

Tablo 5.11: C-D Fonksiyonu Anova Tablosu

Kaynak	DF	SSR	MSE	F-istatistiği	Olasılık(Prob)
Sabit	1	1022.194	1022.194		
Model	3	0.9986	0.3328	87.2383	0.00
Hata	50	0.1907	0.0038		
Toplam	53	1.1893	0.0224		

Anova Tablosundaki F-istatistiği modelin bütün olarak anlamlılığını göstermektedir. Olasılık değeri (0.00), 0.01 olasılık değerinden küçük olduğu için tahmin edilen model %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

5.4.3. Emek-Sermaye-Enerji Girdili Translog Üretim Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmini

Translog model esnek bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı ekonometrik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Modelin esnek yapıda olması çok değişkenli modellerin daha kolay tahmin edilmesine izin vermektedir. Ancak bu çoklu doğrusal bağıntı riskinin de artmasına neden olmaktadır (Grassetti, Gori, Minotti, 2005).

Bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerleri Tablo 5.12'de gösterilmektedir.

Tablo 5.12: Translog Üretim Fonksiyonu Korelasyon Matrisi

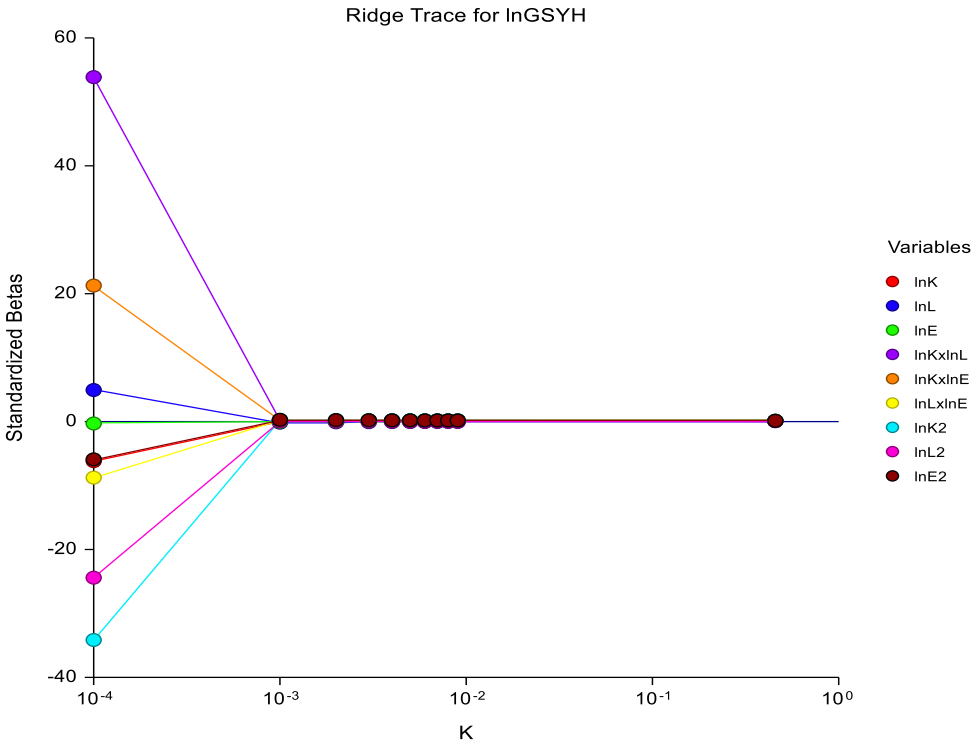
	Korelasyon Matrisi								
Değişken	**lnK**	**lnL**	**lnE**	**lnKxlnL**	**lnKxlnE**	**lnLxlnE**	**lnK2**	**lnL2**	**lnE2**
lnK	1								
lnL	0.988	1							
lnE	0.989	0.977	1						
lnKxlnL	0.998	0.996	0.985	1					
lnKxlnE	0.997	0.987	0.997	0.995	1				
lnLxlnE	0.994	0.991	0.997	0.995	0.999	1			
$(lnK)^2$	0.999	0.990	0.987	0.998	0.996	0.994	1		
$(lnL)^2$	0.987	0.999	0.975	0.996	0.985	0.990	0.988	1	
$(lnE)^2$	0.991	0.981	0.999	0.988	0.998	0.998	0.990	0.979	1

Bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerleri 0.8'in oldukça üzerindedir. Açıkça görülmektedir ki modelde tam denilebilecek düzeyde çoklu doğrusal bağıntı bulunmaktadır.

Translog üretim fonksiyonu modeli sabit bir yapıya sahip olduğu için modelden değişken çıkarılması söz konusu değildir. Bundan dolayı çoklu doğrusal bağıntı durumunda tutarlı tahmin sonuçları veren Ridge Regresyon yöntemi kullanılmıştır. RR tahmin sonucunda modelde hata teriminin AR(1) süreci izlediği görülmüştür. Otokorelasyon sorununun gidermek için FGLS dönüştürmesi yapılmıştır. ρ değeri Durbin (1960) ile tahmin edilmiştir. Tahmin sonucunda ρ değeri 0.720531 bulunmuştur. Bu dönüştürme yapıldıktan sonra model Ridge Regresyon yöntemi ile tahmin edilmiştir.

Ridge Regresyon ve Durbin' in 2 aşamalı metodundan oluşan bu kombinasyon yüksek dereceden otokorelasyon olsa da n değişken için kolayca genişletilebilmektedir (Hsu, 1977, 36).

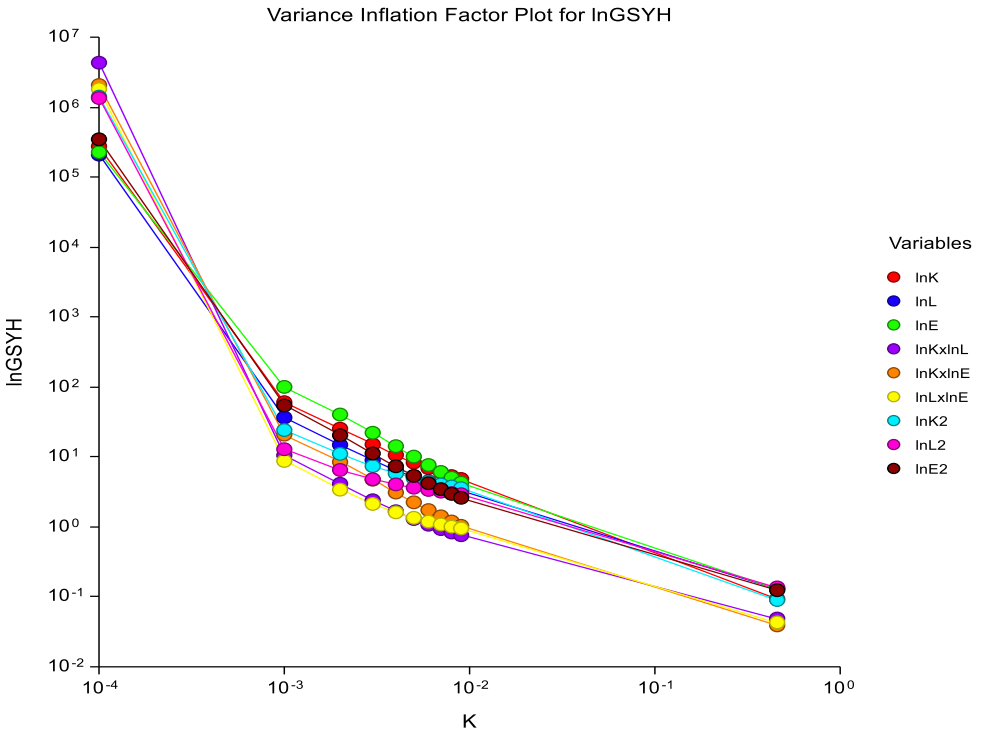
Şekil 5.5, Ridge izini göstermektedir.



Şekil 5.5: Translog Fonksiyonu Ridge İzi Grafiği

Ridge iz grafiği dikey eksende standartlaştırılmış β katsayılarını yatay eksende ise k değerlerini göstermektedir. Küçük k değerlerinde oynaklık çok yüksektir. k değeri arttıkça regresyon katsayıları durağanlaşmaktadır. Yanlılık sabiti (k) ile yanlı tahminler gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu çalışmada Hoerl ve Kennard (1976) baz alınarak hesaplanan optimum k değeri 0.457076 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.6, k değerlerinin VIF değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir. k değerleri arttıkça VIF değerleri azalmaktadır. Optimum k değerinde VIF değerlei 10'dan küçük olmaktadır. Bu model için belirlenmiş olan optium k (0.457076) değerinde lnK VIF değeri 0.0934, lnL 0.1228 ve lnE 0.1323'tür. Bu değerler çoklu doğrusal bağıntının giderildiğini göstermektedir.



Şekil 5.6: Translog Fonksiyonu VIF Grafiği

Ridge Regresyon tahmin sonuçları Tablo 5.13'de verilmiştir. Anova tablosundaki F değeri ve prob değeri modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Katsayıların durağanlaştığı noktayı temsil eden optimum k değeri 0.457076 olarak belirlenmiştir. Optimum k değerinde RR ile tahmin edilen model sonuçları tüm katsayıların istatistiksel açıdan anlamlı ve pozitif olduğunu göstermektedir. Modeldeki logaritmik bağımsız değişkenler logaritmik bağımlı değişkendeki değişkenliğin yaklaşık

%92.44'ünü açıklamaktadır. Ekonometrik sınamalar açısından test sonuçları modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorununun olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla elde edilen tahmin sonuçları güvenilirdir.

Tablo 5.13: Translog Üretim Fonksiyonu Ridge Regresyon Tahmin Sonuçları

Ridge Regresyon Katsayı Tahminleri k = 0.457076	
R-square	0.9244
Adjusted R-square	0.9089
Standart hata	0.0579

ANOVA Tablosu

	DF	SSR	MSE
Regresyon	9	1.8025	0.2002
Hata	44	0.1473	0.0033
F-değeri		Olasılık(Prob)	
59.7990		0.000	

Tahmin Sonuçları

Bağımsız Değişkenler	**Regresyon Katsayıları**	**Standart Hata**	**Standartlaştırılmış Regresyon**	**t değeri**
lnK	0.0930	0.0103	0.1142	9.01
lnL	0.1880	0.0374	0.0747	5.02
lnE	0.2111	0.0259	0.1228	8.15
lnKxlnL	0.0049	0.0004	0.0985	10.74
lnKxlnE	0.0059	0.0004	0.1209	14.75
lnLxlnE	0.0131	0.0010	0.1089	12.64
$(lnK)^2$	0.0022	0.0002	0.1139	9.15
$(lnL)^2$	0.0095	0.0019	0.0743	4.85
$(lnE)^2$	0.0153	0.0018	0.1230	8.41
Sabit	2.6810	0.8220	0.000	3.26

	F-istatistiği	p-değeri
$\chi^2_{\text{Serial}(1)}$	1.6950	0.1988
$\chi^2_{\text{Bruesch-Pagan}}$	0.9882	0.4632

Girdilerin yıllara göre çıktı esneklik değerleri ve üretim faktörlerinin ikame esneklikleri Tablo 5.14'de gösterilmektedir.

Tablo 5.14: Girdiler için Yıllara Göre Çıktı ve İkame Esneklik Sonuçları

Yıl	ε_K	ε_L	ε_E	σ_{KL}	σ_{KE}	σ_{LE}
1963						
1964	0.14019	0.28693	0.33055	1.00166	0.99716	0.99692
1965	0.14022	0.28701	0.33075	1.00166	0.99717	0.99702
1966	0.14061	0.28784	0.33244	1.00166	0.99727	0.99774
1967	0.14043	0.28729	0.33128	1.00165	0.99718	0.99723
1968	0.14064	0.28769	0.33200	1.00164	0.99721	0.99748
1969	0.14080	0.28791	0.33242	1.00163	0.99722	0.99764
1970	0.14105	0.28862	0.33296	1.00164	0.99722	0.99739
1971	0.14132	0.28904	0.33400	1.00163	0.99727	0.99791
1972	0.14180	0.29019	0.33620	1.00164	0.99740	0.99870
1973	0.14193	0.29032	0.33644	1.00162	0.99740	0.99879
1974	0.14185	0.29010	0.33543	1.00162	0.99730	0.99811
1975	0.14206	0.29043	0.33632	1.00161	0.99735	0.99857
1976	0.14246	0.29120	0.33771	1.00160	0.99741	0.99900
1977	0.14289	0.29214	0.33900	1.00160	0.99745	0.99918
1978	0.14247	0.29105	0.33664	1.00158	0.99729	0.99821
1979	0.14219	0.29047	0.33509	1.00158	0.99718	0.99740
1980	0.14263	0.29146	0.33726	1.00159	0.99732	0.99835
1981	0.14243	0.29099	0.33636	1.00158	0.99726	0.99803
1982	0.14277	0.29174	0.33794	1.00158	0.99736	0.99867
1983	0.14286	0.29191	033823	1.00158	0.99737	0.99875
1984	0.14288	0.29199	0.33815	1.00159	0.99735	0.99859
1985	0.14308	0.29244	0.33900	1.00159	0.99740	0.99888
1986	0.14334	0.29299	0.34001	1.00159	0.99745	0.99921
1987	0.14372	0.29382	0.34160	1.00159	0.99753	0.99972
1988	0.14334	0.29290	0.33944	1.00158	0.99738	0.99881
1989	0.14360	0.29356	0.34052	1.00159	0.99744	0.99908
1990	0.14388	0.29410	0.34178	1.00158	0.99751	0.99960
1991	0.14368	0.29377	0.34009	1.00159	0.99738	0.99850
1992	0.14383	0.29392	0.34102	1.00157	0.99744	0.99915
1993	0.14382	0.29335	0.34136	1.00152	0.99748	0.99997
1994	0.14414	0.29484	0.34120	1.00160	0.99738	0.99839
1995	0.14454	0.29554	0.34371	1.00158	0.99756	0.99982
1996	0.14475	0.29597	0.34435	1.00158	0.99758	0.99993
1997	0.14465	0.29549	0.34377	1.00155	0.99754	0.99991
1998	0.14474	0.29579	0.34355	1.00157	0.99750	0.99945
1999	0.14457	0.29527	0.34246	1.00155	0.99742	0.99905
2000	0.14491	0.29579	0.34464	1.00153	0.99757	1.00031
2001	0.14428	0.29439	0.34079	1.00153	0.99731	0.99848

Tablo 5.14- devam

2002	0.14483	0.29567	0.34396	1.00153	0.99752	0.99989
2003	0.14491	0.29570	0.34412	1.00152	0.99752	0.99999
2004	0.14511	0.29624	0.34450	1.00153	0.99751	0.99979
2005	0.14539	0.29674	0.34522	1.00152	0.99752	0.99991
2006	0.14594	0.29780	0.34750	1.00151	0.99763	1.00070
2007	0.14606	0.29793	0.34756	1.00150	0.99761	1.00064
2008	0.14580	0.29734	0.34575	1.00150	0.99748	0.99977
2009	0.14577	0.29713	0.34554	1.00148	0.99747	0.99980
2010	0.14654	0.29938	0.34899	1.00154	0.99765	1.00044
2011	0.14675	0.29991	0.34931	1.00154	0.99763	1.00022
2012	0.14677	0.29968	0.34904	1.00152	0.99760	1.00021
2013	0.14662	0.29933	0.34786	1.00152	0.99751	0.99962
2014	0.14697	0.29995	0.34926	1.00151	0.99758	1.00015
2015	0.14755	0.30168	0.35121	1.00155	0.99764	1.00010
2016	0.14748	0.30116	0.35080	1.00152	0.99762	1.00024
2017	0.14769	0.30149	0.35172	1.00150	0.99766	1.00064
Ortalama	**0.14381**	**0.29384**	**0.34090**	**1.00157**	**0.99743**	**0.99907**

Çıktının sermaye, emek ve enerji esneklik değerleri yıllara göre artan bir seyir izlemektedir. Üretim faktörleri arasında en yüksek esnekliğe sahip olan değişken ortalama 0.34 ile enerji değişkenidir. 1963-2017 dönemi boyunca çıktının sermaye esnekliği 0.14019-0.14769 (%5,3 artış), emek esnekliği, 0.28693-0.30149 (%5,0 artış), enerji esnekliği ise 0.33055-0.35172 (%6,4 artış) aralığında değerler almaktadır. Başlangıç yılına oranla artış oranı olarak en yüksek değere sahip olan üretim faktörü enerjidir. Model tahmininden elde edilen bulgular diğer değişkenler veri iken kişi başına enerji tüketiminde %1'lik artışın GSYH'yi ortalama olarak %0.34 artırdığını göstermektedir. Başka bir ifade ile çıktının enerji esnekliği 0.34'tür. Öte yandan çıktının sermaye ve emek esnekliği sırasıyla ortalama olarak 0.143 ve 0.293'tür. Tüm girdilerin ikame esneklik değerleri pozitif olarak tahmin edilmiştir. Bu üretim faktörlerinin ikame edilebilirliğini göstermektedir. Sermaye ve emek ikame esnekliği nispeten diğer faktör ikame esneklik değerlerinden daha yüksektir. Ülkedeki sermaye yatırımları artışıyla sermaye stoğu artacaktır. Bu artış emek kullanımını düşürecektir. Diğer yandan enerji-emek ikame esnekliği ortalama 0.99 olarak tahmin edilmiştir.

6. SONUÇ

İnsan ihtiyaçlarını giderecek mal ve hizmetlerin elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar bütünü olarak tanımlanan üretim, bir malın miktarını artırarak ondan daha çok insanın faydalanmasına olanak sağlarken öte yandan bir malın daha fazla fayda sağlayacak duruma getirilmesini de sağlayabilir. Üretim faktörleri, üretimin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan temel girdilerdir. Üretim faktörleri ve üretim arasındaki ilişkiler İktisat teorisinin temel konularından biridir. Hem firma açısından hem de ekonominin bütünü açısından bu ilişki önem arz etmektedir. Çıktı ile üretim faktörleri arasındaki teknik ilişkileri matematiksel olarak ifade eden fonksiyonlara üretim fonksiyonu denilmektedir.

Üretim faktörleri temel olarak iki değişken çerçevesinde ele alınmaktadır. Bunlar emek ve sermayedir. Bir toplumun refah düzeyi, sahip olduğu sınırlı emek, sermaye ve doğal kaynakların kullanılmasıyla yapacağı üretime bağlıdır. Refahın maksimum düzeye ulaştırmak isteyen toplum, ancak kaynaklarını rasyonel bir biçimde kullanmalıdır. Makro düzeyde üretim fonksiyonu her sermaye-emek eşlemesine (K, L), onun mümkün kıldığı maksimum üretim miktarını ifade eder.

Temel üretim faktörleri olan emek ve sermayeye ek olarak enerji değişkeni de 1970 sonrası üretim fonksiyonlarında yerini almaya başlamıştır. Sermaye ve emek ekonomik üretim fonksiyonunu açıklamada yeterli görülebilir. Ancak enerjinin ekonomideki rolü görülmek istenildiğinde enerjinin bir girdi olarak üretim fonksiyonuna dahil edilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak pratikte enerji üçüncü üretim faktörü olarak üretim fonksiyonuna dahil edilmektedir.

Ekonometrik çalışmalarda üretim fonksiyonu tahmini sıklıkla gerçekleştirilmektedir. Bu ekonometrik tahminlerden elde edilen en temel sonuçlar çıktı esnekliği ve ikame esnekliğidir. Çıktı esnekliği; üretimin, üretim faktörlerindeki oransal değişmeye karşı çıktının gösterdiği oransal duyarlılığı ifade etmektedir. İkame esnekliği ise aynı çıktı düzeyinde kalmak için üretim faktörlerinin birbirlerinin yerine kullanılabilmesi ile ilgilidir. Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonlarında ikame esnekliği bir olarak kabul edilmektedir. CES üretim fonksiyonlarında ise ikame

esneklik katsayısının sabit olduğu kabul edilmektedir. İkame esneklik katsayısının sabit ve 1'den farklı olduğunu gösteren farklı yöntemler de bulunmaktadır. Bunlardan biri de Christensen, Jorgenson ve Lau (1973) tarafından geliştirilen Translog üretim fonksiyonudur.

Bu çalışmada 1963-2017 dönemi için sermaye, emek ve enerjiyi girdi olarak alan üretim fonksiyonu tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Model tahmininde kullanılacak olan değişkenlerin durağanlığı ADF, Ng-Perron ve KPSS birim kök testleriyle araştırılmıştır. Seriler farklı dereceden durağan olduğundan dolayı üretim faktörleri arasındaki eşbütünleşme ilişkisi tek eşitlik modeline dayanan ARDL yaklaşımı ile incelenmiştir. Üretim faktörleri arasındaki eşbütünleşme ilişkisi saptandıktan sonra Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ARDL modeli ile tahmin edilmiştir. Ayrıca üretim faktörleri arasındaki ikame esnekliğinin hesaplanabilmesi için Translog üretim fonksiyonu tahmini gerçekleştirilmiştir. Kullanılan değişkenler arasında yüksek çoklu bağıntı nedeniyle Translog model, Ridge Regresyon tekniğiyle tahmin edilmiştir.

Üretim faktörleri serilerinin durağanlığı ADF, Ng-Perron ve KPSS birim kök testleri ile sınanmıştır. Serilerde yapısal kırılmalar varken bunu dikkate almayan testler genellikle seriye durağan değil demek eğilimindedir. Oysa yapısal kırılmalar göz önünde bulundurulduğunda seri düzey değerinde durağan olabilmektedir. Bundan dolayı bu testlere ek olarak tüm serilere Yapısal kırılmalı ADF birim kök testi uygulanmıştır. ADF birim kök test sonucunda logaritmik sermaye değişkeni I(2) bir seri olarak görünmekte iken yapısal kırılmalı ADF birim kök testi ile serinin I(1) olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Ng-Perron ve KPSS birim kök test sonuçlarında ise seriler trend ve sabit içermesine göre I(0) veya I(1) olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla serilerin eşbütünleşme derecelerinin farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Üretim girdileri arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin ortaya konulmasında serilerin farklı dereceden durağan olması nedeniyle Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından geliştirilen sınır yaklaşımı tercih edilmiştir. Sınır test sonuçları üretim girdileri ile GSYH arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğunu göstermiştir. Eşbütünleşme ilişkisi belirlendikten sonra ARDL uzun dönem modeli tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmin modeli ARDL (1,4,4,1), tüm girdilerin uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı ve beklenildiği gibi pozitif olduğunu göstermiştir. Uzun dönemde GSYH'nin sermaye, emek ve enerji elastikiyetleri sırasıyla 0.149, 0.257, 0.318 olarak tahmin edilmiştir.

Literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmadan elde edilen bulgular emeğin çıktı esnekliğinin sermayenin çıktı esnekliğinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde sermaye stoğundaki %1'lik artış GSYH'yi ortalama %0.149 artırmaktadır. Diğer yandan uzun dönemde istihdam edilen kişi sayısındaki % 1'lik artış GSYH'yi ortalama olarak %0.257 artırmaktadır. Bir diğer üretim faktörü olan enerji değişkeni için uzun dönem katsayılarından elde edilen bulgulara göre kişi başına enerji tüketimindeki %1'lik artış GSYH'yi ortalama % 0.318 artırmaktadır. Tahmin sonuçları üretim faktörleri arasında enerji değişkeninin çıktı esnekliğinin diğer girdilerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

ARDL yaklaşımı ile tahmin edilen modelin uzun dönemde model parametrelerinin kararlı olup olmadığı CUSUM ve CUSUMSQ grafikleri yardımıyla araştırılmıştır. CUSUM ve CUSUMSQ grafiklerinden elde edilen eğrilerin güven aralığı içinde olduğu ve sıfır değerini kesmediği görülmüştür. Grafiklerden elde edilen sonuçlar tahmin edilen modelin parametreler açısından kararlı olduğunu göstermiştir. Parametrelerin kararlı olması tahmin sonuçlarının güvenilir olduğunun bir göstergesi niteliğindedir. Model parametrelerinin kararlı ve modelin güvenilir olduğu belirlendikten sonra uzun dönemden sapmaları gösteren kısa dönem modeli incelenmiştir. Modeldeki kısa dönem dinamiklerinin açıklanmasında hata düzeltme modeli kullanılmıştır. Modeldeki hata düzeltme katsayısı -0.91 olarak tahmin edilmiştir. Hata düzeltme katsayısı kısa dönemde dengeden bir sapma olduğunda, bu sapmanın yüzde 91'inin 1 yıl içinde uzun dönem dengesine yakınsayacağı anlamına gelmektedir.

Diğer yandan çalışmada ikame esneklik değerlerinin hesaplanmasında Translog üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Bu üretim fonksiyonu esnek bir yapıya sahip olmakla birlikte çoklu doğrusal bağıntı riskini de beraberinde getirmektedir. Çoklu doğrusal bağıntı durumunda EKK tahmincisi sapmalı sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla parametre tahminleri etkinsizdir. Bundan dolayı çoklu doğrusal bağıntı durumunda etkin ve tutarlı tahmin sonuçları veren Ridge Regresyon yöntemi Translog üretim fonksiyonu tahmininde kullanılmıştır. Bu teknik yanlı tahmin sonuçları vermekle birlikte etkin ve tutarlıdır. Ridge Regresyon ile tahmin edilen Translog model sonuçlarına göre çıktının sermaye stoğu, emek ve enerji esnekliği ortalama olarak sırasıyla 0.144, 0.294 ve 0.341 olarak tahmin edilmiştir. Yapılan tahmin sonuçlarında ortalama 0.34 ile çıktının enerji esnekliği diğer üretim faktörlerin

esnekliğinden daha yüksek bulunmuştur. Bulgular modeldeki diğer değişkenler veri iken enerji tüketimindeki %1'lik artış GSYH'yi %0.341 artırdığını göstermektedir. Diğer yandan sermaye-emek ikame esnekliği ortalama olarak 1.002, sermaye-enerji ikame esnekliği 0.997 ve emek-enerji ikame esnekliği 0.999 olarak tahmin edilmiştir. Translog üretim fonksiyonu Ridge Regresyon çıktı esnekliği tahmininden elde edilen sonuçlar, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ARDL uzun dönem modeli çıktı esnekliği tahmininden elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

1963-2017 dönemine ait verilerle Türkiye için gerçekleştirilen ampirik çalışma bulguları bir üretim girdisi olarak enerjinin en az diğer üretim faktörleri kadar üretim fonksiyonlarında etkin bir rol oynadığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, Şenay, Gaye K. Çatalbaş. 2010. Türkiye Ekonomisi'nde Büyümenin Kaynakları: Parametrik Olmayan Bir Yaklaşım. **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.** c. 25. s. 2: 1-22.

Akan, Yusuf. 2002. Türk İmalat Sanayiinde Faktör İkamesi, Teknolojik Gelişme ve Ölçeğe Göre Getiri: Yeni CES Üretim Fonksiyonu Yaklaşımı. **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi.** c. 16. s. (3-4): 75-85.

Akdeniz, Fikri, Altan Çabuk. 2005. Ridge Regresyon Teorisinde 1970 den Sonraki Gelişmeler. **Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**. c. 9. s. 2: 1-30. http://dergipark.gov.tr/cuiibfd/issue/34950/388924.

Arnold, Roger A. 2008. **Microeconomics.** 9th. edition. Mason: South-Western Cengage Leraning.

Arrow, K. J., H. B. Chenery, B. S. Minhas, R. M. Solow. 1961. Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency. **The Review of Economics and Statistics.** vol. 43. no. 3: 225-250.

Avcı, Tahsin, Atalay Çağlar. 2016. Stokastik Sınır Analizi: İstanbul Sanayi Odası'na Kayıtlı Firmalara Yönelik Bir Uygulama. **Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi.** c. 4. s. 2: 17-57.

Avralıoğlu, Zeki. 1977. **Üretim Fonksiyonları.** Ankara: Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları No: 102.

Baray, A. İlkin, Nevzat Güran. 1986. Üretimde Faktörlerarası İkame Olanaklarının Belirlenmesi (Türk Özel İmalat Sanayii Örneği: 1970-1983). **T.C. Dokuz Eylül İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.** c. 1. no. 1: 19-47.

Barro, Robert J., Xavier Sala-i-Martin. 2004. **Economic Growth.** 2nd. edition. London: MIT Press.

Bénicourt, Emmanuelle, Bernard Guerrien. 2017. **Neoklasik İktisat Teorisi.** çev. Dönmez, Mustafa, Hüseyin Şahin, Ertuğrul Tokdemir. 1. bs. İstanbul: İletişim Yayınları.

Berlemann, Michael, Jan-Erik Wesselhöft. 2014. Estimating Aggregate Capital Stocks Using the Perpetual Inventory Method: A Survey of Previous Implementations and New Empirical Evidence for 103 Countries. **Review of Economics.** vol. 65. no. 1: 1-34.

Berndt, Ernst R. 1976. Reconciling Alternative Estimates of the Elasticity of Substitution. **The Review of Economics and Statistics.** vol. 58. no. 1: 59-68.

Besanko, David, Ronald R. Braeutigam. 2014. **Microeconomics.** 5th. edition. USA: Wiley.

Blundell, Richard, Steve Bond. 2000. GMM Estimation with Persistent Panel Data: An Application to Production Functions. **Econometric Reviews.** vol. 19. no. 3: 321-340.

Brown, Murray, John S. De Cani. 1963. Technological Change and the Distribution of Income. **International Economic Review.** vol. 4. no. 3: 289-309.

Brown, R. L., J. Durbin, J. M. Evans. 1975. Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological).** vol. 37. no. 2: 149-192.

Brox, James A., Christina A. Fader. 2005. Infastructure Investment and Canadian Manufacturing Productivity. **Applied Economics.** vol. 37. no. 11: 1247-1256.

Bruns, Stephan B. 2012. The Role of Energy in Economic Production – Empirical Evidence from a Biophysical Perspective: A Preliminary Assessment. Schumpeter Conference in Brisbane, 2-5 Temmuz 2012. Brisbane.

Caloghirou, Yannis D., Alexi G. Mourelatos, Henry Thompson. 1997. Industrial Energy Substitution During the 1980s in the Greek Economy. **Energy Economics.** vol. 19. no. 4: 476-491.

Chikabwi, Douglas, Clainos Chidoko, Calvin Mudzingiri. 2017. Manufacturing Sector Productivity Growth Drivers: Evidence from SADC Member States. **Afrrican Journal of Science, Technology, Innovation and Development.** vol. 9. no. 2: 163-171.

Chow, Gregory C., Kui-Wai Li. 2002. China's Economic Growth: 1952-2010. **Economic Development and Cultural Change.** vol. 51. no. 1: 247-256.

Christensen, Laurits R., Dale W. Jorgenson, Lawrence J. Lau. 1973. Transcendental Logarithmic Production Function Frontiers. **The Review of Economics and Statistics.** vol. 55. no. 1: 28-45.

Cobb, Charles W., Paul H. Douglas. 1928. A Theory of Production. **The American Economic Review.** vol. 18. no. 1: 139-165.

Çalmaşur, Gürkan. 2016. Technical Efficiency Analysis in The Automotive Industry: A Stochastic Frontier Approach. **International Journal of Economics, Commerce and Management.** c. 4. s. 4: 120-137.

Dinler, Zeynel. 2008. **İktisada Giriş.** Gözden Geçirilmiş 14. bs. Bursa: Ekin Kitapevi Yayınları.

Donduran, Murat. 2013. **İleri Mikro İktisat.** 1. bs. İstanbul: Avcıol Basım Yayın.

Durbin, J. 1960. Estimation of Parameters in Time-Series Regression Models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological).** vol. 22. no. 1: 139-153.

Eğilmez, Mahfi. [02.01.2019].GSYH Hesaplaması Değişti, Kişi Başına Gelirimiz Arttı. http://www.mahfiegilmez.com/2016/12/gsyh-hesaplamas-degisti-kisi-basna.html.

Erden, Lütfi, Hatice Karaçay Çakmak. 2010. Türkiye'de Kamu Sermayesinin Optimalliği: Bölgesel Bir Analiz. **Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.** c. 9. s. 3: 533-551.

Farrar, Donald E., Robert R. Glauber. 1967. Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited. **The Review of Economics and Statistics.** vol. 49. no. 1: 92-107.

Felipe, Jesus, F. Gerard Adams. 2005. "A Theory of Production" The Estimation of the Cobb-Douglas Function: A Retrospective View. **Eastern Economic Journal.** vol. 31. No. 3:427-445.

Fisher, Franklin M. 1969. The Existence of Aggregate Production Functions. **The Econometric Society.** vol. 37. no. 4: 553-577.

Grassetti, Luca, Enrico Gori, Simona C. Minotti. 2005. Multilevel Flexible Specification of the Production in Health Economics. **IMA Journal of Management Mathematics.** vol. 16. no. 4: 383-398.

Hair Jr. Joseph F., William C. Black, Barry J. Babin, Rolph E. Anderson. 2014. **Multivariate Data Analysis.** 7th. edition. Harlow: Pearson Education Limited.

Halicioglu, Ferda. 2008. The J-Curve Dynamics of Turkey: An Application of ARDL Model. **Applied Economics.** vol. 40. no. 18: 2423-2429.

Heathfield, David F., Sören Wibe. 1987. **An Introduction to Cost and Production Function.** 1st edition. London: Macmillan Education Ltd.

Henderson, James M., Richard E. Quant. 1998. **Mikro İktisat: Matematiksel Bir Yaklaşım.** çev. Ada, Erhan, Osman Aydoğmuş, Muzaffer Sarımemişli, Nurcan Süzal. 2. bs. Ankara: Gazi Kitabevi.

Henningsen, Arne, Géraldine Henningsen. 2011. Econometric Estimation of the Constant Elasticity of Substitution Function in R: Package micEconCES. **FOI Working Paper 2011/9.** Institute of Food and Resource Economics, University of Copenhagen**.** http://EconPapers.repec.org/RePEc:foi:wpaper:2011_9.

Henningsen, Arne, Géraldine Henningsen. 2012. On Estimation of the CES Production Function. **Economics Letters.** vol. 115. no. 1: 67-69.

Hoerl, Arthur E. 1962. Application of Ridge Analysis to Regression Problems. **Chemical Engineering Progress.** vol. 58. no. 3: 54-59.

Hoerl, Arthur E., Robert W. Kennard. 1970. Biased Estimation for Nonorthogonal Problems. **Technometrics.** vol. 12. no. 1: 55-67.

Hoerl, Arthur E., Robert W. Kennard. 1976. Ridge Regression Iterative Estimation of the Biasing Parameter. **Communications in Statistics - Theory and Methods.** vol. 5. no. 1: 77-88.

Hoover, Kevin D. 2012. **Applied Intermadiate Macroeconomics.** 1st. edition. New York: Cambridge University Press.

Hsu, Jackie Jen-Chy. 1977. Multicollinearity, Autocorrelation and Ridge Regression. Yüksek Lisans Tezi. The National Taiwan University Faculty of Commerce and Business Adminisration. https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/831/items/1.0094775.

Hudson, Edward A., Dale W. Jorgenson. 1974. U. S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000. **The Bell Journal of Economics and Management Science.** vol. 5. no. 2: 461-514.

Humphrey, Thomas M. 1997. Algebraic Production Functions and their Uses before Cobb Douglas**. Federal Reserve Bank of Richmond Economic Quarterly.** vol. 83. no. 1: 51-83. http://ideas.repec.org/a/fip/fedreq/y1997iwinp51-83.html.

Inglesi-Lotz, Roula. 2016. The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: A Panel Data Application. **Energy Economics.** vol. 53. no. C: 58-63.

International Labour Organization. [16.01.2019]. https://www.ilo.org/ilostat/faces/oracle/webcenter/portalapp/pagehierarchy/Page3.jspx?MBI_ID=32&_afrLoop=2594934175753889&_afrWindowMode=0&_afrWindowId=do1dsyglg_1#!%40%40%3F_afrWindowId%3Ddo1dsyglg_1%26_afrLoop%3D2594934175753889%26MBI_ID%3D32%26_afrWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Ddo1dsyglg_57.

Intriligator, Micheal D. 1987. **Mathematical Optimization and Economic Theory (Classics in Applied Mathematics).** Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Işık, Nihat, Mustafa Acar. 2006. İmalat Sanayi ve Tekstil Sektörü İçin Cobb-Douglas, CES Ve Translog Üretim Fonksiyonlarının Tahmini. **SÜ İİBF Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi.** c. 1. s. 11: 91-109.

İsmihan, Mustafa. 2009. Kronik İstikrarsızlık ve Potansiyel Büyüme Hızı: Türkiye Deneyimi, 1960- 2006. **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.** c. 24. s. 1: 73-91.

Jehle, Goeffrey A., Philip J. Reny. 2011. **Advanced Microeconomic Theory.** 3rd. edition. Harlow: Pearson Education Limited.

Kamps, Christophe. 2006. New Estimates of Government Net Capital Stocks for 22 OECD Countries, 1960-2001. **IMF Staff Papers.** vol. 53. no. 1: 120-150.

Kemfert, Claudia. 1998. Estimated Substitution Elasticities of a Nested CES Production Function Approach for Germany. **Energy Economics.** vol. 20. no. 3: 249-264.

Kim, Jiyoung, Satoshi Nakano, Kazuhiko Nishimura. 2017. Multifactor CES General Equilibrium: Models and Applications. **Economic Modelling.** vol. 63. no. C: 115-127.

Kmenta, J. 1967. On estimation of the CES Production Function. **International Economic Review.** vol. 8. no. 2: 180-189.

Koriala, Govinda P, Rajindar K. Koshal. 1999. Productivity and Technology in Nepal: An Anlysis of Foreign and Domestic Firm. **Journal of Asian Economics.** vol. 10. no. 4: 605-618.

Koutsoyiannis, A. 1975. **Modern Microeconomics.** 1st. edition. London: The Macmillan Press Ltd. https://economicsfccblog.files.wordpress.com/2016/09/modernmicroeconomics.pdf.

Kök, Recep, M. Ensar Yeşilyurt. 2006. İlk Beş Yüz İmalat Sanayi Kuruluşunun Etkinlik Analizi ve Sigma Yakınsaması-Türkiye Örneği: 1993-2000. **İktisat İşletme ve Finans.** c. 21. s. 249: 46-60.

Küçük, Orhan. 2011. Faktör Esnekliği ve Ölçeğe Göre Getiri: Kobi'lerde Karşılaştırmalı Bir Cobb-Douglas Üretim Fonksiyonu Uygulaması. **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.** c. 15. s. 2: 353-362.

Lin, Boqiang, Kui Liu. 2017. Energy Substitution Effect on China's Heavy Industry: Perspectives of a Translog Production Function and Ridge Regression. **Sustainability 2017.** vol. 19. no. 11: 1892. https://doi.org/10.3390/su9111892.

Lin, Boqiang, Philip Atsagli, Kingsley E. Dogah. 2016. Ghanian Energy Economy: Inter-Production Factors and Energy Substitution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** vol. 57. no. C: 1260-1269.

Lin, Boqiang, Philip Atsagli. 2017. Inter-Fuel Substitution Possibilities in South Africa: A Translog Production Function Approach. **Energy.** vol. 121. no. C: 822-831.

Lu, Yao-chi. 1967. Variable Elasticity of Substitution Production Function, Technical Change and Factor Shares. Doktora Tezi. Iowa State University Economic Theory.

Mas-Collel, Andreu, Micheal D. Whinston, Jerry R. Green. 1995. **Microeconomic Theory.** New York: Oxford University Press.

Mıhçı, Sevinç, Arzu A. Wigley. 2000. Teknolojinin Uluslararası Yayılımı: Türkiye Örneği. **H.Ü İksitadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.** c. 18. s. 1: 225-244.

Mishra, Sudhanshu K. 2007. [10.01.2019]. A Brief History of Production Functions. https://ssrn.com/abstract=1020577.

Nam, Chong Hyun. 1975. Economies of Scale and Production Functions in South Korean Manufacturing. Doktora Tezi. University of Minnesota Economics, General.

Nicholson, Walter. 1978. **Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions.** 2nd. edition. Hinsdale, Illinois: The Dryden Press.

Okorie, David Iheke. 2017. Testing the Existence of Cobb Douglas and CES Production Functions in Nigeria. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.** vol. 7. no. 3: 270-297.

Onalan, Omer, Hulya Basegmez. 2018. Estimation of Economic Growth Using Grey Cobb-Douglas Production Function: An Application for US Economy. **Journal of Business, Economics and Finance (JBEF).** vol. 7. no. 2: 178-190.

Oransay, Gürçem. 2017. Türkiye'de Üretim Düzeyini Etkileyen Faktörlerden Elektrik Tüketimi, İstihdam ve Sermaye Üçlüsü. **Ege Akademik Bakış.** c. 17. s. 1: 13-22.

Pablo-Romero, Maria del P., Antonio Sánchez-Braza. 2015. Productive Energy Use and Economic Growth: Energy, Physical and Human Capital Relationsihps. **Energy Economics.** vol. 49. no. C: 420-429.

Pablo-Romero, Maria del P., M. de la P. Gómez -Calero. 2013. A Translog Production Function for the Spanish Provinces: Impact of the Human and Physical Capital in Economic Growth. **Economic Modelling**. vol. 32: 77-87. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.01.040.

Parasız, İlker. 1998. **Modern Mikro Ekonomi.** 1. bs. Bursa: Ezgi Kitabevi.

Parasız, İlker. 2002. **Mikro Ekonomi (Orta Düzey Yaklaşımı).** Gözden Geçirilmiş 7. bs. Bursa: Ezgi Kitabevi.

Parasız, İlker. 2003. **Makro Ekonomi: Teori ve Politika.** 8. bs. Bursa: Ezgi Kitabevi Yayınları.

Parasız, İlker, Melike Bildirici. 2002. **Modern Emek Ekonomisi.** 1. bs. Bursa: Ezgi Kitabevi Yayınları.

Paroush, Jacob. 1966. The h-Homogeneous Production Function with Constant Elasticity of Substitution: A Note. **Journal of the Econometric Society.** vol. 34. no. 1: 225-227.

Penn World Table 9.0. [16.01.2019]. https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/.

Péridy, Nicolas. 2004. Trade Effects of Scale Economies: Evidence from four EU Countries. **Economic Letters.** vol. 83. no. 3: 399-403.

Perloff, Jeffrey M. 2014. **Microeconomics with Calculus.** 3rd. edition (Global Edition). Harlow: Pearson Education Limited.

Pesaran, M. Hashem, Y. Shin, Richard J. Smith. 2001. Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. **Journal of Applied Econometrics.** vol. 16. no. 3: 289-326.

Solow, Robert M. 1955. The Production Function and the Theory of Capital. **The Review of Economic Studies.** vol. 23. no. 2: 101-108.

Songur, Mehmet. 2017. Türkiye'de Beşeri Sermaye ve Fiziksel Sermaye Arasındaki İkame Olanakları: Translog Üretim Fonksiyonu Yaklaşımı. **Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi.** c. 7. s. 2: 201-224.

Stern, David I. 2004. Economic Growth and Energy. Encyclopedia of Energy. vol. 2: 35-51. http://sterndavidi.com/Publications/Growth.pdf.

Stoicuta, N. Elena, Olimpiu Stoicuta. 2015. Comparative Analysis of Estimation Methods for CES Production Function. **Annals of the University of Petroşani, Economics.** vol. 15. no. 2: 167-180.

Su, Xuanming, Weisheng Zhou, Ken'Ichi Nakagami, Hongbo Ren, Hailin Mu. 2012. Capital Stock-Labor-Energy Substitution and Production Efficiency Study for China. **Energy Economics.** vol. 34. no. 4: 1208-1213.

Şahin, Hüseyin. 2012. **Mikro İktisat.** Gözden Geçirilmiş 5. bs. Bursa: Ezgi Kitabevi.

Şimşek, Muammer, Cem Kadılar. 2005. Türkiye'de Kamu Sabit Sermaye Yatırımlarının Verimliliği: Sınır Testi ile Ekonometrik Bir Yaklaşım, 1963-2002. **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.** c. 20. s. 1: 87-102.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. [08.12.2018]. http://www.sbb.gov.tr/ekonomik-ve-sosyal-gostergeler/#1540021349032-1be70108-294c.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. [13.09.2018]. Tablo-1.9 http://www.sbb.gov.tr/ekonomik-ve-sosyal-gostergeler/#1540021349004-1497d2c6-7edf.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. **[**17.12.2018]. http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Sekt%C3%B6rler%C4%B0tibar%C4%B1yla-Sabit-Sermaye Yat%C4%B1r%C4%B1mlar%C4%B1-Toplam.pdf.

Taşdoğan, Celal. 2014. Yeni Teşvik Programı: Stokastik Sınır Analizi ile Bir Değerlendirme. **Ekonomik Yaklaşım.** c. 24. s. 89: 1-23.

The World Bank. [17.01.2019]. https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE.

Tsang, Herbert H. 1971. A Generalized Neoclassical Production Function. Doktora Tezi. University of Illinois at Urbana-Champaign Economics, Theory.

Tunca, Zafer. 2005. **Makro İktisat.** Gözden Geçirilmiş 4.bs. İstanbul: Filiz Kitabevi.

Unay, Cafer. 2001. **Makro Ekonomi.** 8. bs. Bursa: Vipaş A.Ş. Yayın no: 13.

Ünsal, Erdal M. 2014. **Mikro İktisat.** Genişletilmiş 10. bs. Ankara: BigBang Yayınları.

Varian, Hal R. 1993. **Microeconomic Analysis**. 3rd. edition. New York: W.W. Norton&Company, Inc.

Vincelette, Gallina. [24.12.2018]. Estimating Rates of Return on Capital. siteresources.worldbank.org/.../468980.../20100426_17.pdf.

Wooldrige, Jeffrey M. 2013. **Introductory Econometrics: a Modern Approach.** 5th. edition. Mason, Ohio: South-Western Cengage Learning.

Young, Alwyn. 1995. The Tranny of Numbers: Conforting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience. **Quarterly Journal of Economics.** vol. 110. no. 3: 641-680.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Fırat OLGUN
Mail : mehmetfiratolgun@gmail.com

Eğitim Bilgileri

Derece	Okul	Bölüm	Dönem
Yüksek Lisans	: Yıldız Teknik Üniversitesi	İktisat	2016-2019
Lisans	: Karabük Üniversitesi	Endüstri Müh.	2011-2016
Lise	: Adana Erkek Lisesi	Fen Bilimleri	2006-2010

Yabancı Dil

İngilizce