

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İKTİSAT ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**ÖĞRENME EĞRİLERİ: TEORİ VE SEKTÖREL ÖĞRENME EĞRİLERİNİN TAHMİN
EDİLMESİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR ÇALIŞMA**

DOKTORA TEZİ

Zeynep SUNGUR

ARALIK - 2022

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İKTİSAT ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**ÖĞRENME EĞRİLERİ: TEORİ VE SEKTÖREL ÖĞRENME EĞRİLERİNİN TAHMİN
EDİLMESİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR ÇALIŞMA**

DOKTORA TEZİ

Zeynep SUNGUR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haydar AKYAZI

ARALIK - 2022

TRABZON

ONAY

Zeynep SUNGUR tarafından hazırlanan “Öğrenme Eğrileri: Teori ve Sektörel Öğrenme Eğrilerinin Tahmin Edilmesi Üzerine Ampirik Bir Çalışma” bu Çalışma 26.01.2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından İktisat Anabilim Dalı Doktora Programı’nda **doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi		Karar		İmza
Unvanı - Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret	
Prof. Dr. Haydar AKYAZI	Başkan	☐	☐	
Prof. Dr. Seyfettin ARTAN	Üye	☐	☐	
Prof. Dr. Zehra ABDİOĞLU	Üye	☐	☐	
Prof. Dr. Selahattin KAYNAK	Üye	☐	☐	
Doç. Dr. Ali ALTINER	Üye	☐	☐	

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım.

Prof. Dr. Tülay İLHAN NAS

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca KTÜ-Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanan bu Çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Zeynep SUNGUR

23.12.2022

ÖNSÖZ

“Öğrenme” kavramı ilk olarak psikoloji alanında çalışılmaya başlansa da zaman içerisinde ekonomi alanında kullanılabilirliğini gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bir işin sürekli tekrar edilmesinin hem çalışanların performansını arttırdığı hem de maliyetleri azaltıcı yönde etki ettiği genel olarak bilinir. Ancak öğrenme eğrisi modellerinin öngörücü olmak için yeterince düzenli olabileceği ya da öğrenme eğrilerinin yalnızca bireysel performansı değil aynı zamanda ortak bir görevi başarmak için organize olmuş birçok bireyin bileşik performansını da karakterize edebileceği çok fazla bilinmemektedir.

Yöneticilerin öğrenme eğrilerinden yararlanarak, insanları daha iyisini yapmaya teşvik ettiği sürece zaman içerisinde öğrenme her zaman mümkün olacaktır. Bu nedenle, öğrenme eğrilerinin anlaşılması işletme yönetimleri için çok önemlidir. Öğrenme eğrisi modelleri, firmadaki süreçlerin ve çalışanların, onları geliştirmek için kullanılan kaynaklarla eşleşecek kadar iyi performans gösterip göstermediğinin anlaşılmasına yardımcı oldukları için faydalıdır.

Öğrenme eğrisi teorisi, firmaları öğrenen bir organizasyona dönüştürerek rekabet avantajı sağlar. Endüstri içerisinde rekabet avantajı sağlayan firmalar rakip firmalara karşı üstünlük sağlayarak kâr elde ederler. Bu çalışmada AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örneğinde öğrenme eğrilerinden yararlanılarak her ülkeye ait öğrenme oranları hesaplanmıştır. Elde edilen öğrenme oranları yardımıyla ülkeler arasında öğrenme karşılaştırmasına gidilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle “öğrenme” alanında beni çalışmaya yönlendiren, çalışmamın her aşamasında bilgisini, sabrını ve zamanını benimle paylaşan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Haydar AKYAZI hocama; Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Seyfettin ARTAN ve Sayın Prof. Dr. Zehra ABDİÖĞLU’na yapıcı eleştirilerinden ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim. Tez izleme jürisi üyeleri Sayın Prof. Dr. Selahattin KAYNAK ve Sayın Doç. Dr. Ali ALTINER hocalarıma ve çalışmamın tamamlanmasında değerli bilgilerini benden esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan SUNGUR, Dr. Öğr. Üyesi Semra BANK ve Dr. Öğr. Üyesi Sabiha OLTULULAR hocalarıma teşekkür ederim.

En büyük teşekkürlerden biri de muhakkak ki her durmak istediğimde devam etmem gerektiğini bana hatırlatan çok sevgili çocuklarım Ahmet Miraç ve Zülâl İpek’e aittir.

Aralık, 2022

Zeynep SUNGUR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
GİRİŞ	1-4

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TEORİK VE KAVRAMSAL DÜZEYDE GENEL BİLGİLER.....	5-43
1.1. Öğrenme ve Deneyim	5
1.1.1. Güç Eğrisi Olarak Öğrenme Eğrileri	5
1.1.2. Deneyimin Doğası	7
1.1.3. Öğrenme ve Düşünme Sistemleri	9
1.2. Öğrenme Eğrisi Teorisi	10
1.2.1. Plateauning.....	14
1.2.2. Horndal Etkisi	15
1.3. Öğrenme Eğrisi Modelleri	16
1.3.1. Tek Değişkenli Modeller	18
1.3.1.1. Wright'ın Öğrenme Eğrisi Modeli ve Varyasyonları (WLC).....	18
1.3.1.1.1. Stanford B Modeli (SBM)	20
1.3.1.1.2. Plateau Modeli (PM)	20
1.3.1.1.3. Knecht'in Öğrenme Modeli.....	21
1.3.1.1.4. De Jong'un Öğrenme Modeli (DJM).....	21
1.3.1.1.5. S Eğrisi Modeli (SCM).....	22
1.3.1.1.6. Jaber Glock Öğrenme Modeli (JGLCM).....	22
1.3.1.2. Üstel Öğrenme Eğrisi Modelleri.....	24
1.3.1.2.1. 2 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli (2PE)	24
1.3.1.2.2. 3 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli (3PE)	24

1.3.1.2.3. Sabit Zaman Modeli	25
1.3.1.3. Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modelleri	25
1.3.1.3.1. 2 Parametrel Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli (2PH)	26
1.3.1.3.2. 3 Parametrel Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli (3PH)	26
1.4. İşgücü Öğrenmesi ve İşgücü Standartları	29
1.5. Birey ve Makinelardan Organizasyonel Öğrenme Eğrilerine Geçiş.....	32
1.5.1. Organizasyonel Öğrenme ve İşgücü Öğrenmesinin İlişkilendirilmesi	34
1.5.2. Öğrenme Eğrilerinin Kullanım Alanları	35
1.6. Öğrenme Eğrilerinin Etkileri	36
1.6.1. Öğrenme Eğrilerinin Yönetim Kontrolü Üzerindeki Etkileri	36
1.6.2. Öğrenme Eğrilerinin Maliyetlerin Azaltılması Üzerindeki Etkileri.....	37
1.6.3. Öğrenme Eğrilerinin Satın Alma Kararlarına Etkileri	39
1.6.4. Öğrenme Eğrilerinin Parametre Tahminleri Üzerine Etkileri.....	40
1.6.5. Öğrenme Eğrileri ve Teşvik Sorunu	40
1.6.6. Unutma ve Unutmanın Çalışan Performansı Üzerine Etkileri	41

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	44-68
2.1. Kümülatif Çıktı ve Birim Maliyetler Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar.....	44
2.1.1. Öğrenme Eğrileri Üzerine Sektör Bazlı Çalışmalar.....	44
2.1.2. Öğrenme Eğrileri Üzerine Ülke Bazlı Çalışmalar	54
2.2. Bilgi Kalıcılığı ve Organizasyonlar Arasındaki Bilgi Aktarımını İnceleyen Çalışmalar	61

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ÖĞRENME ESNEKLİKLERİNİN PANEL VERİ ANALİZİ ARACILIĞIYLA TAHMİN EDİLMESİ ve ÖĞRENME ORANLARININ HESAPLANMASI.....	69-102
3.1. Model ve Veri Seti.....	69
3.2. Yöntem ve Metodoloji.....	74
3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı	77
3.2.2. Panel Birim Kök Testi	78
3.2.3. Homojenlik Testi	82
3.2.4. Eş Bütünleşme Testi	83
3.2.4.1. Westerlund ve Edgerton Eş Bütünleşme Testi	84
3.2.4.2. Durbin-Hausman Eş Bütünleşme Testi.....	85

3.2.5. CCE Uzun Dönem Katsayı Tahminci Yöntemi	87
3.3. Ön Test Sonuçları ve Bulgular	89
3.3.1. Panel Veri Analiz Sonuçları.....	89
3.3.1.1. Yatay Kesit Bağımlılık Analizi	89
3.3.1.2. Panel Birim Kök Analizi	90
3.3.1.3. Homojenlik Analizi	91
3.3.1.4. Eş Bütünleşme Analizi	92
3.3.1.5. Uzun Dönem Katsayı Tahmini	94
3.3.2. Öğrenme Oranlarının Hesaplanması.....	98
3.3.2.1. Tarım Sektörü Öğrenme Oranları	98
3.3.2.2. Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları.....	100
3.3.2.3. Hizmetler Sektörü Öğrenme Oranları.....	101
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	103
KAYNAKÇA	110
ÖZGEÇMİŞ.....	123

ÖZET

Üretim sürecinde yaparak öğrenme, işletmelere maliyet ve verimlilik avantajı kazandırmaktadır. Sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağlayan yaparak öğrenmenin maliyet ve verimlilik üzerindeki etkisi öğrenme oranları üzerinden değerlendirilmektedir. Bu noktadan hareketle mevcut çalışmada ele alınan ülkelerin ekonomik gelişmişlik farklılıkları sektörlerin öğrenme düzeyleri açısından yeni bir bakış açısıyla incelenmeye çalışılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda 2004-2020 dönemi için AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örneğinde tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Çalışmada, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile öğrenme eğrisi fonksiyonunun birleştirilmesi sonucu elde edilen modelde, kümülatif üretim ve işgücü miktarının birim işgücü maliyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma sürecinde her bir ülke ve sektör için öğrenme oranları, panel veri analizi aracılığıyla tahmin edilen öğrenme esneklik katsayılarının öğrenme oranı formülasyonuna yerleştirilmesiyle hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonucunda tarım sektörü için öğrenme oranının en düşük (öğrenmenin en yüksek) bulunduğu ülkelerin Fransa, İtalya ve Bulgaristan; öğrenme oranının en yüksek (öğrenmenin en düşük) olduğu ülkelerin ise Çekya, Birleşik Krallık ve Yunanistan olduğu tespit edilmiştir. Sanayi sektörü için öğrenme oranının en düşük olduğu ülkelerin Almanya, Bulgaristan ve Avusturya; en yüksek olduğu ülkeler ise İspanya, Yunanistan ve Birleşik Krallık ülkeleri olmuştur. Hizmetler sektörü için de öğrenme oranının en düşük olduğu ülkeler İspanya, Fransa ve Hollanda olurken; öğrenme oranının en yüksek olduğu ülkeler ise Almanya, Slovenya ve Letonya olarak bulunmuştur. Tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe Türkiye'nin öğrenme oranları AB ülkelerinin ortalama öğrenme oranlarından daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile üç sektör için de Türkiye'deki öğrenme AB ülkeleri ortalamasından daha düşük düzeyde kalmıştır. Öğrenme-ekonomik performans etkileşiminde daha başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için Türkiye'de eğitim sistemleri kapsamında eğitim programlarının geliştirmesi; eğitim, bilim ve teknolojiye daha fazla önem verilerek ar-ge ve inovasyon yatırımlarını arttırması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Öğrenme, Öğrenme Esnekliği Katsayısı, Öğrenme Oranı, Öğrenme Eğrisi

ABSTRACT

Learning by doing in the production process brings cost and efficiency advantages to businesses. The effect of learning by doing, which provides a sustainable competitive advantage, on cost and productivity is evaluated through learning rates. From this point of view, the economic development differences of the countries examined in this study are tried to be examined from a new perspective in terms of the learning levels of the sectors. For this purpose, a comparative analysis of learning in agriculture, industry and services sector was made in the sample of EU-27 countries, United Kingdom, and Turkey for the period 2004-2020. In the study, the effect of the cumulative production and the amount of labor on the unit labor cost was investigated in the model obtained as a result of combining the Cobb-Douglas production function and the learning curve function. During the research process, learning rates for each country and sector were calculated by inserting the learning flexibility coefficients estimated through panel data analysis into the learning rate formulation.

As a result of the study, it has been determined that the countries with the lowest learning rate (highest learning) are France, Italy and Bulgaria, while the countries with the highest learning rate (lowest learning) are Czechia, United Kingdom and Greece for the agricultural sector. The countries with the lowest learning rate (highest learning) are Germany, Bulgaria, and Austria while the countries with the highest learning rates (lowest learning) were Spain, Greece, and the United Kingdom for the industrial sector. The countries with the lowest learning rates (highest learning) are Spain, France, and the Netherlands while the countries with the highest learning rates (lowest learning) are Germany, Slovenia, and Latvia for the services sector. Turkey's learning rates in agriculture, industry and services sectors are calculated to be higher than the average learning rates in each sector of EU countries. This result shows that the level of learning for three sectors in Turkey is lower than level of learning for these sectors in EU countries. In order to achieve more successful results in the learning-economic performance interaction, it is recommended to develop education programs within the scope of education systems, and to increase R&D and innovation investments by giving more importance to education, science and technology in Turkey.

Keywords: Learning, Learning Flexibility Coefficient, Learning Rate, Learning Curve

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo Nr.	Tablo Adı	Sayfa Nr.
1	Öğrenme Oranını Etkileyen Faktörler	19
2	Tek Değişkenli Öğrenme Eğrisi Modellerinin Karşılaştırılması	28
3	Öğrenme Eğrileri Üzerine Sektör Bazlı Çalışmalar	66
4	Öğrenme Eğrileri Üzerine Ülke Bazlı Çalışmalar	67
5	Analizde Kullanılan Değişkenlerin Açıklaması ve Kaynakları	74
6	Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları	89
7	Panel Birim Kök Test Sonuçları	90
8	Homojenlik Test Sonuçları	91
9	Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları	92
10	Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları	93
11	Tarım Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları	94
12	Sanayi Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları	96
13	Hizmetler Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları	97
14	Tarım Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları	99
15	Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları	100
16	Hizmetler Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları	101

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Nr.	Şekil Adı	Sayfa Nr.
1	Öğrenme Eğrilerine İki Farklı Yaklaşım	6
2	Öğrenme Eğrileri	11
3	Logaritmik Ölçekte Öğrenme Eğrisi Kullanımı	12
4	Öğrenme Eğrisinde Plateauing'in İki Aşaması.....	15
5	Öğrenme Modelleri.....	17
6	Wright'ın Öğrenme Eğrisi Modeli ve Varyasyonlarının Karşılaştırılması	23
7	Parametrelili Hiperbolik Öğrenme Eğrisi	27
8	Öğrenme Eğrisi ve Her Döngü İçin Standart Süreler Arasındaki İlişki.....	30
9	Organizasyonel Planlamanın Öğrenme Eğrisinde Üretimin Başlangıç Aşamasına Etkisi	39
10	Öğrenme-Unutma Süreci.....	43
11	Öğrenme ve Ortalama Maliyetlerin Seyri.....	69
12	Öğrenme Oranının Yorumlanması	73

KISALTMALAR LİSTESİ

BEV	: Bataryalı Elektrikli Araçlar
CAS	: Karmaşık Uyarlanabilir Sistemler
CCE	: Ortak İlişkili Etkiler
DJM	: De Jong'un Öğrenme Modeli
FMOLS	: Fully Modified Ordinary Least Square
GVA	: Gross Value Added
JGLCM	: Jaber Glock Öğrenme Modeli
LFCM	: Öğren-Unut Eğrisi Modeli
PHEVs	: Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar
PM	: Plateau Modeli
SBM	: Stanford B Modeli
SCM	: S Eğrisi Modeli
VRFM	: Değişken Unutma Modeli
VRIF	: Değişken Regresyon Modeli
WLC	: Wright'ın Öğrenme Eğrisi
2PE	: 2 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli
3PE	: 3 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli
2PH	: 2 Parametrelili Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli
3PH	: 3 Parametrelili Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli

GİRİŞ

Öğrenme eğrileri (ÖE) birçok grup ve organizasyonda belgelenmiş olsa da, çalışmaların çoğu organizasyonları “kara kutular” olarak ele almakta ve verimliliklerindeki artışları hesaba katan temel süreçleri açık bir şekilde belirtmemektedirler. Organizasyonların nasıl öğrendiğini ve öğrenme oranlarının neden değiştiğini anlamak için, üretim sürecinde organizasyonların davranışları dikkatli bir şekilde incelenmelidir. İlk olarak küçük gruplarla çalışan psikologlar, bireysel öğrenme süreçleri hakkında yaptıkları çalışmalarla öğrenme eğrilerini keşfetmişler ve birçok farklı görev türünde öğrenme eğrilerinin kalıcılığını göstermek amacıyla grup sosyalleşmesi, eğitim, planlama, iletişim ve görev yürütme gibi temel süreçleri anlamaya büyük önem göstermişlerdir. Öğrenme süreci bireyler veya organizasyonların aynı görevi tekrarlamalarından veya uygulamalarından elde ettikleri beceri ve verimlilik kazanımlardan kaynaklanmakla birlikte gerçekleştirilen görev hakkında artan bilgi, göreve daha fazla aşina olma, geliştirilmiş iş organizasyonu, daha iyi koordinasyon ve araç ve yöntemlerin daha etkin kullanımı öğrenmeyi hızlandıran etkenlerdir.

Alman psikolog Hermann Ebbinghaus (1885), bireylerin anıları için öğrenme ve unutma eğrilerinin şekillerini belirleme konusunda bilimsel bir çalışma yapan ilk kişidir. Ebbinghaus, bireysel deneklerin davranışlarına odaklanarak, deneklerin bir görevi yerine getirmek için harcadıkları zamanın ve görevle ilgili deneyim arttıkça yaptıkları hata sayısının azalan bir oranda azaldığını bulmuştur. Öğrenme eğrileriyle ilgili organizasyonel düzeyde yayınlanmış ilk çalışma ise Wright (1936)’e aittir. Wright, üretilen toplam uçak sayısı arttıkça bir uçak inşa etmek için gereken emek miktarının azaldığını bulmuştur. Daha sonra kümülatif çıktıyla ilişkili olarak birim işçilik maliyetlerinin ve toplam maliyetlerin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Uçak gövdesi üretim endüstrisinde montaj işçilerinin karmaşık bir görevin tekrarından öğrenmesi, birim başına işçilik maliyetlerinin azalmasının nedeni olarak kabul edilmiş ve bu nedenle “Öğrenme Eğrisi” terimi benimsenmiştir.

Erik Lundberg (1961), verimlilik ve kârlılık üzerine yaptığı çalışmasında “Horndal Etkisi” adı verilen bir ifade kullanılmış ve bunu saf verimlilik olarak tanımlanmıştır. Bunu takiben Arrow (1962), öğrenme üzerine yaptığı çalışmalarla sermaye mallarındaki teknolojik değişimle “yaparak öğrenme” kavramını öğrenme literatürüne dahil etmiştir. Arrow’un (1962) “yaparak öğrenme” kavramını öne çıkardığı çalışmasında, Horndal’ın öne sürdüğü sürdürülebilir verimlilik artışının yalnızca öğrenmeden kaynaklanan deneyimle elde edilebileceği ifade edilmiştir. Bu durum, işçilerin zamanla işi öğrenerek makineleri daha verimli bir şekilde kullanabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Rapping (1965), II. Dünya Savaşı sırasında Liberty gemilerinin üretiminin öğrenme eğrisi

modellerine dayandığını göstermiştir. Rapping, yaptığı analizde kümülatif çıktıyla ilişkili verimlilik artışlarının artan emek ve sermaye girdilerinden, ölçek ekonomilerinden veya zamanla ilgili teknik ilerlemelerden kaynaklanmadığını ifade etmiştir.

Wright'ın (1936) geliştirdiği en temel öğrenme eğrisi modeli zaman içerisinde bilim insanları tarafından baz alınarak, farklı dönemlerde ortaya çıkan problemleri çözmek amacıyla farklı model kısıtları altında birçok öğrenme eğrisi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin her biri bir ihtiyacı ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiş olup, çeşitli ekonomik alanlarda öğrenme sürecinin farklı matematiksel gösterimleri ortaya çıkmıştır. Öğrenme eğrileri, işgücü ihtiyaçlarının planlanmasında, çalışma standartlarının oluşturulmasında, fiyatların belirlenmesinde, bir firmanın satın alma veya üretme kararlarının analiz edilmesinde, teşvik ücretlerinin değerlendirilmesinde, organizasyonel verimliliğin gözden geçirilmesinde, satış indirimlerinin gerçekleştirilmesinde, çalışanların eğitim ihtiyaçlarının şekillendirilmesinde, gelecekteki üretim birimi maliyetlerinin tahmin edilmesinde, üretim teslimat programlarının tesis edilmesinde ve iş tasarımı stratejilerinin geliştirilmesinde olduğu gibi birçok alanda kullanılabilir.

Pek çok uzman, bir organizasyonun gelecekte sahip olacağı tek sürdürülebilir avantajın rakiplerinden daha hızlı öğrenebilme yeteneği olduğuna inanmaktadır. Bu rekabet avantajı, organizasyonu öğrenen bir organizasyona dönüştürerek elde edilir. Organizasyonların ne kadar hızlı öğrendiğinin ölçüsü de öğrenme eğrisi teorisi ile yakalanır. Öğrenme eğrisi teorisi, organizasyonların mevcut ekipman ve personel değişimi olmadan çalışanların becerilerini arttırarak verimliliğin büyük ölçüde artmasına yol açarak organizasyonlara rekabet avantajı sağlamaktadır. Firmalar, çalışanları en uygun görevlere tahsis etmek için bireysel öğrenme oranlarındaki varyasyonları öğrenebiliyor ve uygulayabiliyorsa bireysel öğrenmenin organizasyonun nihai verimliliğini arttırması beklenebilmektedir. Bu duruma firmanın öğrenemeyen çalışanları işten çıkarması ve henüz öğrenme yeteneğini gösterememiş çalışanların farklı yöntemlerle bu yeteneklerini ortaya çıkarması da katkı sağlamaktadır.

Literatürde bireysel, grup veya organizasyonel bağlamda öğrenmenin önemi yapılan birçok çalışma ile ortaya koyulmuştur. Söz konusu çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların çoğunlukla endüstriyel bazda yapıldığı dikkat çekmektedir. Bu paralelde, uluslararası literatürde Lieberman (1984) kimya, Heng ve Low (1995), Promongkit vd. (2000), Asgari ve Yen (2009) imalat, Ukpai ve Akerbor (2007) inşaat, Chung (2001) ile Macher ve Mowery (2003) yarı iletken, Moore (2015) savunma ve Attia vd. (2016)'ın elektronik endüstrilerinde; ulusal literatürde ise, Albeni (2004) ve Karaöz (2004)'ün imalat endüstrisinde yapmış oldukları araştırmalar öğrenme eğrilerinin önemini endüstriyel açıdan teyit eden çalışmalar olarak öne çıkmaktadırlar.

Yukarıdaki açıklamalar kapsamında, öğrenme eğrilerinin teşkil ettiği öneme binaen bu çalışma AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde tarım, sanayi ve hizmetler sektörlerine ait

öğrenme oranlarının 2004-2020 dönemi için ülke ve sektör bazlı karşılaştırmalı bir analizini yapmayı amaçlamıştır. Çalışma, ülke ve sektörel bazlı öğrenme oranları karşılaştırması yapan öncü çalışmalardan biri olarak, literatürdeki önemli bir eksikliği gidermeyi de diğer bir amaç olarak gözetmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin AB'ne girme sürecinin ve AB müzakerelerinin devam ettiği göz önüne alındığında, öğrenme eğrileri üzerinden yapılacak bir kıyaslama, Türkiye'nin AB ülkeleri konusundaki durumunu ortaya koyacak olması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının, elde ettiği bulgular itibariyle, Türkiye özelinde politika yapıcılar, firma yöneticileri ve diğer karar alıcıları bakımından öğrenme eğrilerine yönelik bir farkındalık oluşturacağını söylemek mümkündür. Bu bağlamda, öğrenme eğrilerinin firma, sektör veya ülke bazlı olarak hesaplanması ve ulaşılan sonuçlara ilişkin her bir sektörün ya da firmanın mevcut sorunlarının tespit edilerek bu sorunlara yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesine zemin hazırlanmıştır.

Çalışmada belirlenen amaca uygun olarak, ilgili örneklem ve dönem aralığı için tarım, sanayi ve hizmetler sektörlerinde kümülatif üretim miktarı ve işgücü miktarının birim işgücü maliyeti üzerindeki etkisi *panel veri analiziyle* test edilmiştir. Bu aşamadaki analiz sürecinde sırasıyla yatay kesit bağımlılığı, panel birim kök testi, homojenlik testi ve eş bütünleşme ön testleri kullanılarak uzun dönem katsayı ilişkisi CCE testiyle tahmin edilmiştir. Her bir örneklem ülke için bulunan katsayı tahminleri öğrenme oranı formülünde yerine koyularak öğrenme oranı katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar yardımıyla da ülkelerin öğrenme düzeyleri karşılaştırılmıştır.

Her çalışmada olduğu gibi, bu çalışmada da bazı *kısıtlar* söz konusudur. Bu kısıtlardan ilki unutma olgusuyla ilgilidir. Yapılan bu çalışmada unutma sürecinin ifade edilmesindeki belirsizliklerden ötürü unutma olgusu araştırma modeline dahil edilmeyerek bireylerin kazandıkları bilgi ve tecrübeyi unutmadıkları, üretim kesintilerinden etkilenmedikleri ve yapılan işin basit ya da karmaşıklığının çalışan bireylerin verimliliklerini etkilemediği varsayılmıştır. Çalışmanın bir diğer kısıtı ise analizin gerçekleştirildiği dönem ile ilgilidir. Çalışmanın araştırma sorusu kapsamında kullanılan değişkenlerin yıllık veri seti en kapsamlı olarak 2004-2020 dönemi için temin edilebilmiştir. Örneklem grubu içerisinde yer alan ülkelerle ilgili daha uzun bir dönemi kapsayacak şekilde verinin temin edilememesi tercih edilen yöntem ve analiz sürecinde belirleyici olmuştur. Araştırmanın analiz sürecinde bilimsel geçerlilik ve güvenilirlik kriterleri göz önünde bulundurularak panel veri analizinin tercih edilmesine ve bu analiz sürecinde de modern uzun dönem katsayı tahmin yöntemlerinden Ortak İlişkili Etkiler (CCE) testinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışma, üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, öğrenme kavramı ele alınarak öğrenme ve deneyimin alt yapısı incelenmiştir. Daha sonra öğrenme eğrisi teorisi tanımlanarak Wright (1936)'nın Klasik Öğrenme Modelinden sonra geliştirilen öğrenme modellerine yer verilmiştir. İlerleyen kısımlarda işgücü ve organizasyonel bağlamda öğrenme ele alınarak

öğrenme eğrilerinin kullanım alanlarına değinilmiş ve öğrenme eğrilerinin farklı alanlardaki olası etkileri irdelenmiştir. Son olarak modelin dışında tutulan “unutma” kavramından kısaca bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, öğrenme eğrileriyle ilgili kümülatif çıktı ve birim maliyetler üzerine yapılan çalışmalar ve organizasyonların öğrenmesi konusunda önemli iki etken olan bilgi kalıcılığını ve organizasyonlar arasındaki bilgi aktarımını inceleyen uluslararası ve ulusal literatür incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, öncelikle çalışmanın analiz sürecinde kullanılmış olan panel veri analizi tanıtılmış ve analiz sürecinin aşamaları ile kullanılan test teknikleri hakkında metodolojik bilgiler sunulmuştur. Bu alt bölümü takiben analiz sürecinde ön bulgulara ve çalışmanın örneklem grubunu oluşturan her bir ülke için tarım, sanayi ve hizmetler sektörü özelinde analiz sonuçlarından yararlanarak hesaplanan öğrenme oranlarına yer verilmiştir.

Çalışma sonuç ve değerlendirme bölümünde, çalışmada elde edilen bulgular özetlenmiş ve bu bağlamda elde edilen sonuçlardan hareketle her ülke için tarım, sanayi ve hizmetler sektörlerine ait hesaplanan öğrenme oranları yardımıyla politika önermelerine gidilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TEORİK VE KAVRAMSAL DÜZEYDE GENEL BİLGİLER

Bu bölümde öncelikle öğrenme ve öğrenmeyle elde edilen deneyimin yapısı incelenmiş, öğrenme eğrisi teorisinin temelleri oluşturulmuş; daha sonra bu temelde zaman içerisinde geliştirilmiş farklı öğrenme eğrisi modellerine değinilerek, öğrenme eğrilerinin kullanım alanları ve oluşturdıkları muhtemel etkilere değinilmiştir.

1.1. Öğrenme ve Deneyim

“Öğrenme” kavramı işlevsel olarak, bireylerin zaman içerisinde edindikleri deneyimler sonucu davranışlarında meydana gelen değişikliklerle ifade edilebilir. Bu nedenle öğrenme, deneyimi davranışa yansıtan bir işlev olarak görülmektedir. Ancak davranışlarda bir değişikliğin gözlemlenmesi, öğrenmenin varlığını tespit etmek için yeterli değildir. Çünkü, deneyimin davranışlar üzerindeki tüm etkileri öğrenme olarak kabul edilemez ve davranışlardaki tüm değişiklikler deneyimden kaynaklanmaz. Bu nedenle, deneyimle elde edilen öğrenmeyle, davranış değişikliklerinin karıştırılmaması gerekir. Öğrenme eğrilerinin temelinde, bireylerin zaman içerisinde öğrenerek elde ettikleri deneyimle yaptıkları işi daha kısa sürede ve daha az maliyetle gerçekleştirmesi yatmaktadır. Bu bölümde öncelikle öğrenme, deneyim ve düşünme sistemleri arasındaki bağlantı incelenmiştir.

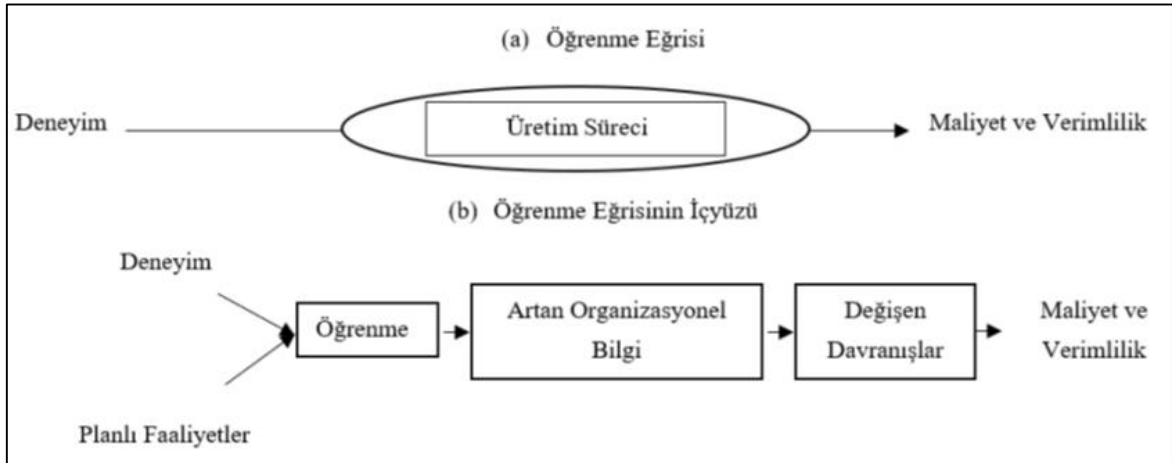
1.1.1. Güç Eğrisi Olarak Öğrenme Eğrileri

Öğrenme olgusu literatürde sıklıkla araştırılan bir kavram olmakla birlikte bireysel ve organizasyonel bağlamda etkileri birçok çalışmada incelenmiştir. Bireysel olarak öğrenme kavramı ilk olarak psikoloji literatüründe Ebbinghaus (1885) tarafından ortaya atılmıştır (Thompson, 2012: 203). Öğrenme eğrilerine benzer bir olgunun organizasyonel düzeyde de geçerli olabileceği fikrinin ortaya çıkması ise daha uzun sürmüştür. Bireysel olarak öğrenmenin yanında organizasyonların öğrenmesi üretim verimliliği açısından önemlidir. Organizasyonlar zamanla işletim deneyimi kazandıkça organizasyonel performansları azalan oranda da olsa artmaktadır. Araştırmacılar organizasyonel performans ve üretim arasındaki ilişkiyi modellemek için sık sık “güç eğrisinden” faydalanmışlardır. Bu modellerde, birim maliyetlerin logaritması, üretilen kümülatif birim sayısının logaritmasının bir fonksiyonu biçiminde doğrusal olarak azalmaktadır (Yelle, 1979: 315). Maliyetlerdeki bu azalmanın öğrenmeden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Bu durumda maliyetlerle

kümülatif üretim arasındaki ilişkinin öğrenmeyle ilişkilendirilmesi “öğrenme eğrileri” olarak adlandırılmıştır. Organizasyonlar kendileri deneyimleyerek ya da başkalarından öğrenerek öğrenme oranlarını arttırabilirler. Zamanla başkalarından öğrenme (deneyim aktarımı) unutma ile birleştirilerek güç eğrisi genişletilmiştir. Güç eğrisinin kullanımında bazı sorunlar söz konusudur. Bu sorunlardan bir tanesi, organizasyonların yalnızca daha fazlasını üreterek kendi deneyimlerinden öğrenmeyi hızlandırabileceğidir.

Bu geleneksel öğrenme görüşünün birkaç sınırlaması mevcuttur. Birincisi, öğrenme oranı (gelişme hızı) bazen dışsal şekilde verilen bir sabit olarak alınır. Bununla birlikte öğrenme oranlarının sektörler, organizasyonlar, organizasyon birimleri arasında veya sektörler içinde büyük ölçüde değiştiğine dair çok sayıda kanıt vardır (Dutton ve Thomas, 1984: 245; Hayes ve Clark, 1985: 160; Lapre ve Van Wassenhove, 2001: 1323). Bu nedenle öğrenme oranı içsel bir değişken olarak ele alınmalıdır. İkincisi, genellikle kümülatif üretim hacmiyle ölçülen deneyim, öğrenmenin tek kaynağı değildir. Organizasyonlar, kalite iyileştirme programları gibi bilinçli öğrenme faaliyetlerine katılabilirler. Üçüncüsü geleneksel görüşün öğrenme eğrisindeki öğrenmeyi bir “kara kutu” olarak görmesidir (Şekil:1-a). Buna rağmen, öğrenme eğrisinin içinde deneyim ve bilinçli faaliyetlerden kaynaklanan gerçek bir öğrenme sürecinin olduğu bilinmektedir. Öğrenme, organizasyonların daha fazla bilgiye sahip olmasını sağlamakla birlikte daha fazla bilgi organizasyon üyelerinin davranışlarını değiştirmeye ikna edebilir. Değişen davranışlar da organizasyonların performansını arttırabilir (Şekil:1-b).

Şekil 1: Öğrenme Eğrilerine İki Farklı Yaklaşım



Kaynak: Jaber, 2011: 24

1.1.2. Deneyimin Doğası

Öğrenme eğrisiyle ilgili literatür incelendiğinde “kümülatif hacim”, “takvim zamanı (calendar time)” ve “maksimum hacim” olmak üzere üç ortak deneyim değişkenine odaklanıldığı görülmüştür. Kümülatif üretim hacmi, genel bir deneyim değişkeni olmakla birlikte “öğrenme eğrileri”nin elde edilmesini sağlar (Yelle, 1979: 302; Argote, 1999: 5). Üretimde yapılan tekrarlar, organizasyonun deneyim kazanmasına ve işlemlerde ince ayar yapmasına olanak tanır. Bazı araştırmacılar da operasyonun başlangıcından bu yana geçen takvim zamanını kullanmışlardır (Levin, 2000: 631; Field ve Sinha, 2005: 165). Takvim zamanı, “düşünerek öğrenme” kavramının ortaya çıkmasına imkân verir. Mishina (1999), üçüncü deneyim değişkeni olan bugüne kadar üretilen maksimum çıktı değişkenini önermiştir. Bir tesis üretimini arttırırken, üretim tesisi önemli zorluklarla ve yeni durumlarla karşı karşıya kalır. Tesis personelinin ölçek büyütme sırasında bu tür zorlukları nasıl çözebileceğini bulması gerekir. Bu arayış, “yeni deneyimlerle öğrenme” kavramının temelini oluşturur.

Öğrenme eğrisi tahminlerini her üç deneyim ölçümüyle ele alan iki çalışma mevcuttur. Bunlar, Mishina (1999)’nın bombardıman uçakları için öğrenme eğrisi ve Lapre vd. (2000)’nin lastik kordonu üretiminde öğrenme eğrisi tahminleridir. Yapılan bu iki çalışmanın sonuçları deneyim ölçüleri açısından değerlendirildiğinde, kümülatif üretim arttıkça üretim maliyetlerinde azalma meydana geldiği, öğrenmenin doğrudan çalışma saatlerinin azalması şeklinde kendini gösterdiği ve üretimin küçük ölçeklerde devam etmesine rağmen öğrenmenin artmadığı ancak ölçek büyümesinin sistem değişikliğini tetikleyerek öğrenmeye sebebiyet verdiğini göstermiştir.

Tüm deneyimler, kurumsal performansın iyileştirilmesinde eşit derecede etkili olmayabilir. İlk olarak organizasyonlar kendi başarısızlıklarından ders çıkararak yüksek bir öğrenme oranı yakalayabilirler (Cannon ve Edmondson, 2005: 299). Bir üretim birimi kusurlu ürünler ürettiğinde, bu kusurlar üretim sistemlerinde bir şeyler öğrenmek ve elde edilen bilgiyi geliştirmek için fırsatlar sağlar. Bu bağlamda kusurlu birimlerin yeniden işlenmesini gerektiren üretim süreçleri için, yeniden çalışma süresini içeren modeller geliştirilmiştir (Jaber ve Guiffida, 2004: 664). Yeniden çalışma süresine bağlı olarak, bir öğrenme eğrisi gelişmeye, düzleşmeye veya bozulmaya devam edebilir. Ayrıca deneyim, bireysel, ekip ve organizasyonel seviyelerde de birikebilir. Genel kümülatif üretim hacmi değişkeniyle ölçülen organizasyonel deneyime ek olarak, kararlı ekiplere sahip organizasyonlar daha yüksek performans seviyelerine ulaşabilirler. Ekip üyeleri kimin hangi rolü gerçekleştirmede en iyi olduğu ve birbirlerine güvenmeyi öğrenmek amacıyla birbirleriyle çalışmayı nasıl daha iyi koordine edeceklerini öğrenirler.

Birden çok görevi yürütmekten ziyade daha az görevde uzmanlaşmış bireylere sahip organizasyonlar daha yüksek performans gösterirler (Skinner, 1974: 114). Tekrar sayısının fazla olması ve görev homojenliği, bir organizasyonun kendi deneyimlerinden daha fazla öğrenmesini

sağlar. Uzmanlaşma, daha hızlı öğrenme için fırsat sağlasa da bunun sürekliliği konusunda kesinlik yoktur. Organizasyonlar üretim sürecinde kendilerini sadece deneyimleriyle elde ettikleri öğrenmeyle sınırlandırmazlar. Hem üretim sürecinden önce planlı olarak yapılan faaliyetler hem de üretim sürecindeki faaliyetleri yeni bilgiler sağlayarak öğrenmeye neden olabilir. Levy (1965), üretim sürecinden önceki deneyim ve eğitimin, bireysel işçiler için tahmini öğrenme oranlarındaki farklılıkları açıkladığını ileri sürmüştür.

Teknolojik bilginin “girdi değişkenlerinin çıktı üzerindeki etkilerini anlamak” olarak tanımlanmasıyla, $y=f(x)$ fonksiyonuyla bağımlı değişken y ’nin belirsiz boyutlu bir x vektörünün f fonksiyonu olarak ifade edilir. Burada girdiler hammaddeleri, kontrol değişkenlerini ve çevresel değişkenleri içerir (Bohn, 1994: 62). Bu fonksiyonla ilgili olarak organizasyonun ne kadar bilgi sahibi olduğunu detaylandırmak için “bilgi aşamaları” geliştirilmiştir (Jaikumar ve Bohn, 1992: 266).

Bohn (1995), bilgi aşamalarının “nedensel bilgi” ve “kontrol bilgisi” olmak üzere iki boyutta incelenmesi gerektiğini savunmuştur. Nedensel bilgi, bir organizasyonun x_i girdisi ve y çıktısı arasındaki ilişki hakkında ne kadar bilgi sahibi olduğunu değerlendirir. 1. aşama olan “bilgisizlik”te organizasyon x_i ’nin y ’yi etkileyebileceğinin farkında değildir. 2. aşama “farkındalık”ta organizasyon x_i ile y ’nin ilişkili olduğunu farkındadır; ancak nedenselliğin yönü bilinmemektedir. 3. aşama “yön”de organizasyon x_i ’nin y ’yi etkilediğini bilir. 4. aşama “büyüklük”te organizasyon x_i ’deki küçük bir değişiklik’in y üzerindeki etkisini ölçebilir. 5. aşama “bilimsel model”de organizasyonun x_i ile y arasındaki ilişkiyi açıklayan parametrelerle birlikte işlevsel bir özelliği vardır. 6. aşama “etkileşim”de organizasyon, 5. aşama bilgisini diğer tüm girdi değişkenleriyle etkileşimleri içerecek şekilde genişletmiştir.

Kontrol bilgisinin 1. aşaması “bilgisizlik”te organizasyon, x_i ’nin farkında değildir. 2. aşama “farkındalık”ta organizasyon, x_i ’nin varlığının farkındadır. 3. aşama “ölçüm”de organizasyon, x_i ’yi rutin olarak ölçebilir. 4. aşama “ortamanın kontrolü”nde organizasyon, x_i ’yi ortalama düzeyde kontrol edebilir ancak x_i düzeyinde önemli farklılıklar vardır. 5. aşama “varyansın kontrolü”nde organizasyon, x_i ’nin varyansını kontrol edebilir. 6. aşama “güvenilirlik”te organizasyon, x_i ’yi her zaman hedeflenen düzeyde tutabilir. Bilimsel istatistiksel kullanımdan oluşan kavramsal öğrenme, bir organizasyonun nedensel bilgi aşamalarına tırmanmasına izin vermelidir. Teknik bilginin geliştirilmesini içeren işlemsel öğrenme de bir organizasyonun kontrol bilgisi aşamalarına tırmanmasına izin vermelidir. Bu iki öğrenme boyutunun tek bir öğrenme eğrisi tahminine dahil edilmesi önemlidir. Araştırmacılar, bilgi aşamalarındaki bu ilerlemeyi nicel olarak ölçmemiş ve öğrenme tahminlerine dahil etmemişlerdir.

1.1.3. Öğrenme ve Düşünme Sistemleri

Öğrenme genel olarak çalışarak, deneyimleyerek veya öğretilerek bir şey hakkında bilgi ve beceri kazanmak olarak tanımlanabilir. Öğrenen bireyler, düşünme sistemleri olarak ifade edilmektedir. Öğrenirken bu sürecin sürekli olması, bireylerin öğrenmesinin yapılandırılabilmesi ve öğrenme sonucunda istenen hedeflerden daha fazla kazanca sahip olunabilmesi açısından bireylerin düşünme sistemleri benzersizdir (Waldman, 2007: 228). Düşünme sistemlerinin yapısı gereği sürekli öğrenebilmeleri, kendi öğrenmelerini yapılandırabilmeleri ve öğrenmeleri için birden fazla hedefe sahip olabilme özellikleri bakımından diğer sistemlerden ayrılır. Bir organizasyon sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde etmek istiyorsa, düşünme sistemlerinin doğal yapısından yararlanarak sistemin öğrenmesini kolaylaştırmalıdır.

Öğrenme, farklı yollarla gerçekleştirilebilir. Öğrenmenin ilk yolu, bir şeyi aynı sonuçlarla tekrar tekrar yaparak, koşulların ve istenen sonuçların her seferinde aynı olduğunu varsayarak yeteneklerin gelişmesine olanak sağlayan ezberci öğrenmedir. İkinci öğrenme yolu, havayolu pilotlarının simülatörleri kullanarak yararlandıkları öğrenme türüdür. İlk olarak pilotlar ezberci öğrenmeyle temel konular üzerinde uzmanlaştıktan sonra, uçuş planlayıcıları tarafından hayal edilebilecek her duruma ait varyasyonlar uygulanır. Üçüncü öğrenme yolu, öğrenme biçimleri arasında en zoru olarak ifade edilen inovasyondur. Ezberci öğrenme, varyasyonlarla öğrenmenin ön koşulu olarak görülebilen; inovasyon, ilk iki öğrenme yolundan daha önemli olmakla birlikte yapılan işin geliştirilebilmesi inovasyonla mümkün olabilmektedir.

Bir öğrenme sürecini yapılandırmak teknik olarak mümkündür. Etkili bir öğrenme süreci “E&F” (kanıt ve geri bildirim) içermelidir. Bu durum daha çok sistemle öğrenmede görülebilir. Makine sistemleri, tasarımcı tarafından verilenler dışında hiçbir duyguya veya özel amaçlara sahip değildir. Makineler düzenli bir şekilde bakımları yapılsa bile öğrenemez ve uyum sağlayamazlar, zamanla yıpranır ve eskirler. Buna rağmen birçok modern şirket, yönetsel kararlar almak için halâ temel olarak makine modelini kullanmaktadır. Karmaşık uyarlanabilir sistemler (CAS), biyolojik unsurlara sahip tüm sistemleri kapsar. Johnson (2001)’in ifade ettiği gibi makine çıktıları tahmin edilebilir olsa da CAS beklenmedik veya acil durumlar için sonuçlar üretebilir ve bu da öğrenebildikleri anlamına gelir. İnsanlar, nasıl öğreneceklerini ya da ne öğreneceklerini planlamadan sadece yaparak öğrenebilirler. Öğrendiklerimizin çoğu planlanmamış olmasına rağmen, öğrenme hem süreç hem de sonuçlar itibarıyla yapılandırılabilir ve yapılandırılması daha doğrudur. Yalnızca insanlar kendi öğrenmelerini yapılandırabilirler ve önceden belirlenmiş çok sayıda hedef oluşturabilir. Ayrıca öğrenme sürecine aracılık edilmesi de önemlidir. Bireylere bilgiye nereden erişilebileceğini ve nasıl kullanılabileceğini göstermek öğrenmesine yardımcı olur. Arabulucu, bu sürece bağlam ekleyerek bilgiden ziyade anlam katmaya çalışır (Weick, 1993: 632).

1.2. Öğrenme Eğrisi Teorisi

İlerleme eğrisi, gelişme eğrisi, deneyim eğrisi veya vost eğrisi olarak da bilinen öğrenme eğrisi teorisi, üretim zamanı ve zamanla ilgili olan gereksinimlerin tahmin edilmesi konusuna nicel bir yaklaşım olarak değerlendirilir (Billon, 1966: 65). Öğrenme eğrisi teorisi, bir ürünün miktarı iki katına çıktıkça, birim başına doğrudan işçilik saatinin sabit bir yüzde oranında azaldığı hipotezine dayanır. Bu durum aynı zamanda üretilen birim sayısı arttıkça, ilgili birim maliyetlerin üstel ve asimptotik bir şekilde azalması olarak da ifade edilebilir.

Öğrenme eğrileri 1930'lu yıllarda ortaya çıkmasına rağmen ilk yıllarda büyük şirketlerden ziyade küçük ölçekli şirketlerde kullanılması ve zamanla yönetim tekniklerinin geliştirilmesinin yanı sıra işletme literatürü aracılığıyla yaygınlaşmasıyla daha sonraki yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Öğrenme eğrilerinin en çok bilinen ilk kullanımı, uçak imalatı alanında üretim maliyetlerinin kümülatif üretim miktarına göre değiştiğini savunan Wright (1936) tarafından yapılmıştır. Wright (1936) elde ettiği ampirik sonuçları öğrenme eğrileri temelinde maliyetlerle kümülatif üretim miktarı arasındaki ilişkileri gözlemleyerek üç açıklama önermiştir. Birinci açıklamasına göre, bireysel öğrenme ile karakterize edilen bir çalışan işi tekrarladıkça elde ettiği deneyimle deneyimsizliğini ortadan kaldırmaktadır. İkinci açıklamaya göre, giderek daha fazla makine ve teçhizat kullanımı ve alet bakımı yapıldıkça daha az deneyimli işgücüne ihtiyaç duyulmasıdır. Üçüncü açıklamaya göre de büyük miktarda üretimlerde makine ve teçhizat kurulum süresinin arttığı belirtilmiştir. Bu açıklamalardan sadece ilki organizasyonel öğrenmenin kaynağıyla ilgili olmakla birlikte, diğer açıklamalar ölçek ekonomileriyle ilişkilendirilebilmektedir (Thompson, 2012: 203).

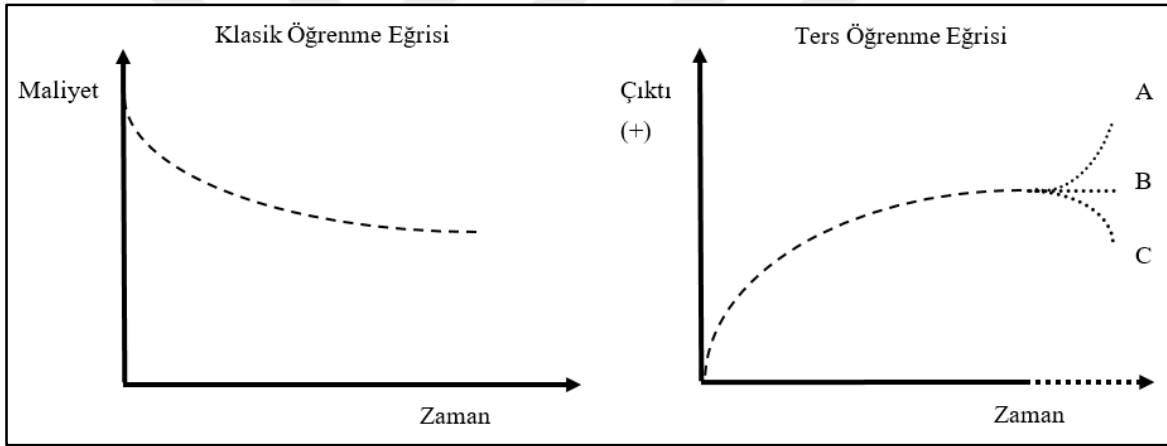
Wright (1936) tarafından geliştirilen $y_x = y_1 \cdot x^{-\alpha}$ ilerleme fonksiyonunda x , birimi üretmenin maliyeti (y_x), deneyimin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. y ve x değişkenlerinin logaritması doğrusal bir ilişki içinde olmasından dolayı x her iki katına çıktığında y 'nin ardışık değerleri önceki değerinin sabit bir katıdır (Billon, 1966: 66). Temel öğrenme eğrisi denklemi $y_x = y_1 \cdot x^{-\alpha}$ 'yi kullanabilmek için y_1 ve α (y_1 : ilk birimi üretmenin maliyeti, α : öğrenme eğrisinin eğimi) parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bir öğrenme eğrisi, deneyim ve çıktı arasındaki ilişkinin grafiksel bir temsilidir. Negatif bir öğrenme eğrisini öngören öğrenme eğrileri, öğrenmenin bir ikame süreci olduğu varsayımına dayanır (Mazur ve Hastie, 1974: 1256). Yapılan iş ne kadar çok tekrar edilirse o kadar çok deneyim kazanılır ve öğrenme sonucunda elde edilen çıktılar o kadar fazla olur. Bu öğrenme etkisi uçak imalatında (Wright, 1936: 124; Baloff, 1971: 329; Yelle, 1979: 303; Argote, 1990: 920) ve özellikle sağlık olmak üzere hizmet endüstrisi gibi bir çok alanda görülmüştür (Begg vd., 1998: 1750; Birkmeyer vd., 1998: 255; Clark, 1996: 26; Glasgow ve Mulvihill, 1996: 299; Hillner ve Smith, 1998: 1784;

Jollis vd., 1994: 331; Kastrati vd., 1998: 975; Klein vd., 1997: 876; Konvolinka vd., 1995: 337; Phibbs vd., 1996: 1058; Sollano vd., 1999: 425; Sowden vd., 1995: 154; Thiemann vd., 1999: 1645).

En aşina olunan öğrenme eğrisi, klasik öğrenme eğrisi olarak adlandırılan dikey ekseninde birim üretim maliyetlerinin yatay ekseninde ise deneyim zamanının bulunduğu eğridir. Deneyim kazandıkça, bireyler işleri daha verimli yapmayı öğrenirler ve bu da maliyetleri düşürür. Pek çok faaliyet, özellikle hizmet sektörleri, maliyet gibi olumsuz davranışları takip etmekten çok daha olumlu davranışları izlemeyi tercih eder. Şekil 2'deki gibi yatay eksen tersine çevrilerek çıktı gibi olumlu davranışların elde edilmesi zamanla karşılaştırılmıştır. Öğrenme eğrisi, asimptotik bir eğri¹ olması dolayısıyla belirsiz bir eğridir. Eğri son olarak B çizgisindeki gibi yatay (değişmeyen) bir duruma mı geliyor, daha fazla deneyimle çıktının düşmeye başladığı bir nokta olan C gibi bir duruma mı geliyor, yoksa eğri bir süre sonra A gibi hızlanmaya mı başlıyor tam olarak belli değildir.

Şekil 2: Öğrenme Eğrileri

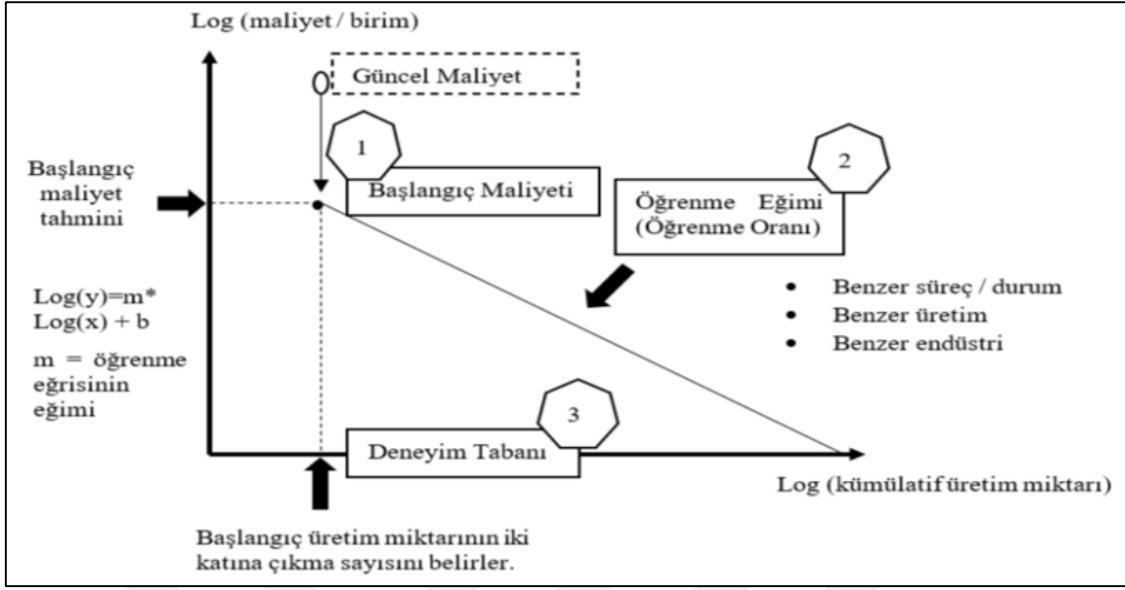


Kaynak: Jaber, 2011: 49

Öğrenme eğrilerinin değerlendirilmesinde geleneksel form yerine Şekil 3'teki gibi logaritmik fonksiyonların kullanılmasıyla öğrenme eğrisini düz bir çizgi olarak incelemek büyük kolaylık sağlamaktadır.

¹ Asimptotik eğri, bir olayın şiddetindeki artış ve azalışları gösteren eğridir.

Şekil 3: Logaritmik Ölçekte Öğrenme Eğrisi Kullanımı



Kaynak: Arreola ve Risa, 2013: 43

Öğrenme eğrilerinin uygulanmasıyla elde edilebilecek “ikiye katlama etkisi”ni tahmin etmeye odaklanan birçok araştırmacı, öğrenme eğrilerinin zaman içerisinde oluşan asimptotik doğasını ele almaz. Öğrenme eğrilerinin şeklinin değerlendirilmesinde bir sorun teşkil eden bu durum, doğrusal olmayan bir öğrenme eğrisinin iki ayrı doğrusal bölüme ayrılması yoluyla daha kolay incelenebilir. Ayrılan ilk bölümdeki öğrenme eğrisinde eğimler büyük ölçüde farklılık gösterir. İlk bölümün eğimi, bir firmanın yönetsel yetenekleri, teknolojik yetkinliği ve imalat bilgisinin bilgi birikiminin artmasıyla üretim üzerindeki kazanımları tarafından belirlenir. İkinci bölümün eğimi ise daha küçük olmakla birlikte tercih edilen teknolojinin sınırları tarafından belirlenir. Eğrinin ilk kısmı, olgunlaşmamış bir teknolojiyi sahada konuşlandırarak kadar olgun bir seviyeye getirmekle ilgiliyken, eğrinin ikinci (asimptotik) kısmı, sistemin teknolojik sınırları, süreçler, prosedürler ve hammadde maliyetleriyle ilgilidir.

Çıktı oranının artmasıyla birlikte kümülatif üretimin hızlı bir şekilde artmasının, zamanla maliyetlerdeki düşüşün artmasına yol açtığına inanılmaktadır (Dutton ve Thomas, 1984: 236). İlerleme fonksiyonları üzerine yapılan çalışmalar, ilerlemeye neden olan faktörleri “*Horndal (işgücü öğrenmesi) etkileri*”, “*teknolojik değişimin etkileri*”, “*yerel endüstri ve firmaların etkileri*” ve “*ölçek etkileri*” olmak üzere 4 kategoriye ayırmıştır.

Arrow (1962), sermaye mallarındaki teknolojik değişimle “yaparak öğrenme” kavramını öğrenme teorisine dahil etmiştir. Arrow’un hipotezi, sermaye mallarına yapılan yatırımın ilerleme etkisine katkıda bulunan değişen bir üretim ortamı yarattığını öngörmüştür. Kümülatif hacmin tek deneyim ölçüsü olarak alındığı çalışmaların aksine, Arrow, sermaye mallarına yapılan yatırımı

ilerlemenin birincil aracı olarak vurgulamış ve kümülatif brüt yatırımı, deneyimi temsil eden ana ekonomik değişken olarak kabul etmiştir (Dutton ve Thomas, 1984: 239).

Yapılan işin tekrar sayısı arttıkça öğrenme oranının sistematik olarak azalması psikolojide eski öğretilere dayanmaktadır. Bu bağlamda öğrenmenin en fazla eğitimin ilk zamanlarında meydana geldiği düşünülmektedir. Eğitimin ilerleyen dönemlerinde performans artışlarıyla elde edilen azalan getirinin, negatif olarak hızlanan bir öğrenme eğrisiyle sonuçlanacağı öngörülmektedir (Mazur ve Hastie, 1974: 1256).

Deneyimin çıktı ile etkileşimini tanımlayan üç temel teorem mevcuttur. İlk teorem, birim üretim süresinin yapılan her tekrarla azaldığını belirtir. İşçiler deneyim kazandıkça daha verimli hale gelerek, aynı zaman dilimi içerisinde daha fazla işi yapabilirler (Şekil-2’de yer alan ters çevrilmiş öğrenme eğrisinde A noktasının bulunduğu eğri gibi yukarı doğru hareket etmesinin nedeni budur). Zaman, işgücü maliyetlerine dönüştüğü için, bir işçi ne kadar deneyim kazanırsa, o kadar hızlı üretir ve üretmek her defasında daha ucuz hale gelir. Bazı ürünler ve hizmetler için, deneyimden elde edilen kazanç, tümüyle öğrenme yoluyla artırılmış kaliteye dönüşür. İmalatta ve özellikle hizmet çalışmalarında en çok hacme sahip olanlar en iyi olarak algılanmakta ve çoğu zaman da bu algı geçerli olmaktadır. Bu teoremin sağlık hizmetlerin rahatsız edici bir yorumu bulunmaktadır. Öğrenme, insanları işlerinde daha hızlı ve daha iyi hale getirdiğinden, sağlık hizmeti sağlayanların deneyim kazandıktan sonra daha iyi performans göstermesi beklenir. Başka bir deyişle, ilk hasta yüzüncü hastadan daha büyük bir risk altındadır.

İkinci teorem, birim üretim süresinin deneyim (öğrenme) nedeniyle gelişmesinin zamanla azaldığını ifade etmektedir. Ters çevrilmiş öğrenme eğrisinin düz bir çizgi yerine asimptot olmasının nedeni budur. Belirlenmiş doğal sınırlar içerisinde öğrenilenler arttıkça bu sınırlara yaklaşılr. Daha önce de belirtildiği gibi öğrenme eğrisinin nihai yönü bilinmemekle birlikte teorisyenler, eğrinin yataya yaklaştığını iddia ederler. Ancak birçok üretici, her zaman daha iyisini yapabileceklerine inandıkları için bu sınırı reddetme eğilimindedirler.

Üçüncü teorem, üretilen birimlerin zaman ve kalite bakımından öngörülebilir bir model izlediğini belirtir. Bu durum, öğrenmenin faaliyetin türüne göre değiştiği anlamına gelmektedir. Öğrenme deneyimini yapılandırmak, bir öğrenme eğrisinin edinilmesini kolaylaştırabilir. Ayrıca öğrenmeyle birlikte risk alındığı söylenebilir ve iş, ticaret, finans, üretim ve tıp gibi riskten kaçınan faaliyetler riski kabullenme konusundaki tereddütleriyle yeteneklerini kısıtlatırlar. En önemli risk, genellikle öğrenmenin önündeki en büyük engel olan “ego”dur. Öğrenmek, birinin bir şeyi bilmediğini alenen ilân etmesini gerektirir ki bu durum ego riskini ortaya çıkarır. Bireyin kendisine doğru bildiğini sandığı şeyin doğru olmayabileceğini söylemesi gerekir. Birey ne kadar bilgili ve başarılı olursa olsun, onu ilk başta bulunduğu yere getiren bilgi ve deneyimi sorgulamak o kadar zordur. Kabul edilen bilginin sorgulanamaması öğrenmeyi engeller.

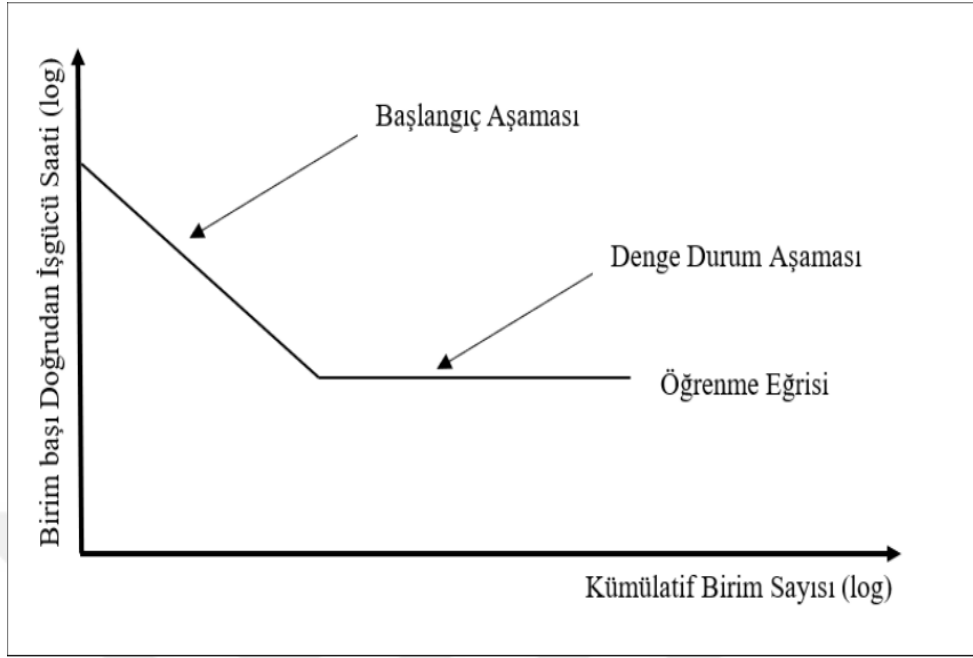
Öğrenme eğrisi teorisi, hemen hemen tüm faaliyetlerde faydalı olabilir. Bununla birlikte uygulanmasında, en kolayından en zoruna kadar çeşitli bir kullanım yelpazesi mevcuttur. Öğrenme eğrisi teorisinin uygulanmasında hizmet endüstrileri, imalat sektöründen daha büyük sorunlara sahiptir. Çıktıların, hizmet endüstrilerinde imalat ürünlerine kıyasla ölçülmesinin daha zor olduğu düşünülürse hizmet endüstrisindeki yöneticiler ve planlamacılar daha büyük sorunlarla karşı karşıyadır. Ayrıca yapılandırılmış öğrenmede gerekli bir unsur olan bilimsel test, özellikle hizmet endüstrilerinde sorunludur. Etik, yasal ve teknik konular önemli olsa da en büyük kısıt genellikle şirket kültürüdür. Organizasyonel başarı için muhtemelen kurumsal kültürün öğrenmeyi nasıl ele aldığından daha kritik bir ön koşul yoktur (Baker, 2001: 586). Hangi ölçüye göre tanımlanırsa tanımlansın başarı, verimliliğin ve özellikle hizmet sektöründeki etkinliğin artırılmasına bağlıdır. İyileştirme ise hem birey hem de organizasyon tarafından öğrenmeyi gerektirir (Ferlie ve Shortell, 2001: 287). Kurallara ve düzenlemelere sıkı sıkıya bağlı bir organizasyon, öğrenemez ve dolayısıyla gelişemez (Ashmos vd., 1998: 45). Değişen dünyada esnek olmayan bir kültüre sahip organizasyonlar, öğrenmeyi ödüllendirmedikleri için uyum sağlayamazlar. Yeniliği ve risk almayı teşvik eden bir kültür ise öğrenebilir ve başarılı olabilir (Pfeffer, 1994: 194; Senge, 1990: 9).

Öğrenme eğrisi teorisi, öğrenme eğrilerinin farklı alanlarda kullanımını desteklemekle birlikte öğrenme eğrilerinin bir ürünün üretim aşamalarındaki etkileri de oldukça önem taşımaktadır. Bir ürünün üretilmeye başlandığı ilk üretim aşamasında öğrenmenin diğer aşamalara göre daha yüksek olduğu, diğer aşamalarda giderek azaldığı ve bir noktadan sonra sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum “plateauning” kavramını ortaya çıkarmıştır.

1.2.1. Plateauning

İlk defa Conway ve Schultz (1959) tarafından gözlemlenmiş olan Plateauning olgusu daha sonra Baloff (1971) tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. İki aşamadan oluşan plateauning süreci Şekil 4’te gösterilmiştir. İlk aşama başlangıç aşaması olup, bir ürünün ilk üretim aşamasıdır. İkinci aşama ise öğrenme eğrisinin sabit olduğu durumu veya başka bir deyişle öğrenmenin durduğu aşamayı göstermektedir.

Şekil 4: Öğrenme Eğrisinde Plateauing'in İki Aşaması



Kaynak: Yelle, 1979: 311

Yapılan çalışmalarda şekilde gözlemlenen düzleşmenin emek yoğun endüstrilere nazaran makine yoğun endüstrilerde görülme olasılığının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. “Plateauning” olgusu, işgücünün öğrenmeyi bırakmasıyla ilişkilendirilebileceği gibi makine/toplam işgücü oranının yüksek olması ve ilerleme oranının daha küçük olmasından dolayı bu durum makine yoğun üretimlerde daha erken gerçekleşebilmesiyle de ilişkilendirilebilir. Bunun yanı sıra makine yoğun üretimde, denge durum aşaması, yönetimin öğrenme sürecinin devam etmesi için gerekli teknolojik gelişmeleri elde etmek için daha fazla sermaye yatırma konusundaki isteksizliğiyle açıklanabilir. “Plateauning” olgusu, yönetimin belirlenen hedeflere ulaşıldıktan sonra yeni hedeflerin belirlenmemiş olması ve yeni hedeflerden yoksun olan yöneticilerin kendilerini motive edecek herhangi bir teşvikten yoksun olmalarından dolayı iyileştirmenin sürekli olabileceğine dair sahip olduğu şüphelerle de açıklanabilir (Hirschmann, 1964: 139).

1.2.2. Horndal Etkisi

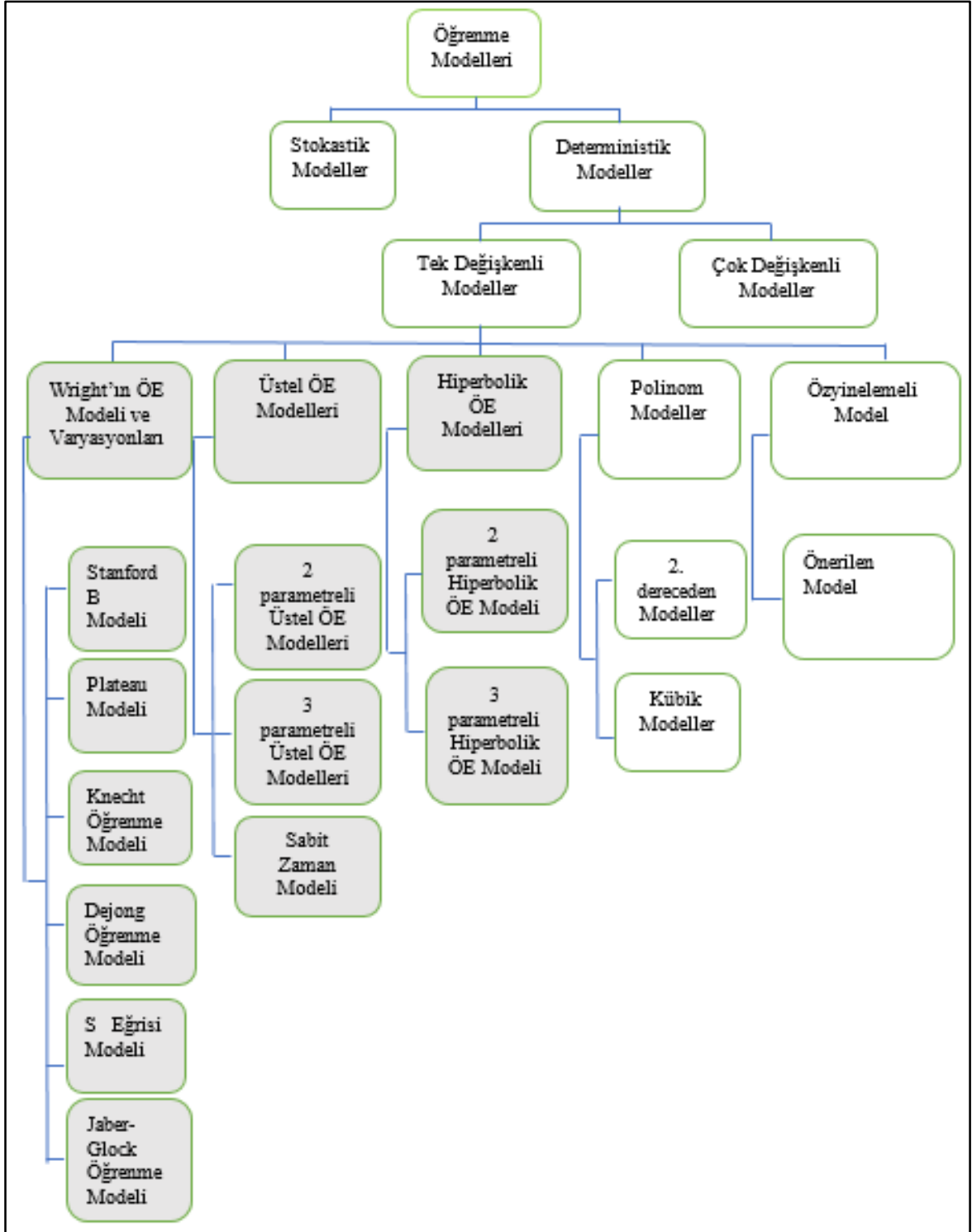
Erik Lundberg (1961), verimlilik ve kârlılık üzerine “Horndal Etkisi” adı verilen ekonomik bir kavram geliştirmiştir. 1930’ların ortalarında İsveç’te Horndal çelik fabrikasında küçük tamiratlar ve arızalı parçaların değiştirilmesi dışında herhangi bir yenileştirme yapılmadan 15 yıl boyunca hiçbir yeni yatırım yapılmamıştır. Buna rağmen, bu süre sonunda %2’lik bir verimlilik artışı görülmüştür. Lundberg, “Horndal Etkisini” “saf verimlilik” olarak ifade etmiş; ancak altında yatan nedenleri araştırmamıştır (Lundberg, 1961: 130-131).

Arrow (1962)'un 'yaparak öğrenme' kavramını öne çıkardığı çalışmasında, Horndal'ın sürdürülebilir verimlilik artışının yalnızca öğrenmeden kaynaklanan deneyimle elde edilebileceğini ifade etmiştir. Bu durum, işçilerin zamanla işi öğrenerek makineleri daha verimli bir şekilde kullanabileceği şeklinde yorumlanabilir. Daha sonraki birçok iktisatçı da verimlilik artışını destekleyen bir kanıt olarak Horndal Etkisi'ni göstermiştir. Bu iktisatçılardan biri olan Paul David, 1834 yılında Massachusetts'te Lawrence No.2 pamuklu tekstil fabrikasında "Horndal Etkisi"ni yeniden analiz etmiştir. Paul David, Lawrence No.2 fabrikasındaki işgücü verimliliği yeni makine yatırımı olmadan 1835-1856 yılları arasında yıllık ortalama %2 arttığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca, Lawrence No.2 fabrikasındaki bu durumu İsveç çelik fabrikasında gerçekleşen Horndal Etkisi'nin kısa dönem öğrenme etkisinin detaylı bir örneği olduğunu iddia etmiştir. Paul David, Lundberg'in verimlilik artışının "tanımlanmamış faktörler"den kaynaklandığı ihtimalini düşünmeyip, Arrow gibi verimlilik artışının yaparak öğrenmeden kaynaklandığını ileri sürmüştür (Lazonick ve Brush, 1985: 53-56).

1.3. Öğrenme Eğrisi Modelleri

Öğrenme eğrisi modelleri, genel olarak, bağımsız bir kümülatif üretim değişkeni açısından bağımlı bir değişken olan üretim maliyetlerini değerlendirmek için kullanılır. Wright'ın öğrenme modelini takiben literatürde geliştirilmiş olan çok sayıda öğrenme modeli bulunmaktadır. Bu modeller, geliştirildikleri dönem dahilinde mevcut problemleri çözmek amacıyla farklı model kısıtlarıyla türetilmişlerdir. Her model bir ihtiyaç sonucu geliştirilmiş olup, öğrenme eğrilerinin geniş kullanım yelpazesi de çeşitli ekonomik segmentlerde öğrenme sürecinin birçok matematiksel gösteriminin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Anzanello ve Fogliatto, 2011: 574). Bu çalışmada Wright'ın ilk öğrenme modelinden itibaren literatürde en çok bilinen öğrenme modelleri incelenmiş, modellerin nasıl oluşturulduğu ve bu modeller arasındaki benzerlik ve farklılıklara değinilmiştir.

Şekil 5: Öğrenme Modelleri



Kaynak: Srour vd., 2016: 2

Şekil 5'te öğrenme modellerinin ana sınıfları gösterilmiştir. Bu modeller farklı matematiksel formlara sahip olmakla birlikte temel olarak ana düşünceleri aynıdır. Gölge kutular bu çalışmada incelenen öğrenme modellerini göstermektedir. Bu seçime dahil olmayan model sınıfları stokastik

modeller, deterministik modellerden çok değişkenli modeller ve tek değişkenli model gruplarından polinom modeller ve özyinelemeli modellerdir. İncelenmeyen bu modeller yararlı olmakla birlikte kalibrasyon için önemli derecede veri ve uzmanlık gerektirmektedir.

1.3.1. Tek Değişkenli Modeller

1.3.1.1. Wright'ın Öğrenme Eğrisi Modeli ve Varyasyonları (WLC)

Wright (1936) tarafından geliştirilmiş öğrenme eğrisi modeli, uçak montajındaki ortalama birim üretim maliyetlerinin üretilen uçak sayısının azalan bir fonksiyonu olduğu temeline dayandırılmıştır. Üretim maliyetlerinin azalması, işçilerin zamanla becerilerinin artması ve aynı işi daha kısa sürede daha az hatayla yapabilmesine bağlanmıştır. Wright'ın öğrenme eğrisi, öğrenmenin bir sonucu olarak hem zamandaki hem de maliyetlerdeki düşüşleri modellemek için kullanılabilir. Wright'ın öğrenme eğrisi modeli [1.1] numaralı denklemde gösterilmektedir (Grosse vd., 2015: 402):

$$y_x = y_1 \cdot x^{-\alpha}, \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad [1.1]$$

[1.1] numaralı denklemde y_x , x . birimi üretmenin birim maliyeti; y_1 , ilk birimi üretmenin birim maliyeti; x , kümülatif üretim miktarını ve α , öğrenme eğrisinin eğimini göstermektedir. Öğrenme eğrisindeki “ α ” parametresi ayrıca, kümülatif üretimdeki artışla ilişkili işgücü girdisindeki azalmanın bir tahminidir ve kümülatif üretim miktarı her iki katına çıktığında gerçekleşen öğrenme yüzdesi olarak tanımlanan “ilerleme indeksi (PI)” olarak da adlandırılabilir (Baloff, 1971: 328).

Öğrenme oranı, üretim miktarı her ikiye katlandığında birim başına maliyetin giderek hangi oranda azaldığını göstermektedir. Öğrenme oranı “ d ” parametresiyle ifade edilmekte olup, öğrenme eğrisi eğimi α yardımıyla ve $d = 2^{-\alpha}$ eşitliğiyle hesaplanabilir. Bu eşitliği elde edebilmek için biri diğerinin iki katı olan iki farklı üretim seviyesi alınır. Örneğin, x_1 ve x_2 üretim seviyeleri ele alınsın ($x_2 = 2x_1$). Bu durumda öğrenme oranı “ d ” aşağıdaki [1.2] numaralı denklemin geliştirilmesi ile elde edilir (Badiru, 1992: 176):

$$\begin{aligned} y_{x_1} &= y_1 (x_1)^{-\alpha} \\ y_{x_2} &= y_1 (2x_1)^{-\alpha} \\ d &= y_1 (2x_1)^{-\alpha} \setminus y_1 (x_1)^{-\alpha} = 2^{-\alpha} \end{aligned} \quad [1.2]$$

α 'nın değeri genellikle negatif değildir. α 'nın değeri ne kadar büyükse, öğrenme etkisi o kadar büyük olur. Kümülatif üretim ve deneyim iki katına çıktığında, başlangıçtaki birim işgücü girdisinin (maliyetin) bir oranı olarak birim çıktı başına düşen işgücü girdisi (maliyeti) $d = 2^{-\alpha}$ eşitliği ile verilir. Örneğin, $\alpha = 0.234$ olduğunda, d 'nin değeri 0.85 olacaktır. Bu durum, deneyim iki katına çıktığında

birim işgücü gereksiniminin (birim maliyetin) önceki seviyesinin %85'ine düştüğü şeklinde yorumlanabilir.

Öğrenme oranının 0,7 olması ile %70'lik bir öğrenmeden bahsedilebilirken, öğrenme oranının 1'den büyük olması, öğrenmeden ziyade bilgilerin unutulduğu ya da güncelliğini yitirdiği bir durumu ifade etmektedir (Stevenson, 1996: 345-346; Karaöz, 2003: 31-32). Bu durumda öğrenmenin bir sonucu olan birim maliyetlerdeki azalmanın aksine zaman içerisinde bir artma eğilimi olduğu anlaşılmaktadır.

Öğrenme eğrileri bağlamında bir üretim işleminde öğrenme oranlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler aynı organizasyon içinde öğrenme oranlarının farklılaşmasına neden olarak öğrenme eğrilerinin de farklı şekillerde oluşmasına yol açar. Bu faktörleri Tablo 1'de gösterildiği gibi özetlemek mümkündür:

Tablo 1: Öğrenme Oranını Etkileyen Faktörler

Devletle İlgili Faktörler	Organizasyonel Faktörler	Ürün Bazlı Faktörler
• Endüstri standartları • Eğitim sistemleri • Yönetmelikler • Ekonomik uygulanabilirlik • Sosyal programlar • İstihdam ve destek hizmetleri • Mali ve ticari destekler	• Yönetim bilinci • Eğitim programları • Teşvik programları • İşgücü değişim oranı • Maliyet muhasebesi sistemleri • Çalışma standartları • Kalite hedefleri • Çalışan havuzu • Departman ara yüzleri • Pazar ve rekabet baskıları • Makine ve teçhizatın eskimesi • Uzun vadeli hedeflere karşı kısa vadeli hedefler	• Ürün özellikleri • Hammadde özellikleri • Üretimin çevresel etkileri • Teslimat planları • Yapılan işlemlerin sayısı ve türleri • Ürün çeşitliliği • Montaj ihtiyaçları • Tasarım süresi • İş tasarımı ve basitleştirme • Otomasyon seviyesi

Kaynak: Badiru, 2011: 361-362

Wright'ın ortaya attığı öğrenme eğrileri zaman içerisinde “maliyet iyileştirme eğrisi” veya “deneyim eğrisi” gibi farklı isimlerle ifade edilmiştir. Ancak ana teorisi, imalat ve teknolojiye büyük değişikliklere rağmen nispeten değişmemiştir. Öğrenme kavramı, bir işçinin görevini birden çok kez yerine getirirken, sürece aşına olmasından dolayı aynı görevi tamamlamak için gittikçe daha az zamana ihtiyaç duymasına dayanır. Öğrenme eğrisi de üretilen miktar her ikiye katlandığında çalışanların performansının sabit bir oranda artacağını ifade eden teorinin matematiksel bir temsildir. Wright'ın modelinin birçok farklı formu olmasına rağmen temel mimarisi değişmemiştir (Moore, 2015: 3). Wright'ın öğrenme eğrisi modeli, basitliği (Baloff, 1971: 340; Globerson ve Gold, 1997: 196) ve kabul edilebilir bir kesinlik ve basit matematiksel bir yapı sağlaması açısından en yaygın kullanılan öğrenme eğrisi modelidir (Vits ve Gelders, 2002: 286).

1.3.1.1.1. Stanford B Modeli (SBM)

Wright'ın öğrenme eğrisi modelinden sonra geliştirilen Stanford B öğrenme eğrisi modeli, daha önceden kazanılan deneyimleri Wright'ın logaritmik doğrusal öğrenme eğrisi modeline dahil etmiştir. ABD Savunma Bakanlığı tarafından Stanford Araştırma Enstitüsü'nde yapılan bir çalışma, 2. Dünya Savaşı verilerini daha iyi temsil ettiği gerekçesiyle Stanford B modelinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Stanford B modeli, Boeing 707 uçağının montaj aşamalarında test edilmiş ve bu uçağın üretimi için en iyi model olduğu bulunmuştur (Nembhard ve Uzumeri, 2000: 373). Stanford B modeli aşağıdaki [1.3] numaralı denklemde formüle edilmiştir (Grosse vd., 2015: 402):

$$y_x = y_1 \cdot (x + B)^{-b} \quad [1.3]$$

[1.3] numaralı denklemde y_x , x. birimi üretmenin birim maliyetini; y_1 , ilk birimi üretmenin birim maliyetini; x, kümülatif üretim miktarını; b, öğrenme eğrisinin eğimini ve B, geçmişte kazanılan deneyimleri ifade etmektedir.

B ile temsil edilen parametre, ilk birimin üretimine başlanmadan önce üretilen birimlerin sayısını ifade eden 0 ile 10 arasında değer alan bir sabittir (Badiru, 1992: 178). B=0 olduğunda Stanford B modeli, Wright'ın modeline indirgenir. Bununla birlikte Stanford B modeli, M=0 olduğunda S eğrisi modelinin özel bir durumudur. Eğer B=10 ise, öğrenmenin etkileri 11. üniteye başlar ve performanstaki düşüş daha erken gerçekleşip öğrenme eğrisinin hızla düşmesine neden olur. Önceki deneyim parametresi olarak da ifade edilen B, modelin önceki öğrenmeyi de hesaba katmasına ve öğrenme sürecini sıfırdan başlatmak yerine zamanın daha önceki bir noktasından öğrenmeye devam edilmesine izin verir (Moore, 2015: 17). Ayrıca B parametresinin modele dahil edilmesiyle, sapmaların karelerinin toplamının daha küçük olduğu elde edilmiştir (Badiru, 1992: 178).

1.3.1.1.2. Plateau Modeli (PM)

Plateau modeli, Wright'ın öğrenme eğrisi modeline bir C sabitinin eklenmesiyle elde edilir. Burada amaç, bağımsız öğrenme etkisiyle yapılan bir iş için gerekli minimum zamanın hesaplanabilmesini modelde mümkün kılmaktır. Plateau öğrenme eğrisi [1.4] numaralı denklemde gösterildiği gibi formüle edilmektedir (Grosse vd., 2015: 402):

$$y_x = C + y_1 x^{-b} \quad [1.4]$$

[1.4] numaralı denklemde y_x , x. birimi üretmenin birim maliyetini; y_1 , ilk birimi üretmenin birim maliyetini; x, kümülatif üretim miktarını; b, öğrenme eğrisinin eğimini ifade etmektedir. Modeldeki C sabiti çalışanların denge durumundaki performanslarını göstermektedir. Denge

durumuna ulaşılması öğrenmenin sonlanması veya çalışanların gelişiminin daha fazla ilerletilememesi anlamına gelmektedir (Teplitz, 1991; Li ve Rajagopalan, 1998: 183). Denge durumuna geçmeden önce bir ürünün üretiminin başlangıç aşaması mevcuttur ve bu aşamada x tekrar sayısı arttıkça bu işi gerçekleştirmek için harcanan zamanın azaldığı görülmektedir. Plateau öğrenme eğrisinde başlangıç aşamasından denge durumuna bir kırılmayla geçilir.

İlk aşamada çıktı arttıkça maliyetler azalırken, ikinci aşamada çıktı arttıkça maliyetlerin sabit kaldığı görülmektedir. Ancak bu durum büyük miktarlarda çıktı elde edildiğinde söz konusudur (Baloff, 1971: 330-331). Plateau modelinde bir ürünün üretilmeye başlandığı başlangıç evresinden belirli bir öğrenme düzeyine ulaşıldıktan sonra denge durumuna geçilmesiyle öğrenmenin sabit kaldığı görülmektedir.

1.3.1.1.3. Knecht'in Öğrenme Modeli

Knecht (1974), öğrenmenin sonsuza kadar devam etmediğini düşünerek değişen bir öğrenme oranını ifade eden bir model önermiştir:

$$y = y_1 \cdot x^{-n+1} / 1-b \quad [1.5]$$

[1.5] numaralı model denkleminde b değişkeni, (0,1) aralığında değer almaktadır. Plateau modeli ve Knecht'in öğrenme modelleri öğrenmede bir sınır oluştururken, inşaat alanında işçilerin kullanılan teknoloji ile sınırlı oldukları ifade edilmiştir. Örneğin, bir kürek kullanılarak manuel yapılan bir kazı için öğrenme eğrisi maksimum işgücü performansı ile sınırlıyken, mekanik olarak yapılan bir kazıda operatörün kullandığı makinenin özellikleri ve kendi yetenekleriyle sınırlanmakta olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, operasyon daha az mekanize ve daha fazla manuel olduğunda zaman ve maliyet öğrenmeyle daha fazla azalma eğilimindedir (Sroul vd., 2016: 2).

1.3.1.1.4. De Jong'un Öğrenme Modeli (DJM)

De Jong (1957), üretimin her sürecinde öğrenmenin söz konusu olmadığı kabullenmesinden hareketle verimlilik artışının bulunmadığı sınırlandırılmaz bir bileşeni modele ekleyerek Wright'ın (1936) öğrenme eğrisi modelini genişletmiştir. Geliştirilen bu modelde bir görevde manuel aktivitelerin oranını belirlemek için bir güç fonksiyonu² oluşturulmuştur. Bu fonksiyonda insan-makine oranını hesaplamak için modele sınırlandırılmaz bir faktör olan bilgi eklenmiştir (Badiru, 1992: 179). De Jong'un öğrenme eğrisi modeli [1.6] numaralı denklemde ifade edilmiştir (Grosse vd., 2015: 402):

² Güç fonksiyonu, taban olarak bir değişken ve üst olarak bir sabit olan tek terimli bir fonksiyondur.

$$y_x = y_1 \cdot (M + (1 - M) \cdot x^{-b}) \quad [1.6]$$

[1.6] numaralı denklemde sınırlandırılmaz bir faktör olan bilgi ($0 \leq M \leq 1$), üretim sürecinin otomatikleştirilme derecesine bağlıdır. Bir üretim sürecinin kısmen otomatikleştirilmesi, otomatikleştirilmiş görevlerde öğrenmenin gerçekleşmediği anlamına gelmektedir. $M = 0$ olması, işlemin tamamen manuel olduğu anlamına gelir. $M = 1$ olması ise tamamen makine hakimiyetindeki bir işlemi ifade eder (Moore, 2015: 18). Ayrıca, $M = 1$ olduğunda, birim maliyet y_1 'e eşit bir sabite indirgenir. Bu da makine kontrollü işlemlerde maliyet iyileştirmelerinin mümkün olmadığını gösterir (Badiru, 1992: 179).

1.3.1.1.5. S Eğrisi Modeli (SCM)

S eğrisi modeli, makinesel bir müdahalenin söz konusu olduğu ve operasyonların ilk çevriminde derinlemesine bir analiz istendiği durumlarda öğrenme sürecini tanımlamayı amaçlamaktadır (Jaber, 2011: 8). Stanford-B ve De Jong'un öğrenme eğrisi modellerinin özelliklerinin birleştirilmesiyle elde edilen S eğrisi modeli, adını logaritmik ölçeğe S şeklinde çizilmiş olmasından alır. S eğrisi, dört parametrelili bir model formunda olup, De Jong'un modeline benzer şekilde sınırlandırılmaz bir faktöre sahiptir. S eğrisi modeli aşağıdaki [1.7] numaralı denklemde formüle edilmiştir (Nembhard and Uzumeri, 2000: 373):

$$y_x = y_1 (M + (1 - M) \cdot (x + B)^{-b}) \quad [1.7]$$

[1.7] numaralı denklemde y_x , x. birimi üretmenin birim maliyeti; y_1 , ilk birimi üretmenin birim maliyeti; x, kümülatif üretim miktarını; b, öğrenme eğrisinin eğimini; B, geçmişte kazanılan deneyimleri ($0 < B < 1$) ve M, sınırlandırılmaz bir faktörü göstermektedir.

S eğrisi formu, öğrenme sürecinin başlangıçta log-linear modellerde olduğundan daha yavaş olduğu varsayımına dayanmaktadır (Nembhard and Uzumeri, 2000: 373). Üretimin ilk aşamalarında çalışanlar iş konusunda tecrübesizdirler ve zamanla işi öğrendikçe tecrübe kazanmaya başlarlar. Bu aşamada gerçekleşen tasarım değişiklikleri veya yöntem farklılıkları, çalışanların öğrenme hızını yavaşlatarak daha düşük maliyetlerin oluşmasına engel olur. Zamanla çalışanların yaptıkları işte tecrübe kazanması ve üretim yöntemlerinde yapılan düzeltmelerle maliyetlerin düşmesi sağlanabilir.

1.3.1.1.6. Jaber Glock Öğrenme Modeli (JGLCM)

Jaber Glock öğrenme eğrisi modelinde, Dar-El vd.(1995) tarafından geliştirilen çift aşamalı öğrenme eğrisini genişletilerek birçok endüstriyel faaliyette hem bilişsel hem de motor öğrenmenin meydana geldiği ifade edilmiştir (Jaber ve Glock, 2014: 184). Jaber Glock öğrenme eğrisi modeli,

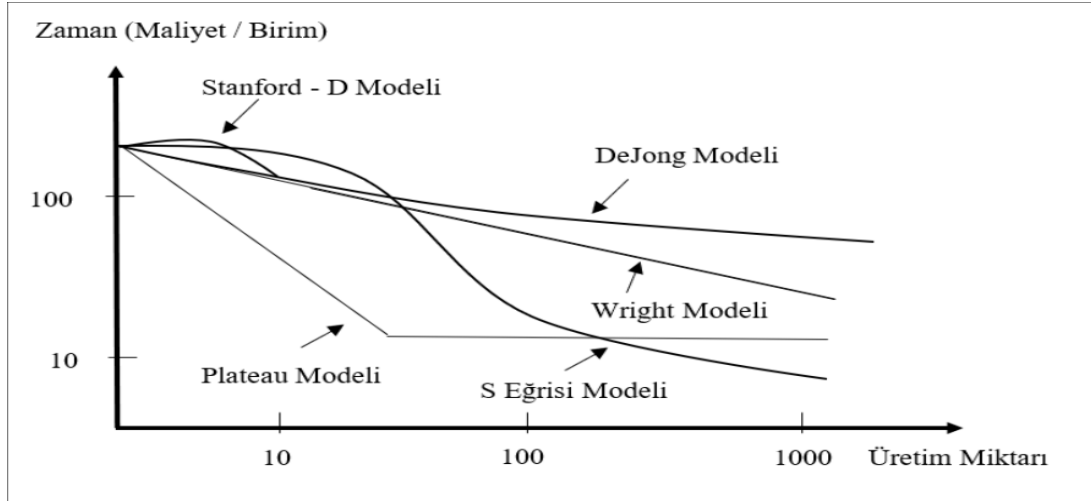
bilişsel ve motor olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır ve matematiksel gösterimi [1.8] numaralı denklemdeki gibidir:

$$y_x = p \cdot y_1 \cdot x^{-b_c} + (1 - p) \cdot y_1 \cdot x^{-b_m} \quad [1.8]$$

[1.8] numaralı denklemde p, denklemde her iki öğrenme türünün payını göstermektedir. b_c , bilişsel öğrenme için öğrenme bileşenini ifade ederken; b_m , motor öğrenme için öğrenme bileşenini temsil etmektedir (Grosse vd., 2015: 402).

Şekil 6'da, bu kısma kadar anlatılmış Jaber Glock öğrenme modeli dışındaki öğrenme modellerinin birbirleri ile zaman ve üretilen birim ekseninde oluşturulmuş grafikte bir performans karşılaştırması verilmiştir. Wright'ın öğrenme modeli yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bazı üreticilerin deneyimlerini daha iyi tanımlayan farklı model arayışlarına yönelmesi sonucunda ortaya çıkan öğrenme modelleri birbirlerinden farklılık göstermiştir. Şekilde Plateu modelinin kırılma noktasından sonra yatay eksene paralel şekilde ilerlediği görülmektedir. Plateu modeli bu durumu, denge durumuna ulaşılması halinde çalışanların kendilerini daha fazla geliştirememesi ve öğrenmenin sonlanması olarak açıklamaktadır. Plateu modelinden farklı olarak diğer modellerin zamanla tekrar sayısının artması durumunda işlem süresi sıfırlanacakmış gibi hareket ettiği görülmektedir.

Şekil 6: Wright'ın Öğrenme Eğrisi Modeli ve Varyasyonlarının Karşılaştırılması



Kaynak: Anzanello ve Fogliatto, 2011: 578

1.3.1.2. Üstel Öğrenme Eğrisi Modelleri

Üstel öğrenme eğrisi modelleri, çalışanların önceki deneyimleri gibi deneysel olarak gözlemlenebilen özelliklerini dikkate alarak, öğrenme süreci hakkında daha fazla bilgiyi barındırmak için log-linear modellerden daha fazla parametre içerirler. Bu parametreler, üstel modellerin log-linear modellere kıyasla üretim oranıyla ilgili daha kesin tahminler sağlayabilmektedir (Nembhard ve Uzumeri, 2000: 374). Üstel öğrenme eğrisi modellerinin, öğrenmenin sınırlı olduğu uzun üretim süreçlerinde verileri daha doğru tahmin etme yeteneğine sahip olduğu düşünülmüştür. Ancak üstel öğrenme eğrisi modelleri basit görevlere uygulanabilmesi açısından eleştirilmiştir (Srour vd. 2016: 3). Literatürde incelenen üç üstel öğrenme eğrisi modeli bulunmaktadır. Bunlar 2 parametrelili üstel öğrenme eğrisi, 3 parametrelili üstel öğrenme eğrisi ve sabit zaman modelleridir.

1.3.1.2.1. 2 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli (2PE)

2 Parametrelili üstel öğrenme eğrisi modeli, Mazur ve Hastie (1978) tarafından [1.9] numaralı denklemdeki gibi formüle edilmiştir (Mazur ve Hastie, 1978: 1256):

$$y = k. (1 - e^{-\left(\frac{t}{R}\right)}) \quad [1.9]$$

Denklemde;

y: Üretimin başlangıcından beri çalışanların performans göstergesi olarak üretilen birim sayısı ($y \geq 0$),

k: Çalışanın öğrenme sürecini tamamladıktan sonraki maksimum performans tahmini ($k \geq 0$),

R: Bireyin ne kadar hızlı öğrendiğini ölçen öğrenme hızı parametresini,

t: Üretimin başlangıcından itibaren geçen süreyi (veya eğitim sürecinde geçen süre) ifade etmektedir.

1.3.1.2.2. 3 Parametrelili Üstel Öğrenme Eğrisi Modeli (3PE)

3 Parametrelili üstel öğrenme eğrisi modelinde, çalışanların önceki deneyimlerini hesaba katan 2 parametrelili üstel öğrenme eğrisi modeline p parametresi dahil edilmiştir (Anzanello ve Fogliatto, 2011: 576). Modele p parametresinin eklenmesi, 2 parametrelili üstel öğrenme eğrisine kıyasla 3 parametrelili üstel öğrenme eğrisi modelinin performans verilerine daha iyi uyum sağladığını göstermiştir. 3 Parametrelili üstel öğrenme eğrisi modeli [1.10] numaralı denklem ile formüle edilmiştir (Grosse vd., 2015: 403):

$$y = k. (1 - e^{-\left(\frac{t+p}{R}\right)}) \quad [1.10]$$

[1.10] numaralı denklemde p parametresi çalışanların birim zaman cinsinden geçmişteki deneyimlerini ifade eder ($p \geq 0$). Mazur ve Hastie (1978), bu modelin karmaşık ve zorlu görevlere sahip çalışanlar tarafından karakterize edilen süreçlere uygun olmadığını ve çalışanların geçmiş deneyimlere sahip olmaları durumunda sürece uygun olduğunu belirtmişlerdir.

1.3.1.2.3. Sabit Zaman Modeli

Towill (1990) tarafından geliştirilmiş olan sabit zaman modeli, çalışanların performans verilerinin işe adapte oldukları zaman diliminden sonra alınması gerektiğini ifade etmektedir. Yapısal olarak 3 parametrelili üstel modelle benzerlik gösteren sabit zaman modeli, [1.11] numaralı denklem ile formüle edilmiştir (Towill, 1990: 27):

$$y = y_c + y_f(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad [1.11]$$

[1.11] numaralı denklemde y_c , birim zamanda üretilen ürün sayısı bakımından çalışanların başlangıç performansını ve y_f , aynı birimlerde çalışanların öğrenme süreci tamamlandığındaki maksimum performansını göstermektedir.

Naim ve Towill (1990), performanstaki döngüsel değişimlerin doğrulandığı durumları daha iyi açıklamak için modele trigonometrik fonksiyonları dahil etmişlerdir. Benzer şekilde, Howell (1990), modelin tahmin yeteneğinde hatalı parametre girdilerini değerlendirerek karmaşık modelleme durumlarında yakınsamayı sağlamak için yaklaşımlar önermiştir. Son olarak Dardan (2006), öğrenme süreci ve teknolojik yatırım süreci arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için bir donanım şirketinde sabit zaman modelini uygulamıştır.

1.3.1.3. Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modelleri

Hiperbolik öğrenme eğrisi modelleri, performans ölçümleri dahilinde öğrenmenin etkisini yakalayabilmek ya da öğrenme sonucunda kusurlu parçaların azaltılmasında kullanmak için tasarlanmışlardır (Wong vd., 2007: 476). Bu modeller basit görevlerin dışında yeni ve kompleks görevlerin gerçekleştirilmesinde de kullanılabilirler (Anzanello ve Fogliatto, 2011: 577). Ayrıca, uygun öğrenme oranlarıyla üretime uzun süreli bir ara verildikten sonra maliyetler tahmin edilebilir veya çalışanların yorulması durumunda performansları modellenabilir (Srouf vd., 2016: 3). Literatürde tartışılan iki popüler hiperbolik öğrenme eğrisi modeli vardır (Mazur ve Hastie, 1978: 1263). Bunlar, 2 ve 3 parametrelili hiperbolik öğrenme eğrisi modelleridir.

1.3.1.3.1. 2 Parametrel Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli (2PH)

2 Parametrel hiperbolik model [1.12] numaralı denklem ile formüle edilmiştir (Grosse vd., 2015: 403):

$$y = k \cdot \left(\frac{t}{t+r} \right) \quad [1.12]$$

[1.12] numaralı denklemde y, t zaman diliminde üretilen birim sayısını; k, maksimum performans düzeyini ve r, öğrenme oranını göstermektedir. Eşitlikteki parametreler, 2 parametrel üstel modele benzetmekle birlikte bu modelde t, istenen kalite düzeyinde yapılan üretim miktarını; r, istenilen kalite düzeyini sağlamayan üretim miktarını ve y, istenen kalite düzeyinde yapılan üretim oranını gösterecek şekilde yorumlanabilmektedir.

1.3.1.3.2. 3 Parametrel Hiperbolik Öğrenme Eğrisi Modeli (3PH)

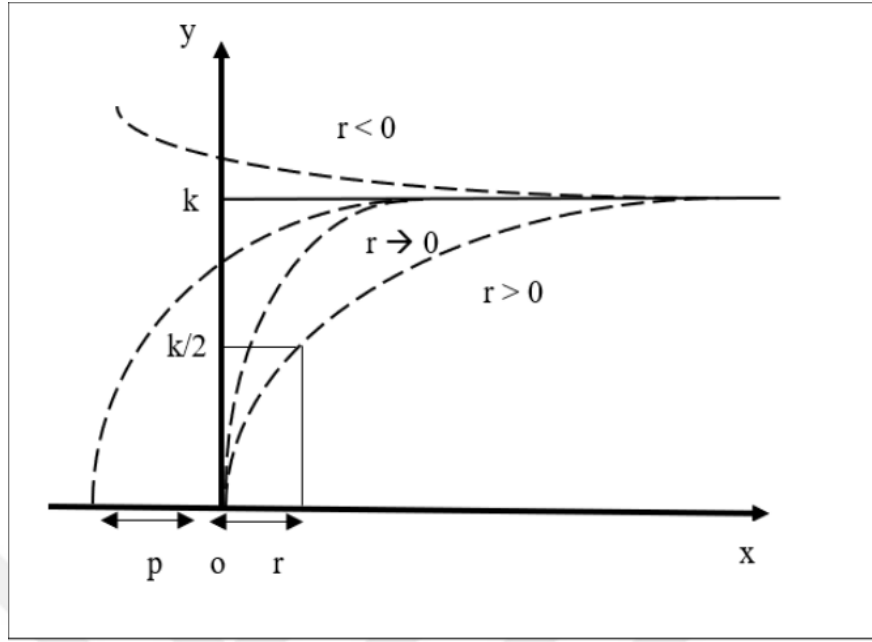
Mazur ve Hastie (1978), işçilerin çalışırken önceki deneyimlerinden faydalanmasını sağlayabilecek ve geçmişte aynı tekrarı kaç kez tekrarladığını modele dahil eden bir p parametresini 2 değişkenli hiperbolik modele eklemişlerdir. 3 Parametrel hiperbolik model [1.13] numaralı denklem ile formüle edilmiştir (Mazur ve Hastie, 1978: 1264):

$$y = k \cdot \left(\frac{t+p}{t+p+r} \right), \quad y, k, t, p > 0 \quad \text{ve} \quad p + r > 0 \quad [1.13]$$

Nembhard ve Uzumeri (1998) ve Nembhard ve Uzumeri (2000a), maksimum performans seviyesinin yarısı olan k/2 performans seviyesine ulaşmak için gerekli olan süre ile üretim seviyesini ilişkilendirerek r parametresinin tanımını genişletmişlerdir. Yüksek r değerleri, çalışanın maksimum performans seviyesi k'ya ulaşabilmesi için öğrenmenin yavaş olmasından dolayı daha çok pratik yapması gerektiğini gösterir. Başka bir deyişle, r değeri ne kadar küçük olursa öğrenme hızı o kadar yüksek olma eğilimindedir.

Şekilde 7'de r değeri, k/2 performans düzeyine ulaşmak için gereken tekrar sayısını gösterirken; p değeri, geçmişte yapılan tekrar sayısını göstermekle birlikte maksimum performans seviyesi k'ya ulaşılması için gerekli tekrar sayısını doğrudan etkilemektedir. Nembhard ve Uzumeri (1998) ve Nembhard ve Uzumeri (2000a), r'nin hiperbolik modelin şeklini belirleyecek nitelikte davrandığını ve bunun da üç farklı öğrenme profiline yol açtığını belirtmişlerdir:

Şekil 7: Parametrel Hiperbolik Öğrenme Eğrisi



Kaynak: Anzanello ve Fogliatto, 2011: 577

Şekilden de görüleceği üzere,

- i) ($r > 0$) olması durumunda eğri, çalışanın yeni görevler karşısında benzer davranışları sergileyene kadar artar ve maksimum performans seviyesi k 'ya kadar artan bir profil izlenir.
- ii) r değerinin 0 'a yaklaşması durumunda eğri, işçilerin gelişiminin olmadığı yatay bir durumu gösterir.
- iii) ($r < 0$) olması durumunda ise eğri, genellikle yorgunluk ve unutmayla ilişkili olarak azalan bir profil izlenir.

Hiperbolik öğrenme eğrisi modellerinin çalışma performansını gösteren r değeri her çalışan için ayrı ayrı hesaplanabileceği gibi, bütün bir grup bakımından bir ortalama değer de alınabilmektedir. Bir çalışanın r değeri hesaplanırken çalışanın daha önce hiç yapmadığı bir işe başlayacak şekilde bu çalışanın işi bilen bir çalışanı izlemesine izin verilmesi, çalışana iş ortamında doğrudan uygulamalar hakkında bilgi verilmesi ve ilk tekrardan istenilen performans düzeyi k 'ya ulaşmaya kadar performansının ölçülüp not edilmesi gerekmektedir. Bu sürecin tamamlanması, çalışanın istenen performans düzeyi k 'ya ulaşmak için kaç tekrar yapması gerektiğini belirleyecektir.

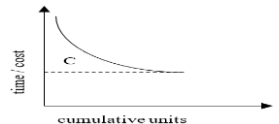
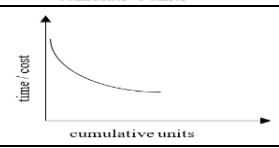
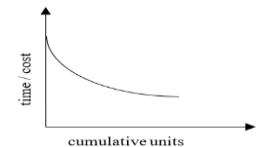
Mazur ve Hastie (1978), 3 parametrel hiperbolik ve üstel öğrenme eğrisi modellerini kapsamlı bir şekilde karşılaştırması sonucunda, p ve r parametrelerinin benzer değerler aldığını ve k parametresinin de üstel modelde daha küçük bir değer almasından dolayı göz ardı edildiği sonucuna

ulaşmışlardır. Bununla birlikte, 3 parametrelili hiperbolik modelin (R^2) determinasyon katsayısına dayalı olarak analiz edilen verilere daha uyumlu olduğu ifade edilmiştir. Nembhard ve Uzumeri (2000a) tarafından kullanılan 3 parametrelili hiperbolik model, verimlilik ve durağanlığı ele alarak negatif öğrenme (yani unutma) senaryolarını modelleme yeteneği açısından değerlendirmişlerdir.

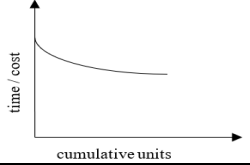
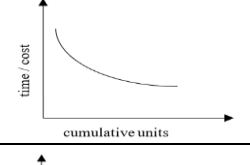
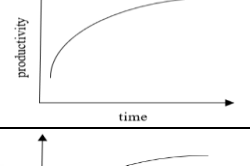
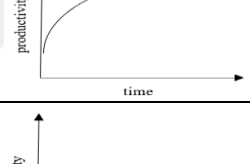
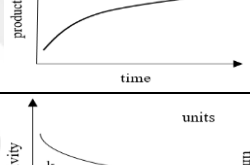
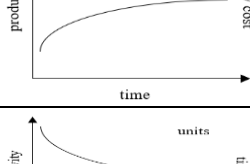
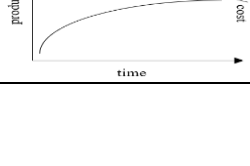
Nembhard ve Uzumeri (1998) ve Shafer (2001), işçilere verimli bir görev dağılımı sağlayarak üretim sistemlerini iyileştirmek amacıyla 3 parametrelili hiperbolik modeli yeni görevlere atanan bir işçi popülasyonundan alınan verilere uygulamışlardır. Hızlı öğrenen düşük r değerine sahip işçilerin yavaş öğrenen yüksek r değerine sahip işçilere kıyasla maksimum performans düzeyi k 'ya daha hızlı ulaşma eğiliminde olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu nedenle, hızlı öğrenen işçilerin kısa süreli görevlere tahsis edilmesi önerilirken, yavaş öğrenen işçilerin nihai performansları göz önüne alındığında uzun süreli görevlere atanması önerilmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda, Nembhard ve Osothsilp (2002) 3 parametrelili hiperbolik modeli görev karmaşıklığının işçilere görev dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirirken, Nembhard ve Uzumeri (2000a) ise farklı çalışan profillerini farklı görevler altında el becerisi kazanma açısından değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Anzanello ve Fogliatto (2007), öğrenme eğrisi entegrasyonu yoluyla bir üretim partisini tamamlamak amacıyla işçiler için gereken süreyi tahmin etmeye çalışmışlardır. Daha sonra bu işlem süreleri imalat süreçlerinde toplam gecikmeyi veya erken teslimatı en aza indirmeyi amaçlayan yeni çizelgeleme yöntemleriyle birleştirilerek bunu bir ayakkabı üretim sürecinde kümeleme performansını iyileştirmek için kullanmışlardır (Anzanello ve Fogliatto, 2011: 577).

Yukarıda açıklanmış olan modellerin bir karşılaştırması özet halinde Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2: Tek Değişkenli Öğrenme Eğrisi Modellerinin Karşılaştırılması

No	Öğrenme Eğrisi	Model	Öğrenmeyi Ölçme Biçimi	Öğrenme Eğrisinin Şekli
1	WLC	$y_x = y_1 * x^{-b}$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	
2	PM	$y_x = C + y_1 * x^{-b}$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	
3	SBM	$y_x = y_1 * (x + B)^{-b}$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	
4	DJM	$y_x = y_1 * (M + (1 - M) * x^{-b})$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	

Tablo 2: (Devamı)

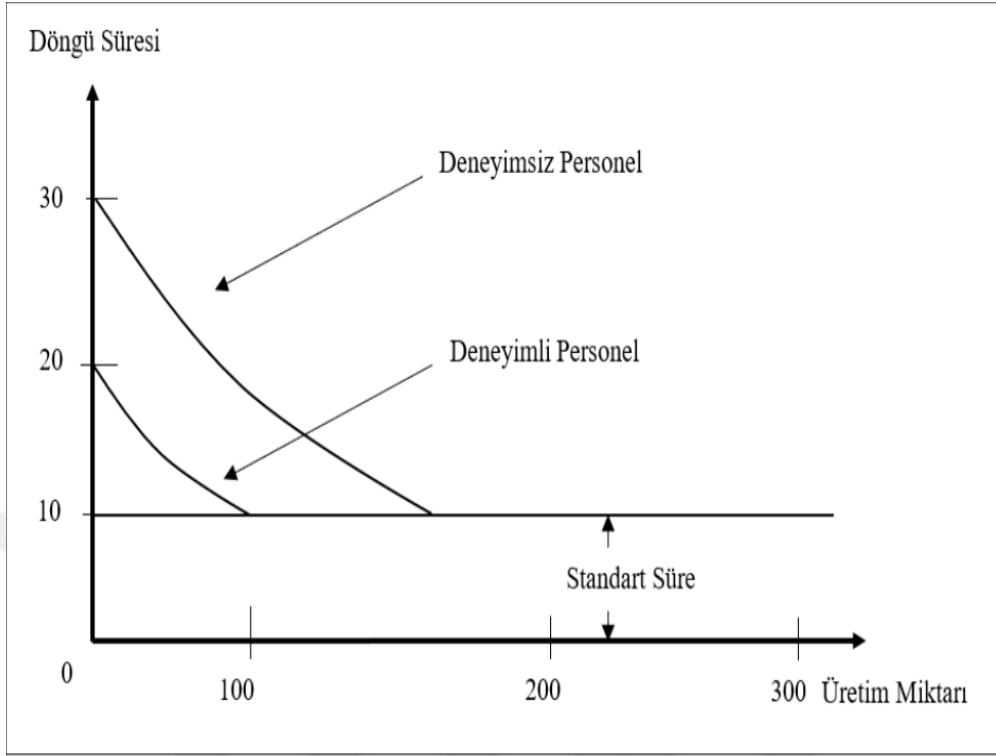
5	SCM	$y_x = y_1 * (M + (1 - M) * (x + B)^{-b})$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	
6	JGLCM	$y_x = p * y_1 * x^{-b_c} + (1 - p) * y_1 * x^{-b_m}$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma	
7	2PE	$y = k * (1 - e^{-(\frac{t}{R})})$	Çıktı ya da verimlilikteki artış	
8	3PE	$y = k * (1 - e^{-(\frac{t+p}{R})})$	Çıktı ya da verimlilikteki artış	
9	GLC	$Z(T) = \sum_{i=1}^n Y_i(T) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{i,j}(T)$	Çıktı ya da verimlilikteki artış	
10	2PH	$y = k * (\frac{t}{t + R})$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma ve çıktı ya da verimlilikteki artış	
11	3PH	$y = k * (\frac{t + p}{t + p + R})$	Üretim süresi ya da maliyetteki azalma ve çıktı ya da verimlilikteki artış	

Kaynak: Anzanello ve Fogliatto, 2011: 578

1.4. İşgücü Öğrenmesi ve İşgücü Standartları

Öğrenme eğrileri, işgücü standartlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan araçlardan bir tanesidir. Bir işi ilk kez gerçekleştiren yeni veya vasıfsız çalışanların genellikle bu işi kabul edilebilir bir zaman aralığında yapması beklenmez. Çalışanların hızlarını arttırmak için gerekli hareketlere aşinalık kazanılmasından belirli bir süre veya döngü sayısı tanımlanmalıdır. Öğrenme eğrileri ve çalışanların her döngü başına standart süreleri arasındaki ilişki Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, yapılan işte deneyim sahibi olmayan çalışanlara tanınan belirli bir standart süre sonunda çalışanlar, döngü sayısının artması sonucu o işte deneyim kazanarak daha önce ürettikleri miktarı daha kısa sürede üretmeye başlarlar.

Şekil 8: Öğrenme Eğrisi ve Her Döngü İçin Standart Süreler Arasındaki İlişki



Kaynak: Yelle, 1979: 307

Yöneticiler, bireysel öğrenme oranını arttırmak için işe alım sürecinde bilimsel test yöntemleri aracılığıyla uygun personeli seçmek, uygun teşvikler ve eğitim programları sağlamak, uygun koşullar altında işin uzmanlığını sürdürmeye çalışmaktadırlar.

Öğrenme eğrileri temelinde işe yeni alınan çalışanların işe uyum sağlama yeteneği önemli bir husustur. İşletmeler işe yeni alınan çalışanların başlangıçtaki yeteneklerini dikkate almalıdır. Genel olarak, çalışanlar ilgili alanlarda ne kadar uzun süre çalışırlarsa, o kadar fazla deneyime sahip olurlar ve öğrenme yetenekleri o kadar güçlü olur. İşe yeni alınan çalışanların çalışma ortamındaki daha eski çalışanlara daha hızlı entegre olabilmeleri ve eğitim maliyetlerini düşürebilmeleri birçok firmanın işe alımda üzerinde durduğu önemli bir konudur.

Çalışanları motive etmek için çalışanların performanslarına farklı ücret seviyeleri belirlemek önemlidir. Öğrenme eğrisi teorisi, çalışanların hangi ücret seviyelerinde çalışması gerektiği ve çalışanlar arasında hakkaniyetsiz bir ücret dağılımının olmaması konusunda etkili bir ücret belirleme aracıdır. Yapılan işin zorluk derecesi ve çalışanların öğrenme becerileri, ücretlerin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Çalışma şartları zor ve daha yoğun bir çalışma gerektiren işlerde, çalışanların güçlü bir öğrenme etkisiyle verimliliklerini arttırması durumunda daha yüksek ücret seviyelerinde çalışmaları beklenmektedir.

Çalışanların yaptıkları işte uzmanlaşması, öğrenme oranını arttırmaktadır. Uzmanlaşma hem bireysel hem de organizasyonel düzeyde kazanımlar sağlar. Saf uzmanlaşma durumunda, bireyler ve organizasyonlar tüm zamanlarını ve enerjilerini tek bir göreve odaklayabilirler. Organizasyonel düzeyde saf uzmanlaşmanın sağlandığı firmalarda öğrenme eğrilerinin daha dik bir eğime sahip olması beklenmektedir. Bazı çalışmalar uzmanlaşmanın verimliliği arttırdığını öne sürmekle birlikte çoğu zaman esneklik kaybı riskine de dikkat çekmektedirler (Schilling vd., 2003: 44).

Bazı çalışmalar, çalışanlar arasında görev değişikliğinin öğrenmeyi geliştirdiğini iddia ederler. Görev değişikliği, çalışanları görevlerin altında yatan kavramlar için daha olası ilişkiler düşünmeye sevk edebilir ve görevler ilişkili olduğu için, çalışanlar her iki tür göreve ait olan daha soyut ve karmaşık bir bilgi yapısı geliştirmeye çalışırlar. Özünde görev değişikliği, çalışanları zaman içinde bir tür görev gerçekleştirmiş olsalardı yapacaklarından daha etkin bir görev anlayışı geliştirmeye teşvik eder (Schilling vd., 2003: 45).

İşten ayrılma, grup ve organizasyonel performansı farklı koşullarda etkilemektedir. Eğer öğrenme öncelikle bireysel çalışanlarda görülürse, işten ayrılma, grup ve organizasyonel öğrenme ve performans üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Eğer öğrenme öncelikle sistemde gerçekleşmişse, işten ayrılma, grup ve organizasyonel performansı etkilememektedir. Üye değişikliğinin bir gruba mutlaka zarar verdiğini söylemek doğru değildir. Eğer yeni grup üyeleri, mevcut üyelere çok benziyorsa, grup daha önce üye değişikliği yaşamış ve yeni üyeler barındırıyorsa, yeni üyeler kendilerini gruba kolayca entegre edebilmişse ve belleklerinde benzer gruplara ait oturmuş eski bir deneyim yoksa üyelerin uyum sağlama olasılığı artar (Argote, 1993: 40).

İşçi değişimi, grup üyelerine belirli rollerin ve prosedürlerin verildiği yüksek yapıli gruplara göre, grup üyelerinin kendilerini istedikleri şekilde organize ettikleri düşük yapıli gruplara daha az zarar verir. İşten ayrılmanın organizasyonel performans üzerindeki olumsuz etkisinin düşük olmasının nedeni olarak, bir firmadan ayrılan önemli sayıdaki çalışanın vasıfsız veya kolayca değiştirilebilir olması ve ayrılan çalışanların performansının kalanların performansından önemli ölçüde kötü olması gösterilebilir. Bunun aksine vasıfli çalışanların işten ayrılması, verimlilik kazanımları üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Yetenekli bir grup üyesi, diğer üyeleri bir görev üzerinde çalışmaktan caydırabilir veya çok sosyal bir üye diğer üyeleri bu alanda etkileyebilir. Bu nedenle farklı grup üyelerinin birbirleri üzerinde farklı etkileri vardır. Bu farklı etkilerin, sosyal entegrasyonun yüksek olduğu gruplarda, entegrasyonun düşük olduğu gruplara göre daha yaygın olduğu varsayılmaktadır. Bir diğer sorun da grubun veya organizasyonel öğrenme eğrilerinin, sistemin organizasyon dışındaki çevredeki gelişmeleri benimsemesiyle açıklanıp açıklanmayacağıdır. Diğer grupların veya organizasyonların deneyimlerinden öğrenmek, önemli bir organizasyonel öğrenme yöntemidir. Gruplar ve organizasyonlar arasındaki bilgi aktarımı personel hareketleri, toplantılara ve ticari birliklere katılım,

belgeler, eğitim, diğer organizasyonlardaki bireylerle iletişim, gözlem ve birbirine bağlı yönetim kurulları aracılığıyla gerçekleşir (Argote, 1993: 41). Ancak organizasyonlar arasında bilgi aktarımı zor bir süreçtir. Organizasyonlar, deneyim kazandıkça belirli yöneticilerin güçlü ve zayıf yönleri hakkında bilgi sahibi olarak yöneticileri uygun işlerle eşleştirmeye çalışarak organizasyonun daha verimli hale gelmesini sağlar. Yöneticiler hakkında edinilen bu bilgi, belirli bir sisteme özgü olabilir ve bu nedenle diğer gruplara veya organizasyonlara aktarılması zor veya onlar için yararlı olmayabilir. Bunun yanı sıra yaparak öğrenme yoluyla edinilen bilgi açıkça ortaya konmamışsa, organizasyonlar arasında aktarılması zor olacaktır.

Öğrenme eğrileri kullanılarak işgücü standartlarının belirlenmesinde ortaya çıkan sorunlardan bir tanesi çalışanların eski becerileridir. Çalışanların daha önceki işlerinde çalışarak elde ettiği beceriler, standart prosedürlerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü diğer işlerde belirli bir hıza ulaşan çalışanlar, standart süreye ulaşmak için daha az döngü gerçekleştireceklerdir. De Jong (1957), önceki deneyimlerden kaynaklanan eski becerilerin var olduğunu göz önüne alarak, zaman çalışmaları yaparken döngü süresindeki düşüşü tahmin etmek için formüller geliştirmiştir.

1.5. Birey ve Makinelerden Organizasyonel Öğrenme Eğrilerine Geçiş

Öğrenme eğrilerinin ilk olarak, Wright (1936)'ın uçak inşa etmek için çok sayıda parçayı bir araya getirirken kümülatif üretim ve işgücü maliyetleri arasında kurduğu ilişkiyle havacılık endüstrisinde görüldüğü bilinmektedir. Organizasyonel öğrenme eğrilerinin eğiminin, organizasyonel öğrenmenin önemli olduğu montaj işlemlerinde, bireysel öğrenmenin önemli bir yere sahip olduğu makine işlemlerinden belirgin olarak daha fazla olduğu görülmüştür (Hirsch, 1952: 155). Bu durumun büyük insan ve makine gruplarının koordinasyonlarından kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür. Bu bakış açısına göre organizasyonel öğrenme eğrileri, tekrarlayan ancak esnek işlem kalıplarına sahip rutinlerin ortaya çıkmasına yol açan davranış kalıplarının dağıtılmış bir gelişimini yansıtır (Levitt ve March, 1988: 320; Pentland, 1992: 545; Pentland ve Rueter, 1994: 486).

Rutinler, hem yapılandırılmış çevrelerde hem de resmi olmayan uygulama topluluklarında başarılı koordinasyon şemalarının tekrarıyla kendiliğinden ortaya çıkar. Gelişimleri sırasında, gerekli işin daha önce tamamlandığını ifade eden sıralı işlemler geliştirilir. Rutinlerin yok edilmesi halinde öğrenme eğrileri elde edilemez. Örneğin, herhangi bir nedenden dolayı üretim bir süre askıya alınıp daha sonra yeniden başlatılırsa, üretim süresinin genellikle kesinti öncesine göre daha uzun olduğu bilinmektedir (Baloff, 1970: 140). Rutinlerin oluşumunda iki husus ayırt edici olabilir:

- i) Verilen işlem dizileri, bir dizi organizasyon birimine yönlendirilebilir.
- ii) Bir işlem dizisi, bir dizi organizasyon birimine yönlendirilirken aynı zamanda uygulanabilir sıralar halinde düzenlenmelidir.

Yönlendirme sorunları (i), müşteriler, yöneticiler veya diğer birimlerin bir organizasyonun belirli bir işlem dizisini gerçekleştirmesi gerektiğinde ortaya çıkar. Sıralama problemleri (ii) ise müşteriler, yöneticiler veya diğer birimlerin bir organizasyonun hangi sırada olursa olsun belirli bir işlem dizisini gerçekleştirmesi gerektiğinde ortaya çıkar. Sıralamanın yönlendirmeyi içermesinden dolayı her işlem yalnızca bir organizasyon birimi tarafından yürütülmediği sürece net bir şekilde incelenemez. Gerçeklik sorunu, yönlendirme ve sıralama problemlerinin bir karışımından oluşmasından dolayı, ekstrem durumların özelliklerini incelemek işin gerçekliğini anlamak konusunda faydalı olacaktır.

Organizasyonel öğrenmenin rutinlerin oluşumuna dayandığı fikrinden hareketle, öğrenme eğrilerinin oluşabilmesi siparişlerin rastgele üretilmesine ve öğrenme eğrilerinin etkili olabilmesi de organizasyonel birimlerin yeterince fazla olmasına bağlı olacaktır. Ayrıca öğrenme eğrilerinin ayarlanabilmesi için yapılacak yeterli miktarda eylem ve rutinlerin oluşumunun sağlanmasında yeterince esnekliğin olması gerekir. Bu bulgular organizasyonel öğrenmenin gerçekleşmesi için ortak bir ilke çiftine işaret etmektedir: (i) yeni rutinler oluşturmak için yeterli sayıda yeni olasılık vardır ve (ii) organizasyonel birimler yeni rutinler uygulamak için yeterli sayıda ve esnektir. (i) maddesi, teknik yeniliklerle ilişkilendirilirken aynı zamanda organizasyonel birimler daha iyi rutinler geliştirmeye çalışırlar (Baloff, 1966: 276). İnovasyonun olmadığı durumlarda, sürekli teşvik ve yenilikler olmadan öğrenme eğrisi bir düzlüğe ulaşır (Hirschmann, 1964: 128; Levy, 1965: 142; Baloff ve McKersie, 1966: 478; Adler ve Clark, 1991: 279). (ii) maddesi, endüstriyel tesisler arasında öğrenme eğrilerinin en çok montaj işlemlerinde kullanılmasıyla örneklendirilebilir (Hirsch, 1952: 144). Montaj işlemleri, rutinlerin ortaya çıkması ve değiştirilmesini kolaylaştıran bir durum olan çoklu durumlarda (formatlarda) birbirleriyle etkileşime girecek kadar esnek olması gereken çok sayıda birim gerektirir.

Organizasyonel öğrenme eğrilerine yol açan tüm faktörleri birleştirmek ve sonuçlarını matematiksel şekillendirmeye uygun modellerin yardımıyla araştırmak gerekir ve bu ancak sayısal simülasyonlarla mümkündür. Nümerik simülasyonlardan türetilen kavramların gerçek vakalara uygulanması bazı sorunlar ortaya çıkarır. Çünkü organizasyonel birimler genel olarak sadece makineler değil aynı zamanda insan ve makinelerin birleşiminden oluşur. Makinelerin özellikleri kolaylıkla ölçülebilirken, insanların özelliklerini ölçmek zordur. Öğrenme eğrilerinin eğiminin aynı firmanın özdeş firmaları arasında farklılık gösterebileceği gerçeğinin gösterdiği gibi, insanlar öğrenme eğrileri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Billon, 1966: 78; Yelle, 1979: 309; Dutton ve Thomas, 1984: 241-243). Bu bilgiler ışığında öğrenme eğrilerinin ne ölçüde yönetilebileceği ve tahmin edilebileceği konusunda bazı sınırların olduğu söylenebilir.

1.5.1. Organizasyonel Öğrenme ve İşgücü Öğrenmesinin İlişkilendirilmesi

Öğrenme eğrileri, firma içerisindeki tüm kaynaklardan sağlanan öğrenmeyi içerdiği için toplu bir model olarak düşünülmelidir. Makro temelde öğrenme eğrileri hem bireysel öğrenmeyi hem de grup veya organizasyonel öğrenmeyi temsil etmek için kullanılabilen toplu bir modeldir (Schilling, 2003: 41).

Organizasyonları oluşturan bireylerin daha önce yapılan iş konusunda deneyim sahibi olup olmaması organizasyonların öğrenmesini farklı şekillerde etkileyebilmektedir. Daha önce deneyim sahibi olan bireylerden oluşan organizasyonların öğrenmesi öncesinde deneyim sahibi olmayan bireylerden oluşan organizasyonların öğrenmesinden daha hızlı olabiliyorken tam tersi bir durum da söz konusu olabilmektedir. Burada organizasyonlar içinde deneyimli bireylerin deneyimlerini çalışma arkadaşlarına aktarmak isteyip istemeyeceği etkilidir. Aktarılan bilgi, bilgi içeriği aktarımı ve öğrenme süreci aktarımı (öğrenmeyi öğrenme) olarak ifade edilebilmektedir. Öğrenme sürecinde bireylerin belirli türdeki bilgileri nasıl özümseyecekleri veya işleyecekleri konusunda önceki deneyimlerini yeni problem setine aktarmaları durumunda zamanla öğrenme hızı artmaktadır (Schilling vd., 2003: 44). Bunun yanı sıra organizasyonların birbirleriyle rekabet etmesi ve bilgiyi aktarmak istememesi durumlarında, organizasyonların öğrenme hızı azalabilmektedir. Yine de kısıtlamaların olmadığı veya organizasyonlar arasında bilgi transferini teşvik etmek amacıyla girişimlerin yapıldığı durumlarda bilgi transferinin sağlanmaması ve öğrenme hızının düşük olmasına da rastlanabilmektedir. (Argote, 1993: 42).

Zaman içerisinde organizasyonları oluşturan bireylerin, bireysel olarak elde edemeyip grup içerisinde çalışarak deneyim kazandıkça elde ettikleri grup kültürü, yapısı ve normları hakkındaki bilgiler öğrenmeyi hızlandırmaktadır. Ayrıca organizasyon içerisinde deneyimleyerek kimin hangi görev için daha uygun olduğu konusunda bilgi sahibi olunur. Son olarak bireyler organizasyon içerisinde iş hakkında, grubun ne tür işler yaptığı ve nasıl yapması gerektiği konusunda bilgi sahibi olurlar. Böylece, bireyler deneyim kazandıkça, yalnızca belirli görevleri hakkında bilgi edinmekle kalmaz, aynı zamanda daha etkin bir şekilde performans göstermelerini sağlayan sosyal sistem hakkında da bilgi edinirler (Argote, 1993: 46).

Bireysel öğrenmeden organizasyonel öğrenme hakkında çıkarımlarda bulunmanın zorluklarından biri, çalışanların işe girip çıkmasıdır. Eğer organizasyon içerisinde çalışanları en uygun göreve yeniden tahsis etmek için bireysel öğrenme oranlarında farklılıklar kullanılabiliyorsa, bireysel öğrenmenin organizasyonun nihai verimliliğine dönüştürülmesi kolaylaşır. Organizasyon, öğrenemeyen işçileri işten çıkardığı ve henüz öğrenme yeteneklerini göstermemiş olan çalışanları işe aldığı durumlarda, öğrenme düzeyinde azalmalar gözlemlenebilmekte ve bu durum organizasyonun verimliliğine yansıtılabilmektedir.

Üretimde maliyetlerin azalmasının bir nedeni olarak gösterilen planlama süresi, organizasyonel öğrenmeyle bağlantılı olması açısından önemlidir. Yönetimsel planlamanın kalitesi, öğrenme eğrilerinin eğimine yansıtılmakla beraber işin düzgün planlanması, düşük başlangıç birim maliyetlerine yol açarak ilk öğrenme aşamasında daha düz bir öğrenme eğrisinin oluşmasını sağlar (Wyer, 1953: 502). Bunun yanı sıra üretilecek olan ürünlerin miktarı ile yönetimin üretim öncesi planlama aşamasına dahil etmek istediği çaba miktarı arasında doğrudan bir ilişki vardır ve üretim miktarı ne kadar büyük olursa, organizasyonel çaba o kadar büyük olur ve ilk öğrenme döneminde öğrenme eğrisi o kadar düz olur (Lundberg, 1956: 49).

1.5.2. Öğrenme Eğrilerinin Kullanım Alanları

Öğrenme eğrilerinin ilk olarak Wright tarafından havacılık alanında kullanılmasından sonra, farklı alanlarda da kullanılabilirliğini göstermek için değişik işlevlerde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar öğrenme eğrilerinin sağlık, gıda, elektrik-elektronik, makine, tarım, hizmet ve imalat gibi alanlarda da kullanılabileceğini göstermiştir. Örneğin Hirsch (1952), öğrenme eğrilerini kullanarak yapılan tahminlerin firma ve ulusal düzeyde birçok amaç için kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Üretim işlemleri yönetimi bağlamında yapılan çalışmalarda öğrenme, bir operasyonun işlemlerin tekrarından elde edilen verimliliği ifade etmiştir. Daha sonra bu bilgiyi destekler nitelikte insan performansının işlemlerin sık sık tekrarlanmasıyla artacağına dair birçok çalışma yapılmıştır (Conley, 1970: 63; Yelle, 1979: 308). Öğrenme eğrisi etkisi nedeniyle işlemlerin sık sık tekrar edilmesiyle işlem süresinin azalması, üretim maliyetlerinin düşmesi ve çalışanların performanslarının artması mümkün olabilmektedir. Ayrıca öğrenme eğrileri üretim hedeflerinin belirlenmesi, elde edilen ilerlemenin takip edilmesi, kaynakların optimal kullanılması ve verimliliğin artırılması için gereklidir (Knecht, 1974: 487).

Öğrenme eğrilerinin birçok kullanım alanı vardır. Bunlar (Jaber, 2011: 361):

- i. İşgücü ihtiyaçlarının planlanmasında ve maliyetlerin azaltılmasında,
- ii. Çalışma standartlarının oluşturulmasında,
- iii. Fiyatların tespitinde,
- iv. Bir firmanın satın alma ve üretme kararlarının analiz edilmesinde,
- v. Optimal parti büyüklüğünün belirlenmesinde,
- vi. Üretim ölçeği ve teknoloji değişiminde,
- vii. Teşvik ücretlerinin değerlendirilmesinde,
- viii. İşletmelerde kazançların hesaplanmasında,
- ix. Kalitenin artırılmasında,
- x. Organizasyonel verimliliğin gözden geçirilmesinde,

- xi. Satış indirimi kararlarında,
- xii. Çalışanların eğitim ihtiyaçlarının değerlendirilmesinde,
- xiii. Gelecekteki üretim birimi maliyetlerinin tahmin edilmesinde,
- xiv. Üretim teslimat programlarının oluşturulmasında,
- xv. İş tasarımı stratejilerinin geliştirilmesi şeklindedir.

Öğrenme eğrisi modellerinin kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Geleneksel öğrenme eğrileri, öğrenme etkisine bağlı olarak birim başına kümülatif ortalama üretim maliyeti ve kümülatif üretim hacmi arasındaki ilişkiyi ifade ederken, öğrenme eğrilerinin daha sonra yapılan uygulamaları geleneksel verimlilik analizinin ötesinde kullanımlara sahiptir. Örneğin zaman içerisinde öğrenme eğrileri bir üretim döngüsü içerisinde tekrarlanan görevlerin ele alınmasıyla bir zaman tahmin aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Geleneksel öğrenme eğrilerinden farklı olarak çok değişkenli öğrenme eğrileri, öğrenme üzerinde birçok değişkenin etkisini dikkate aldığından, maliyet analizlerinin yanısıra üretim işlemleri için daha kapsamlı bir öğrenme eğrisi analizi sağlar. Çok değişkenli öğrenme eğrilerinin sağladığı bu geniş kapsamlı değerlendirme, verimlilik analizlerinde de kullanılabilir. Çok değişkenli öğrenme eğrisi analizleri maliyet tahmini ve verimlilik analizleri dışında imalat analizlerinde, başa baş noktası analizlerinde, bir firmanın üretim veya satın alma kararlarının oluşturulmasında, üretim planlamasında, ürün montajında, bütçelemeye, kaynak tahsisinde, işgücü tahmini ve maliyet optimizasyonu gibi birçok amaç için kullanılabilir.

1.6. Öğrenme Eğrilerinin Etkileri

1.6.1. Öğrenme Eğrilerinin Yönetim Kontrolü Üzerindeki Etkileri

Bir yönetim kontrol sistemi, bir firmanın faaliyetlerini izleyen iç içe geçmiş faaliyetler ve dengeler sistemi olarak düşünülebilir. Yönetim kontrol sisteminin temel amacı, yönetimin firmanın performansını çeşitli düzeylerde değerlendirmesine yardımcı olmak ve düzeltilmesi gereken noktaları tespit etmektir. Bu doğrultuda öğrenme eğrileri, yönetim kontrol sürecinde planlama ve hedef belirleme amaçları için kullanılan bir araç olması açısından önemlidir.

Öğrenme eğrilerinin önemli bir yönetim aracı olarak kabul edilmesinin arkasında var olan faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Billon, 1966: 65):

- 1) Öğrenme eğrileri, üretim analizini değişen koşullar altında geliştirir.
- 2) Üretim ihtiyaçlarının tahmin edilmesine yönelik bu dinamik yaklaşım, ürün değişiminin hızlı olduğu durumlarda güvenilir olmayan yöntemlerle yapılan analizlere karşı alternatif bir seçenek sunar.

- 3) İlerleme oranının özellikle önemli olduğu durumlarda hedeflerin belirlenmesi ve örgütsel başarının değerlendirilmesi için objektif bir yöntem sağlar.
- 4) Pahalı ve zaman alan geleneksel yöntemlere kıyasla tahmin yapmayı kolaylaştırır.

Öğrenme eğrilerinin firmaların bütçe planlarına dahil edilmesiyle yönetsel planlamanın ve işletme maliyetlerinin kontrol edilmesinin daha kolay olması hedeflenmiştir. Bu amaçla performans ölçümünde bir öğrenme eğrisi değişkeninin modele dahil edilmesi önerilmiştir. Bir firmanın bütçeleme amacıyla yıl boyunca beklenen ortalama standart maliyetini tahmin etmeye çalışması durumunda modele dahil edilen öğrenme değişkeni fiili maliyetlerin standart maliyetlerden daha yüksek olduğu durumları belirlemeye yardımcı olacaktır.

Öğrenme eğrileri, firmaların bütçeleme ve başa baş analizlerinde de kullanılabilir. Öğrenme gerçekleştikçe birim başına düşen döngü sürelerinin azalması, hem birim başına doğrudan işçilik maliyetlerini hem de değişken maliyetleri (satış komisyonları, hammadde masrafları, kullanım masrafları vb.) düşürecektir. Öğrenme eğrilerinin birim başına değişken maliyetlerle daha yakın ilişkiler kurulabilmesi için geleneksel başa baş analizleriyle birlikte kullanılmalıdır (Brenneck, 1959: 34). Bunun nedeni olarak birim başına değişken maliyetin öğrenme var olduğu sürece üretilen miktarla değişmesine rağmen, başa baş analizinin birim değişken maliyetin sabit olduğunu varsayması gösterilebilir.

Öğrenme eğrilerinin işgücü planlaması üzerinde de etkisi büyüktür. Öğrenme eğrilerinin daha iyi anlaşılması, işgücü ihtiyaçlarının daha doğru bir şekilde belirlenmesini mümkün kılar. Bir firmada her birime ait farklı öğrenme eğrileri olmasından dolayı ortaya çıkabilecek dengesizlikleri önlemek amacıyla farklı birimlerdeki işgücünün planlanmasında öğrenme eğrileri kullanılmıştır (Cochran, 1969: 39).

Herhangi bir yönetim kontrol sisteminin temel bileşenlerinden birisi, kilit çalışanlar üzerindeki davranışsal etkidir. Hedef belirleme iş dünyasında önemli bir bileşen olduğu için yönetim arzu edilen gelişmeyi önceden tahmin etmek ister. Ancak Hirschmann'ın (1964) öne sürdüğü “tavan psikolojisi”ne göre hedef, öğrenme eğrileri tarafından belirlenir ve yönetim bu hedefe ulaşmaya çaba gösterir. Hedefe ulaşıldığında, çoğu zaman yönetim maliyetlerini daha da aşağıya çekmeye gayret göstermez. Bu durum yönetimin kendisi için belirlediği hedefe ulaşmasıyla iyileştirme motivasyonunun ortadan kalkmasından kaynaklanır. Başka bir deyişle, öğrenme eğrileri kullanılarak belirlenen hedef, kendi kendini geliştiren bir döngü halini alır.

1.6.2. Öğrenme Eğrilerinin Maliyetlerin Azaltılması Üzerindeki Etkileri

Çalışanların işi sürekli tekrar etmesiyle ortaya çıkan öğrenme olgusunun maliyetler üzerindeki azaltıcı etkisi, pozitif ölçek ekonomilerinde görülen maliyet azalmasından farklı olarak hem piyasa

döneminde (çok kısa dönem) hem de kısa dönem koşulları altında da görülmektedir. Pozitif ölçek ekonomileri, sermaye ve teknolojinin değiştirilebilir olduğu uzun dönem koşulları altında ortaya çıkarak işgücü maliyetlerini azaltırken, öğrenmenin işgücü maliyetlerini azaltıcı etkisi, faktör miktarının sabit kabul edildiği piyasa döneminde, sermaye ve teknolojinin veri kabul edilip emek miktarının değiştirilebilir olduğu kısa dönemde ve tüm faktörlerin değiştirilebilir olduğu uzun dönemde görülmektedir.

İktisat teorisinde uzun dönemde büyük hacimli üretim yapmanın ortalama maliyetleri azaltıcı etkisi pozitif ölçek ekonomileri ile açıklanabilirken, kısa dönemde bu durum toplam ürünün önce artan sonra azalan oranlarda artmasından dolayı “azalan verimler yasasıyla” açıklanabilmektedir. Ölçek büyütmenin mümkün olduğu uzun dönemde uzmanlaşma ve iş bölümünün artması işgücü verimliliğini artırarak maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır. Bu durumda pozitif ölçek ekonomileri, çalışanların kendilerine verilen işi daha kısa sürede yapabilmek için işi öğrenerek daha kısa sürede işi bitirmesi sonucu maliyetlerde görülen azalmayı ifade eden öğrenme eğrileriyle ilişkilendirilebilirler (Aydın ve Aksoy, 2014: 14).

Günümüzde firmaların çoğunun satışlarının büyük bir kısmını yeni ürünlerden elde ettiği bilinmektedir. Yeni ürünleri fiyatlandırma stratejisi özellikle öğrenme etkisinin en belirgin olduğu yeni bir ürünün tanıtım aşamasında önemlidir. Öğrenme eğrisi etkisi, yeni bir ürünün tanıtıldığı dönemde üretim maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Maliyetlerin azalmasıyla satış fiyatları bir miktar düşerken, bu durum hem kârı hem de talebi arttırmak suretiyle etkilemektedir.

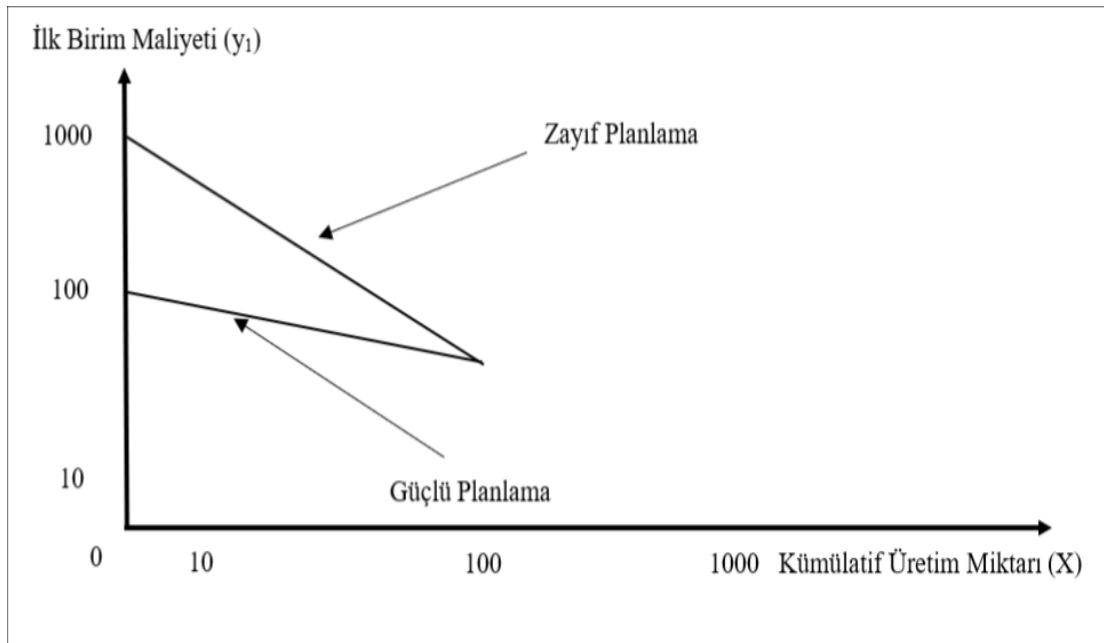
Üretim sürecinde öğrenmenin maliyetler üzerindeki etkisi çalışanlar üzerinden ifade edilebilir. Üretilen ürün sayısı arttıkça, çalışanlar uzun dönemli üretim faaliyetlerinde teknolojik bilgi ve üretim deneyimini öğrenmeye ve biriktirmeye devam ederler. Ayrıca çalışanlar çalışma becerilerini geliştirir, işi daha kısa sürede yapabilecek daha fazla beceri kazanır ve böylece verimlilik büyük ölçüde artarak çalışma saatleri kısılır. Bu durum neticesinde üretim maliyetleri etkin bir şekilde azaltılabilir.

Bazı firmaların neden rakiplerinden daha hızlı öğrendiği sorusu ürün kalitesiyle ilişkilendirilebilir. Ürün kalitesi ve öğrenme arasındaki bağlantıyı ilk olarak Levy (1965) tespit etmiştir. Kalite ile ilgili faaliyetler, üretim sürecindeki verimsizliklerin keşfedilmesini sağlayarak öğrenme için bir fırsat yaratmaktadır. Öğrenmenin çalışan performansını arttırmasıyla ürün kalitesi de artmaktadır. Ürün kalitesinin artması, çalışanların öğrenme yoluyla verimliliklerinin artması şeklinde oluşuyorsa maliyetleri azaltıcı yönde etki ettiği söylenebilir (Schilling vd., 2003: 41).

Firmaların maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olmak için tasarlanan maliyet azaltma programları, üretim öncesi planlama dönemi ve ürünün yeniden tasarlanma dönemi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Hirsch, 1952: 143). Ürünün yeniden tasarlanması aşamasında önemli bir

organizasyonel planlama, öğrenme eğrilerini başlangıç aşamasında düzleştirir. Bu durum, bir firmanın bir ürünü üretmeden önce ne kadar çok planlama yaparsa, öğrenme eğrisi modelindeki ilk birimi üretme maliyeti y_1 parametresinin değerinin o kadar düşük olması şeklinde yorumlanabilir. Şekil 9’da görüldüğü gibi, ürün maliyeti öğrenme eğrisini takip etmiş olsa da başlangıç aşamasında yapılan organizasyonel bir planlama başlangıç maliyetini önemli ölçüde azaltmıştır. Şekilde 9’da güçlü planlama ve zayıf planlama arasındaki alan, planlama nedeniyle olası maliyet düşüşünü göstermektedir.

Şekil 9: Organizasyonel Planlamanın Öğrenme Eğrisinde Üretimin Başlangıç Aşamasına Etkisi



Kaynak: Yelle, 1979: 314

Bir ürünün daha düşük maliyetle yeniden tasarlanması için gereken ürün teknolojisinin ve firmanın mühendislik becerilerinin değerlendirilmesinde öğrenme eğrilerinden yardım alınır (Bruns, 1970: 115).

1.6.3. Öğrenme Eğrilerinin Satın Alma Kararlarına Etkileri

Günlük olarak ticari firmalar tarafından ele alınan satın alma ve pazarlama aşamasındaki fiyatlandırma (bidding) süreçlerinde öğrenme eğrileri önemli bir araç olarak kullanılabilir. Öğrenme eğrilerinin potansiyel katkısı, bir firmanın kendi ürünlerinin yanı sıra tedarikçilerinin ürünleri üzerinde öğrenmeyi değerlendirebilmesi gerçeğinde yatmaktadır.

Fiyat verme sürecinde öğrenme eğrilerinin önemi, bir firmanın tüm sipariş üzerinden maliyetlerini planlamasına ve buna göre teklif vermesine bağlıdır. Eğer fiyatlandırma gelecekteki bir teslimat içinse, firmanın mevcut maliyetleri fiyat verme amaçlarıyla ilgili olmayabilir. Eğer fiyatlandırma anında teslimat içinse, bu ürünleri üretmek için gerekli olan sürede gerçekleşen öğrenme tamamen fiyat verme amaçlarıyla ilgilidir (Boren, 1964: 22).

Öğrenme eğrileri, tedarikçilerden alınan tekliflerin değerlendirilmesinde de yardımcı olabilir. Çoğu teklif, daha büyük miktarlarda malzeme satın alabilmek için miktar indirimleri içerir. Tedarikçilerin tekliflerinin değerlendirilmesinde ürün başına belirlenen fiyat ve hacim değişkenlerinin yardımıyla çizilebilecek bir öğrenme eğrisinin düz bir çizgi şeklinde olması beklenir. Öğrenme eğrisi düz bir çizgi şeklinde değilse, bu durum satıcının muhtemelen her durumda öğrenmeye göre teklif vermediği anlamına gelir. Çizginin dışında görülen bu teklifler, satın alma kararları verilmeden önce tedarikçilerle tekrar görüşülmelidir (Rice, 1970: 49). Özetle; satın alma kararlarında öğrenme etkisinden yararlanılması, büyük üretim miktarlarının fiyatlandırmasında kolaylık sağlayarak tedarikçilerin daha düşük fiyatlardan ürünü temin etmelerini sağlayacaktır.

1.6.4. Öğrenme Eğrilerinin Parametre Tahminleri Üzerine Etkileri

Parametre tahmini, üreticilerin faaliyetlerini daha dikkatli bir şekilde planlamasına yardımcı olması açısından önemlidir. Öğrenme eğrilerinin parametrelerini etkileyen faktörleri ilk araştıran kişi olan Alchian (1950), savaş döneminde uçak gövdesi verilerini kullanarak geleceği tahmin etmek için tek bir üretim tesisinin geçmiş performansına öğrenme eğrilerini uygulamanın önemli bir hata payıyla sonuçlanacağına ulaşmıştır. Bu çalışma, uçak gövdesi üreticilerinin %80'lik bir öğrenme eğrisi varsayımıyla çalışması ve bu varsayımın hata payını ve uçak gövdesi türleri arasındaki farklılıkları dikkate almaması açısından önemlidir.

Daha sonra yapılan çalışmalarda öğrenme eğrilerinin eğimlerine, farklı imalat türleri arasındaki ilerleme oranlarına ve farklı ürünlerin ilk birim maliyetleri ve eğimleri arasında nedensel bir ilişkinin olup olmadığına odaklanılmıştır (Hirsch, 1952: 154; Cole, 1958: 177).

1.6.5. Öğrenme Eğrileri ve Teşvik Sorunu

Öğrenmenin teşvik sistemi üzerindeki etkisi büyüktür. Teşvik sistemi dahilinde yüksek ücretler kazanmaya alışmış çalışanlar doğal olarak fabrika içerisinde başka bir işe transfer edilmek istemezler. Bunun nedeni, yeni işte öğrenme dönemi boyunca teşvik ücretlerinde meydana gelecek olası düşüştür.

Janzen (1966), teşvike dayalı olarak gerçekleştirilen aynı tipte başka bir işe geçildiğinde deneyimli bir çalışanın ücret düşüşünü telafi edebileceği nicel bir yöntem geliştirmiştir. Bunun

yanında Turban (1968), öğrenme eğrilerine uygun olarak geçici zaman standartları belirleyerek teşviğe dayalı ücret kayıpları sorununun ele alınmasını önermiştir. Daha sonra öğrenme döneminde verilen bir teşviğin çalışanın daha hızlı öğrenmesine yol açarak öğrenme süresini kısalttığı ileri sürülmüştür.

Değişken zaman standartlarının kullanılması, ücret teşvik sisteminin ihtiyaçlarını daha fazla giderebilmektedir (Broadstone, 1968: 15). Ancak üretimde ekip çalışması söz konusu olduğunda standart belirleme süresinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Zaman içerisinde ekibin bir üyesinin başka bir işe nakledilmesiyle ekipten ayrılması ekibe yeni deneyimsiz bir çalışanın dahil edilmesiyle sonuçlanabilir. Bu durumda yeni çalışanın deneyimsizliği nedeniyle öğrenirken tüm ekibin çıktısını azaltması ekip üyeleri arasında sorun çıkmasına neden olacaktır. Böyle bir durumda ekibin diğer üyelerinin maaşlarında kesinti yapmak zorunda kalmamak için yeni çalışanın öğrenme aşamasını daha kolay bir şekilde atlatabilmesinde bazı yöntemler önerilmiştir (Barron, 1958: 100).

1.6.6. Unutma ve Unutmanın Çalışan Performansı Üzerine Etkileri

Üretimde rekabetçi ortamların artması firmaların müşterilere daha fazla ürün çeşitliliği sağlamak için daha kısa üretim süreçlerine ve daha sık ürün çeşitliliğine gitmesine yol açmıştır. Çalışanların bu rekabetçi üretim ortamlarında edindikleri öğrenme ve unutma bu nedenle giderek daha önemli bir hale gelmeye başlamıştır. Ürün ve süreç değişikliklerinin çalışanların performansında kesintilere yol açması, basitçe unutma olarak nitelendirilebilir (Nembhard ve Osothsilp, 2002: 297). Başka bir deyişle unutma, çalışanların sahip olduğu bilgiyi çeşitli nedenlerden dolayı elden çıkarmasıdır (Markovitch ve Scott, 2001: 459).

Unutma, bilgi öğelerinin silinmesine ek olarak belirli öğeleri nispeten veya tamamen erişilemez kılan bilgi yapısındaki değişiklikleri de içeren oldukça geniş bir kavramdır. Psikologlar unutmanın öğrenilen materyalin kodlanması ve akılda tutulması koşulları arasında herhangi bir benzerlik olmadığında, eskiden öğrenilen bilgilerin yeni öğrenmeyle pekiştirilmediği durumlarda ve öğrenme sürecinde belirli bir süre kesinti olduğunda ortaya çıktığını ifade etmişlerdir (Jaber, 2006: 12).

Bilgi azalması olarak da ifade edilen unutma, öğrenme çerçevesinde ele alınmalıdır. Bu noktada çalışanların sahip olduğu bilginin neden değer kaybettiği çok açık değildir. Çalışanlar işten ayrılıp sahip oldukları bilgiyi yanlarında götürdüklerinde işçi devri nedeniyle, önceki bilgileri geçersiz kılan ürünler veya süreçlerdeki değişiklikler nedeniyle ve kurumsal kayıtların kaybolması veya erişilmesinin zor hale gelmesi durumlarında bilginin değer kaybederek unutmanın ortaya çıkacağı söylenebilir.

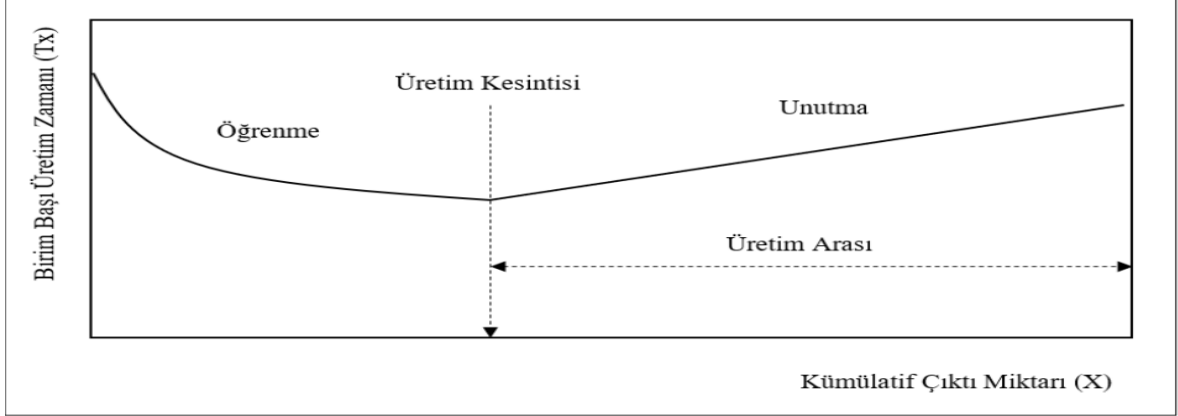
Ebbinghaus (1885), öğrenme bağlamında bir kişinin ne kadar uzun süre çalışırsa akılda tutma süresinin o kadar uzun olduğunu ifade etmiştir. Görevler ve işçilerin aldıkları eğitim seviyelerindeki

farklılıklara rağmen, daha yavaş öğrenen işçilerin daha yüksek verimlilik oranlarına ulaşma eğiliminde oldukları görülmüştür. Buna ek olarak, daha hızlı öğrenen işçilerin üretime ara verildiğinde daha hızlı unutma eğiliminde oldukları görülmüştür (Nembhard ve Uzumeri, 2000: 325). Bireylerin kendi yetenek ve deneyimlerinden dolayı öğrenme oranı, unutma oranı ve verimlilik oranı gibi parametrelere göre farklılık göstermelerine rağmen, genel olarak, genel yetenek azaldıkça bireylerin unutma miktarlarının arttığını söylemek mümkündür.

Unutmayı etkileyen en önemli faktör zamandır. Bu bağlamda bilgi kodlamasının üzerinden ne kadar zaman geçerse öğrenilen materyal o kadar az geri alınabilmektedir. Unutmayı etkileyen diğer bir önemli faktör de büyük ölçüde hafızanın yaşına bağlı olan unutma oranıdır. Günümüzde ürün ve süreç çeşitliliğinin fazla olduğu organizasyonlarda üretimde kesintiler olabilmektedir. Bu üretim kesintilerinde çalışanların bilgi kaybı yaşaması ya da işçi devri nedeniyle çalışanların verimliliklerin azalması unutma olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Çok kısa üretim kesintilerine göre uzun süreli üretim kesintilerinde daha fazla unutma gerçekleşmektedir. Bu durum üretim aralarının uzunluğunun çalışanların unutma derecesi üzerinde doğrudan bir etkisi olabileceğini gösterir. Ayrıca daha kompleks görevlerin daha yavaş öğrenmeyle ve daha yüksek unutma oranlarıyla sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra deneyimsiz çalışanların görev karmaşıklığı arttıkça daha yavaş öğrenmesine karşılık daha deneyimli çalışanların yöntem ve görev karmaşıklığı artsa da daha hızlı öğrendiği gözlemlenmiştir (Nembhard ve Uzumeri, 2002: 300).

Unutma olgusu ve onu tanımlayan eğrinin şekli tam olarak anlaşılabilmiş olmamasına rağmen bilgi azalması (unutma) fonksiyonunun davranışının ve unutma oranının negatif, öğrenme oranının ise pozitif olması dışında standart ilerleme fonksiyonu ile aynı biçimde olduğu varsayılır. Şekil 10'da öğrenme-unutma süreci gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, kümülatif çıktı miktarındaki artış öğrenmenin ortaya çıkmasıyla birim başına üretim süresini azaltmaktadır. Ancak üretime verilen bir ara sonrasında çalışanların bazılarında unutmanın ortaya çıkması birim başına üretim sürelerinin atmasına yol açmıştır.

Şekil 10: Öğrenme-Unutma Süreci



Kaynak: Jaber, 2006: 14

Wright tarafından geliştirilen öğrenme eğrisinin şekli konusunda neredeyse oybirliğiyle anlaşma olmasına rağmen, unutma sürecini etkileyen davranış ve faktörler hakkında henüz tam bir anlayış geliştirilememiştir. Unutma süreci birçok araştırmacı tarafından matematiksel, deneysel ve ampirik olarak modellenmeye çalışılmıştır. Unutma sürecinin ifade edilmesindeki belirsizliklerden dolayı bu çalışmada ‘unutma’ olgusu göz ardı edilecektir. Bu bağlamda bireylerin kazandıkları bilgiyi unutmadıkları, üretim kesintilerinden etkilenmedikleri, işin basit ya da karmaşık olmasının verimliliklerini etkilemediği varsayılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Öğrenme eğrilerine ilişkin ulusal ve uluslararası literatür, ağırlıklı olarak kümülatif üretim ve birim maliyetler arasındaki ilişkiye ya da bilgi kalıcılığı ve bilgi aktarımının verimlilik üzerindeki etkisi üzerine odaklanmıştır.

2.1. Kümülatif Çıktı ve Birim Maliyetler Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar

Öğrenme eğrileri, üretim çalışmalarını tamamlamak için gereken süreyi ve öğrenme gerçekleştikçe üretim maliyetlerindeki azalmayı tahmin etmek ve işçilerin performanslarına göre görevlere atanmaları için kullanılmıştır. Birçok araştırmacı, manuel tabanlı işlerde çalışanların yaptıkları işleri tekrarladıkça performanslarını arttırdığını gösteren çeşitli sanayi dallarında araştırmalar yapmışlardır. Bu noktada kümülatif çıktı ve birim maliyetler arasındaki ilişkiye odaklanarak performans artışlarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar itibarıyla bu çalışmalar kümülatif üretim miktarındaki artışın öğrenme eğrileri aracılığıyla verimliliği arttırarak birim maliyetleri azalttığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmalar da kendi içerisinde öğrenme eğrileri üzerine sektör bazlı yapılan çalışmalar ve öğrenme eğrileri üzerine ülke bazlı yapılan çalışmalar olmak üzere iki alt başlık altında incelenmiştir.

2.1.1. Öğrenme Eğrileri Üzerine Sektör Bazlı Çalışmalar

Bu çalışmalardan ilki, Wright (1936) tarafından gerçekleştirilmiştir. Wright (1936), imal edilen uçak sayısı her iki katına çıktığında maliyetlerin sabit bir oranda azaldığını tespit etmiştir. Üretim maliyetleri ve kümülatif çıktı arasındaki ilişkiyi gösteren bu çalışmada %80’lik bir öğrenme oranı hesaplanmıştır. Bu oran, üretim miktarı her iki katına çıktığında %20’lik bir verimlilik artışı olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Ortaya çıkan verimlilik artışı, kümülatif üretim arttıkça işgücü maliyetlerinin azalmasından ileri gelmiştir. İşgücü maliyetlerindeki bu azalma iki nedene bağlanmıştır. Birincisi, yapılan işin tekrarlanmasıyla işçilerin işi öğrenmesi ve aynı işi daha kısa sürede yapmaya başlamasıdır. İkincisi, yapılan işin sürekli olarak tekrarlanması sonucunda işçilerin bu işi yapacak daha pratik yöntemler bulmaya yönelmesidir.

Arrow (1961), maliyetler ve kümülatif çıktı arasındaki ilişkiyi araştırdığı çalışmasında iktisadi literatüre önemli bir bakış açısı getirmiştir. Aynı zamanda bireysel değil, organizasyonel seviyede

yaparak öğrenme kavramını ilk kullanan kişi olmuştur. Arrow, zor tanımlanan ürünlerin listelenmesi ve üretilmesinde tipik uygulamaların ötesinde bir zaman tercihi kavramını ilk kullananlar arasındadır. Bu durum organizasyonel öğrenme eğrilerinin önemli bir iktisadi uygulama olduğunu göstermeye yardım etmiştir.

Rapping (1965), 15 tersaneye ait verilerden yararlanarak, bağımlı değişken olarak yıllık çıktı oranının logaritmasını ve bağımsız değişken olarak yıllık emek ve sermaye girdilerinin logaritmasını kullanarak sıradan en küçük kareler yöntemiyle üretim fonksiyonunun parametrelerini tahmin etmiştir. Model, zaman değişkenleri, kümülatif çıktı değişkenleri ve Liberty gemileri³ dışındaki gemi türlerine ait yıllık çıktı oranını temsil eden bir değişken kullanarak test edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda emek ve sermaye girdilerinde orantısız değişiklikler yapıldığında, üretimde artan getirilerin meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda, kümülatif çıktının öğrenme veya adaptasyona atfedilen verimlilik artışlarını açıklayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Womer ve Patterson (1983), öğrenme eğrileri tahminlerine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu yaklaşımda alternatif öğrenme eğrisi teorilerine uygun prosedürler, istatistiksel olarak formüle edilmiş ve böylece öğrenme eğrilerinin doğrusal olmayan istatistiksel modellerinin geliştirilmesi mümkün olmuştur. Womer ve Patterson (1983) yaptıkları bu çalışmada, kümülatif ortalama öğrenme eğrisi ve birim öğrenme eğrisi modellerini ele almıştır. Birim öğrenme eğrisi hipotezini kümülatif öğrenme eğrisi hipoteziyle karşılaştırmak için Pesaran Deaton (1978) testinin bir versiyonu kullanılmıştır. Analizlerde 3 veri seti kullanılmış ve her veri seti için öğrenme eğrisi parametrelerini tahmin etmek amacıyla hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yöntemlerle çalışılmıştır. Burada doğrusal olmayan modellerin kullanılmasındaki amaç iki model için de karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmektir. Elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan yöntemlerin doğrusal yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Dutton ve Thomes (1984), ilerlemeye neden olan faktörlerden hareketle gelecekteki ilerleme oranlarının tahmin edilemeyeceğini ve gelişme oranının nasıl yönetilebileceğini araştırmışlardır. Bu bağlamda, 50 yıllık literatürden derlenen elektronik, makine aletleri, uçak, giyim, kâğıt yapımı ve otomobil gibi çeşitli sektörlerden 200'den fazla çalışmanın ikincil bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, gelişme oranının sabit olmadığını ve yönetsel politika kararlarından etkilenebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca frekans dağılımındaki farklılık nedeniyle gelecekteki ilerleme oranlarını tahmin ederken dikkat edilmesi gerektiği, ilerleme ilkesinin altında yatan dinamikler iyi anlaşılamadığı için bir firmanın stratejik planlamasında sınırlı kullanıma sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte ilerlemeyle ilgili sermaye mallarında teknolojik ilerleme, yerel

³ Liberty gemileri, II. Dünya Savaşı sırasında Acil Gemi İnşa Programı kapsamında ABD tarafından inşa edilen bir kargo gemisi sınıfıdır. Tasarımı basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle büyük ölçüde seri üretilen Liberty gemileri, ABD'nin savaş zamanı sanayi üretiminin büyük bir kısmını oluşturmuştur (Thompson, 2001: 103).

endüstri ve firma öğrenmesi, Horndal etkisi (işgücü öğrenmesi) ve ölçek etkileri olmak üzere 4 kategori belirlenmiştir. İlerlemeyle ilgili faktörlerden teknolojik değişim, işgücü öğrenmesi ve organizasyonel özellikler öğrenme için önemli öngörücüler olarak görülmeye devam ederken, ölçek ekonomileri artık farklı bir değişken olarak görülmektedir.

Lieberman (1984), kimya endüstrisinde 37 kimyasal ürünle ilgili verileri kullanarak öğrenme eğrisi ve endüstriyel fiyat davranışları hakkında bir dizi hipotez test etmiştir. Basit doğrusal regresyon kullanılan modelde bağımlı değişken olarak, dolar cinsinden ölçülen ortalama piyasa fiyatı alınmıştır. Bu fiyat, her ürün için yıllık olarak hesaplanan bir birim satış değeridir. 37 ürünün her biri için, çıktı ve kapasiteye ilişkin ham veriler zaman, kümülatif sektör çıktısı, kümülatif sektör kapasitesi, yıllık sektör çıktı hızı, tesisin ortalama ölçeği, yeni tesis yatırım oranı, yeni piyasaya giriş oranı ve kapasite kullanım seviyesi gibi alternatif öğrenme indeksleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kimya endüstrisindeki öğrenme eğrilerinin yaygınlığını göstermiştir.

Lieberman (1989), 39 kimyasal üründen oluşan bir endüstriye girişleri ve bu endüstride hayatta kalma oranlarını incelemiştir. Bu inceleme, yerleşik firmalar tarafından potansiyel olarak sahip olunan öğrenmeye dayalı maliyet avantajlarına odaklanmıştır. Öğrenme eğrilerinin endüstriye girişlerde etkili olan bir engel ve firmaların başarı veya başarısızlığında bir belirleyici olarak önemi değerlendirilmiştir. Ayrıca, endüstriye giriş çıkışları etkileyen bir faktör olarak teknolojinin önemine değinilmiştir. Öncelikle öğrenme eğrileri ile endüstriye giriş arasındaki ilişki bir logit modeli kullanılarak incelenmiştir. Bu model, giriş olasılığını bir dizi açıklayıcı değişkenin bir fonksiyonu olarak ifade eder. Çalışmanın sonuçları, kümülatif çıktıya dayalı öğrenme eğrilerinin, bu kimyasal ürün endüstrisi üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalar, kümülatif çıktının endüstri düzeyinde öğrenme için iyi bir gösterge olduğunu göstermekle birlikte bu çalışmadaki bulgular, kümülatif çıktıdaki farklılıkların firmalar arasında maliyetleri karşılaştırmak için zayıf bir kıstas olduğunu ifade etmiştir. Öğrenme oranlarındaki değişkenlik ve sürekli olmayan teknik değişimlerin firma düzeyinde öğrenme yapısının kullanışlılığını azaltmaktadır. Ampirik bulgular, öğrenme eğrisiyle ilgili olmayan birçok faktörün endüstriye giriş çıkışlarda büyük etkilere sahip olduğuna işaret etmiştir. Bu çalışmada ele alınan geleneksel model, maliyet ve kümülatif çıktı arasındaki ters yönlü ilişkidir ve 1970’lerde Boston Consulting Group (BCG) tarafından popüler hale getirilmiştir.

Argote ve Eppele (1990), organizasyonel öğrenme eğrilerini etkileyebilecek potansiyel faktörleri tanımlayarak, organizasyonel öğrenme eğrilerine odaklanan deneysel çalışmaların nitel bir analizini yapmışlardır. Organizasyonel öğrenme oranlarında gözlemlenen farklılıkların özellikle organizasyonel unutma veya bilginin azalması ve bilgi aktarımından kaynaklandığı belirtilmiştir. Öğrenmeden elde edilen bilgiler çalışanların yaptıkları işi unutmaları, üründe ve üretim sürecindeki değişiklikler yüzünden bilginin eskimesi, işçilerin daha az deneyimli işçilerle değiştirilmesi,

kayıtların kaybolması veya rutinlerin aksaması gibi nedenlerden ötürü değer kaybına neden olabilir. Bu çalışmaya göre bilgi aktarımı da öğrenme oranını etkileyebilir. Bilgi aktarımı, bir birimin diğer birimin deneyiminden etkilendiği süreçtir. Bilgiyi etkin bir şekilde aktarabilen organizasyonlar, daha üretkendir ve daha düşük birim maliyetlere sahiptirler. Ayrıca bu çalışmada öğrenme oranlarını tahmin ederken öğrenme oranını etkileyen alternatif faktörlerin kontrol edilmesi gerektiğine de değinilmiştir.

Badiru (1992), yıllar içerisinde farklı ihtiyaçlardan dolayı geliştirilen çeşitli tek ve çok değişkenli öğrenme modellerinin bir incelemesini yapmıştır. Geliştirilen bu modellerin maliyet analizinde ve verimlilik değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır. Daha sonra bağımlı değişkenlerin kümülatif çıktı ve kümülatif çalışma süresi, bağımsız değişkenin ise beklenen üretim maliyetinin olduğu çoklu regresyon analizi yapmıştır. Ayrıca tek ve çok değişkenli modelleri karşılaştıran bir deney yapılarak bu deneyin sonuçlarının çok değişkenli modeller için genelleştirilebileceği ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra basit bir iki değişkenli modelle, iki değişkenin etkilerinin doğru tahminlerinin elde edilmesinin zor olduğu belirtilmiştir. Çok değişkenli modellerin mevcut verilerin daha fazlasını kullanarak daha güvenilir tahminler elde edeceğine değinilmiştir.

Öğrenme eğrisi modellerinin, tekrar eden bir süreçten üretilen öğelerin maliyetini analiz ve tahmin etmek için kullanılan bir teknik olduğunu belirten Moses (1992), tek yönlü varyans analizini kullanarak geleneksel öğrenme eğrisi modellerine üretim hızı parametresi eklenmesiyle, bir oran ayarlama modeli oluşturmaya çalışmıştır. Daha sonra, geleneksel öğrenme eğrileriyle oran ayarlama modellerini karşılaştırarak modellerin tahmin yanlılığını karşılaştırmıştır. Öğrenme eğrisi analizinin öncülü olarak kümülatif miktarın birim maliyetin ana faktörü olduğu ifade edilmiştir. Bu çerçevede kümülatif miktar arttıkça birim maliyetlerin düşmesi beklenir. Birim maliyeti etkileyen tek faktörün kümülatif miktar olmadığı ve geleneksel öğrenme eğrisinin maliyet davranışının yeterli olmadığı genel görüşüne karşılık, ek değişkenler dahil edilerek öğrenme eğrisi modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, oran ayarlama modelinin genel olarak tarafsız maliyet tahminleri sağladığını göstermiştir. Tahmin edilen maliyet kalemi öğrenmeye tabi olmayan herhangi bir unsur içermiyorsa, o zaman geleneksel öğrenme eğrisi modeli gelecekteki maliyet tahminlerinde hatalı tahminlere meyillidir ve gerçek maliyetleri olduğundan az gösteren maliyet tahminleri sağlarlar. Genelde geçmişteki maliyetler yüksek bir öğrenme oranı sergilediğinde, gelecekteki maliyetlerin hızlı şekilde düşmesi beklenir. Bu çalışmadaki bulgular, gerçek maliyetlerin tahmin edilen maliyetlerden yüksek olduğunu savunmaktadır.

Nembhard ve Uzumeri (2000), bir öğrenci popülasyonunda bireysel temelli bir model seçme problemini ele alarak ortaya çıkan performans artışlarını incelemiştir. Bir organizasyonel birimdeki tüm bireysel çalışmalar için bireysel bir öğrenme eğrisi modelinden parametrelerin tek şekil üzerinde gösterildiği bir öğrenme haritası oluşturulmuştur. Bu öğrenme haritasının oluşturulması, yöneticiler için eğitim programlarının, görev atamalarının ve yeniden atamaların değerlendirilmesinde önemli

bir kaynak oluşturmaktadır. Bunun için öğrenme haritasının oluşumunda tek bir bireysel tabanlı öğrenme eğrisi fonksiyonel formu seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Analiz sonucunda 3 parametrelili hiperbolik modelin verimlilik ve kararlılık açısından en iyi performansa sahip model olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Thompson (2001), ulusal arşivlerden sermaye yatırımı üzerine güncel verileri kullanarak Rapping (1965) ve Argote vd. (1990) tarafından yapılan çalışmaları genişletmiştir. Bunun için, ilişkisiz regresyon modeli yardımıyla, tüm fiziksel sermaye ve fiziksel olmayan sermaye yapılarının bir ölçüsünü içeren zamansal bir üretim fonksiyonunu tahmin etmiştir. Bağımlı değişken olarak yard⁴ başına aylık teslimatlar alınırken, deneyim için kullanılan bağımsız değişkenler kümülatif çıktı ya da kümülatif çalışma saatleri olmuştur. Yapılan analiz sonucunda Thompson (2001), sermaye yatırımlarını ve kaliteyi kontrol ederken öğrenme oranını tahmin etmiş ve elde edilen sonuçları Rapping ve Argote vd. 'nin elde ettiği sonuçlarla karşılaştırmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda fiziksel sermaye yatırımları ve ürün kalitesindeki farklılıkların ihmal edilmesi, öğrenme oranlarının olduğundan fazla tahmin edilmesine yol açmıştır. Yapılan bu çalışmada sermaye derinleşmesi tahmin edilenden daha fazla olduğu, verimlilikteki artışın bir kısmının kalite artışıyla meydana geldiği ve bunun da işgücü verimliliğindeki artışın sırasıyla %50'si ve %5'ini oluşturduğu tespit edilmiştir.

Albeni (2004), bölgeler arası farklılıkların ölçülmesi ve her bölgenin gelişme yeteneklerinin bilinmesinin öneminden hareketle 1989-2000 döneminde Türkiye'nin iller ve bölgeler kapsamında imalat sanayinde meydana gelen sektörel teknolojik öğrenme oranlarını tahmin etmeye çalışmıştır. Aynı zamanda öğrenmenin bölgesel farklılaşma, bölgesel gelişme ve büyümeyle olan ilişkilerini mevcut dönem itibarıyla analiz etmiştir. Bunun için neoklasik üretim fonksiyonu ile öğrenme eğrilerinin birleştirilmesiyle elde edilen matematiksel denklem yardımıyla Türkiye'de iller itibarıyla teknolojik öğrenme oranları tahmin edilmiştir. Daha sonra tahmin edilen değerler aritmetik ortalamaları alınarak Düzey 1 bölgeleri düzeyinde hangi bölgelerin teknolojik olarak daha iyi veya az öğrendiği analiz edilmiştir. Bölgesel açıdan teknolojik öğrenmenin önemini görebilmek amacıyla Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)'nin 1996 yılında Türkiye'de illerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması'ndan elde ettiği endeks değerleri yardımıyla, öğrenmeyle mekânsal birikim arasındaki ilişki ve illerin gayri safi yurtiçi hasıla değerleri kullanılarak iktisadi büyüme hızı arasındaki bağlantı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'deki ortalama öğrenme oranı 0.88 olarak hesaplanmış ve bu değer dünyada hesaplanan ortalama öğrenme oranı olan 0.82'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Öğrenmenin en yüksek olduğu iller 0.73 öğrenme oranıyla Mardin ve Kırıkkale'dir. İller içerisinde 8 ilde unutmanın söz konusu olduğu ve bu illerden en yüksek unutmanın görüldüğü ilin 1.58 öğrenme oranıyla Hakkâri olduğu tespit edilmiştir. Gelişmişlik

⁴ Yard, bir İngiliz uzunluk ölçüsü birimidir. Uzunluk değeri sistemden sisteme değişmekle birlikte 1 yard=3 fit ve 36 inçtir.

düzeyinin yüksek olduğu illerde öğrenme hızının da yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca öğrenme oranıyla bölgelerin büyüme hızı arasında ters yönlü bir ilişki bulunmuştur.

Karaöz (2004), teknolojik değişim sürecinin ölçülmesinde teknolojik öğrenme oranı yaklaşımını kullanarak 1981-2000 döneminde Türkiye’de imalat sanayinin 28 alt sektörü için sektörel teknolojik değişim süreci analiz edilmiştir. Neoklasik ekonomilerde kullanılan Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ve öğrenme fonksiyonunun entegre edilmesiyle elde edilen denklem kullanılarak parametre tahminleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar imalat sanayinde teknolojik öğrenme oranlarının 0.72-1.05 aralığında değiştiğini göstermektedir. Öğrenme oranı 0’a yaklaştıkça öğrenme performansının arttığı yorumuyla en yüksek öğrenme performansına sahip sektörün ‘diğer kimyasal ürünler’ olduğu ve en düşük öğrenme performansına sahip sektörün ‘kömür ve petrol türevleri’ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca teknolojik unutmanın görüldüğü tek sektörün ‘kömür ve petrol türevleri’ olduğu görülmüştür. 28 alt sektör teknolojik öğrenme oranlarına göre teknolojik yoğunluklarını gösteren üç gruba ayrılmıştır. 6 sektör ‘orta-yüksek’, 11 sektör ‘orta-düşük’ ve 11 sektör de ‘düşük’ teknolojik yoğunluklu sektörler olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanılarak Türkiye’nin gelecekte rekabet gücünü arttırabilmesi için, teknoloji yoğunluğu yüksek sektörlerin üretim payının arttırılması ve teknolojik öğrenme hızını arttıracak yöntemler uygulanması gerektiği yönünde politika önermesi yapılmıştır.

Rubin vd. (2004), küresel iklim değişikliği ve karbon yönetimi seçeneklerini inceleyen enerji ekonomisi modellerinde zaman içinde maliyet veya verimlilikte dışsal veya keyfi değişim oranlarının kullanılmasına ilişkin yaygın uygulamaları incelemiştir. Bunun için elektrik santrallerinde kullanılan iki çevre teknolojisine odaklanmışlardır. 1976-1995 dönem aralığında kükürt dioksit (SO_2) emisyonlarını kontrol eden baca gazı kükürt giderme sistemlerinin (FGD) ve 1983-1996 dönem aralığında mono nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarını kontrol eden seçici katalitik indirgeme sistemlerinin (SCR) öğrenme oranlarının tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, FGD sistemlerinin %89’luk bir ilerleme oranı sergilediğini bulmuştur, bu da kurulu FGD kapasitesinin iki katına çıkması için sermaye maliyetinin %11 azalacağını göstermektedir. SCR⁵ sistemleri için ise %88’lik bir ilerleme oranı ve %12’lik bir öğrenme oranı elde edilmiştir.

Coulomb ve Neuhoﬀ (2006), yeni bir teknolojinin maliyetinin kümülatif üretimin her iki katına çıkmasıyla sabit bir oranda düştüğü temelinden yola çıkarak, rüzgâr türbinlerinde⁶ yaparak öğrenmenin maliyetler üzerindeki azaltıcı etkisini test etmişlerdir. Bunun için öğrenme eğrisi ve rüzgâr türbini boyutu parametrelerini 1991-2003 yılları aralığı için 1500’den fazla fiyat noktası kullanarak tahmin etmişlerdir. Elde edilen tahminler, kapasitenin her iki katına çıkmasıyla birlikte,

⁵ Seçici katalitik indirgeme (SCR), özel bir katalizör aracılığıyla bir dizel motorun egzoz akımına bir sıvı azaltıcı madde enjekte eden gelişmiş bir aktif emisyon kontrol teknolojisi sistemidir.

⁶ Rüzgâr tribünü, rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir.

rüzgâr türbinlerinin maliyetlerinin %10,9 azaldığını göstermiştir. Buradan rüzgâr türbinlerinde yaparak öğrenmenin aynı anda maliyet düşürme ve türbin boyutlarında⁷ artış süreçlerine izin verdiği yorumu yapılmıştır.

Ören ve Erol (2009), ileriye dönük maliyet tahminleri ve karar alma mekanizmalarının optimal bir şekilde kullanılabilmesinde öğrenme eğrilerinin rolünü belirleyebilmek için işgücü maliyetlerinin düşürülmesinde öğrenmenin etkinliğini karşılaştırmalı olarak göstermeye çalışmışlardır. Öğrenmenin maliyetler üzerindeki azaltıcı etkisine dayanan bireysel performansların iyileştirilmesinin bazı etkenlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Doğru işçi seçimi, doğru eğitim, iş uzmanlığı ve performansı olumlu etkileyen alet ve ekipmanların kullanımı bu etkenlerden birkaçıdır. Öğrenmeyi gerçekleştiren ve bunu bir araç olarak kullanan bir işletmenin öğrenmeyi maliyetleri azaltmada bir araç olarak kullanmayan işletmelere göre daha fazla rekabet avantajına sahip olduğu elde edilmiştir.

Shinoda vd. (2009), 2010-2030 yılları arasında plug-in hibrit elektrikli araçların (PHEVs) gelecekte ne kadar yaygın kullanılacaklarını tahmin etmek amacıyla öğrenmeyi içeren bir model geliştirmişlerdir. PHEV'lerin karbondioksit emisyonlarını azaltmak gibi faydaları olan bir teknoloji örneği olmasına rağmen, pil maliyetlerinin rekabet edemeyecek kadar pahalı olması nedeniyle gelecekteki kullanım yoğunluğunun fazla olamayacağı düşünülmüştür. Shinoda vd. (2009) ayrıca, binek otomobil sektörü ve güç kaynağı sektöründe toplam maliyetleri en aza indirmeyi sağlayacak bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yapılan birçok çalışmanın aksine bu çalışmada, öğrenme tahminlerinde birim maliyetler yerine, bağımlı değişken olarak fiyatı kullanmışlardır. Ancak firma stratejisinden ve piyasa koşullarından etkilenmesi fiyatın, birim maliyetlerin iyi bir göstergesi olmayacağını göstermiştir.

Balasubramanian ve Lieberman (2010), Longitudinal Research Database ve Compustat veri tabanlarındaki 1973-2000 yılları arasındaki verileri kullanarak imalat sektöründeki 100'den fazla endüstrinin öğrenme oranlarını regresyon analizleri yardımıyla tahmin etmişlerdir. Analizlerde bağımlı değişken olarak GVA (Gross Value Added) değeri kullanılmıştır. Sonuçlar, organizasyonların daha yüksek sermaye-işgücü oranlarının yanı sıra daha fazla Ar-Ge ve reklam yoğunluğu olan sektörlerde daha hızlı öğrendiğini göstermiştir. Bu endüstrilerin başlangıçta üretkenlikleri düşük olmasına rağmen, deneyim kazandıkça üretkenliklerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum öğrenme oranlarındaki farklılıkların nedenlerine ışık tutmaktadır.

Lapre ve Nembhard (2010), organizasyonel öğrenme oranlarının neden değiştiğini belirlemek amacıyla imalat ve hizmet endüstrilerinde organizasyonel öğrenmeyle ilgili deneysel çalışmaların ikincil bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, deneyimden elde edilen öğrenmeyle, planlı

⁷ Türbin boyutu, rüzgâr türbininin ana parçalarından kule uzunluğu ve kanat uzunluğuna denilmektedir.

öğrenme arasında ayırım yapmış ve her iki mekanizmanın da önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak yapılan iş ve organizasyonel özelliklerin öğrenme oranını etkilediği, öğrenme oranlarının farklı olduğu, organizasyonların tüm seviyelerindeki deneyim birikiminin öğrenme oranını arttırdığı, tüm deneyimlerin eşit derecede faydalı olmadığı ve herhangi bir deneyimin faydasının diğer faktörlere de (örneğin, deneyimin doğası, diğer deneyimlerin seviyesi) bağlı olduğu gibi sonuçlar da ortaya çıkmıştır.

Schoots vd. (2010), maliyetlerin yüksek olmasının yakıt hücrelerinin kullanımının önünde büyük bir engel oluşturmamasından dolayı hem bireysel üreticiler hem de küresel pazarlar için geçmişteki yakıt hücresi⁸ maliyetlerindeki düşüşleri analiz etmişlerdir. Her biri farklı bir üretici tarafından üretilen üç farklı yakıt hücresi teknoloji türü için – alkali yakıt hücresi (AFC), fosforik yakıt hücresi (PAFC) ve polimer elektrolit yakıt hücresi (PEMFC)- oldukça yüksek bir belirsizlik aralığına sahip öğrenme eğrileri belirlenmiştir. Bu öğrenme eğrileriyle verimlilikteki artışa paralel olarak maliyetlerde bir düşüş amaçlanmıştır. PEMFC teknolojisi için %4'lük bir hata payı ile %21'lik bir öğrenme oranıyla karakterize edilen küresel bir öğrenme eğrisi de hesaplanmıştır. Ar-Ge'nin yakıt hücresi iyileştirme sürecinde önemli bir rol oynamakla birlikte, gözlemlenen maliyet düşüşlerinin önemli bir kısmını açıkladığı belirtilmiştir. Bu maliyet düşüşlerinin diğer bir kısmının da yaparak öğrenmeden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak hem bireysel hem de küresel olarak yakıt hücreleri için öğrenme eğrilerinin oluşturulabileceği gözlemlenmiştir. Bu noktadan hareketle öğrenme eğrileri yoluyla farklı teknolojiler aracılığıyla verimlilikte meydana gelecek bir artışla maliyetlerin azaltılabileceği yorumu yapılmıştır.

Lindman ve Söderholm (2012), standart bir Cobb-Douglas maliyet fonksiyonundan rüzgâr enerjisi teknolojisi maliyetleri için bir öğrenme eğrisi modeli oluşturmaya çalışmışlardır. Ekonometrik analiz, 1995-2010 döneminde gerçekleşen 35 çalışmada yer alan 113 öğrenme oranı tahminine dayanmaktadır. Daha sonra rüzgâr enerjisi öğrenme oranlarının bir meta analizi yapılmıştır. Meta analiz⁹, coğrafi öğrenme alanı seçiminin ve dolayısıyla öğrenme yayılımlarının rüzgâr enerjisi öğrenme oranlarının önemli bir belirleyicisi olduğunu göstermiştir. Genel olarak deneysel bulgular, gelecekteki çalışmaların, yenilenebilir enerji alanındaki öğrenme ve bilgi yayılımı konularının yanı sıra teknoloji öğrenimi ve Ar-Ge çalışmaları arasındaki etkileşime daha fazla dikkat etmesi gerektiğini göstermiştir.

Thompson (2012), organizasyonel öğrenme eğrilerinde kümülatif üretim ve maliyetler arasındaki ilişkinin ampirik kanıtlarla doğrudan desteklenmediğini göstermeye çalışmıştır. Bunun için öncelikle kümülatif çıktı ile maliyetler arasındaki ampirik ilişkinin standart bir formülasyonunu tanımlanmıştır. Thompson, herhangi bir dönem için elde edilen öğrenme oranının çıktı miktarından

⁸ Yakıt hücresi, yakıtın enerjisini elektro kimyasal reaksiyon sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür.

⁹ Meta analiz, ilişkili ancak bağımsız çalışma sonuçlarının niceliksel olarak gözden geçirilmesi ve sentezidir.

etkilendiğini ileri sürmüştür. Ayrıca, öğrenme oranlarındaki farklılıkların öngörülmesindeki zorluklarla, verimliliğin maksimum değere ulaştıktan sonra öğrenmenin ansızın durması gerçeğine ve maliyetlerdeki azalmanın kaynağı olarak görülen kümülatif çıktının çeşitli ekonometrik sorunlardan etkilenmesini anlamının zorluğuna da değinmiştir. Bu zorluğun büyük bir kısmının organizasyonel öğrenme eğrilerinin standart formülasyonunun gerçekte firmaların verimlilik artışlarını güvence altına aldığı karmaşık ve çeşitli süreçler için indirgenmiş bir form olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Öğrenme eğrilerinin, verimliliğin tekrarlayan görevler aracılığıyla geliştiği olgusuyla aynı görevin tekrar tekrar ve aynı koşullarda gerçekleştirilmesiyle daha kısa sürede yapılabilmesinden yola çıkarak Raman ve Varghese (2014), öğrenme eğrisi temelinde inşaat faaliyet süresine dayalı bir algoritma gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Üretimde etkin bir şekilde kullanılan öğrenme eğrilerinin inşaat alanında da işgücü verimliliği şeklinde kullanılabileceğini göstermek amaçlanmıştır. Analiz sonuçları, öğrenme sürecinin bireylerin veya grupların aynı görevi yapmasından ve kendi deneyimlerinden veya uygulamalardan beceri veya verimlilik kazandığını göstermiştir. Kazanılan deneyim; göreve daha fazla aşina olunmasına, gerçekleştirilen görev hakkında daha fazla bilgi edinilmesine, iş organizasyonuna, koordinasyona ve araç ve yöntemlerin daha etkili kullanmasına atfedilmiştir.

Moore (2015), savunma edinim programlarında yaygın olarak kullanılan Wright'ın modelini, varyans analizi (ANOVA) ve Dunnett testi yardımıyla F-15 C/D & E uçak modeli için toplam maliyetleri kullanan Stanford B modeli, De Jong'un modeli ve S eğrisi modeliyle karşılaştırmıştır. Bu üç alternatif modelden De Jong ve S eğrisi modeli, otomatikleştirilen bir üretim sürecinin yüzdesini temsil eden, 0 ile 1 arasında bir sınırlandırılmaz faktörün kullanımına dayanmaktadır. Bu sınırlandırılmaz faktör 0.0 ile 0.1 aralığına düştüğünde De Jong ve S eğrisi modelleri; 0.1 veya daha büyük olduğunda da Wright'ın modeli daha doğru bir model olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonuçları, Savunma Bakanlığının kullanımı için Wright'ın orijinal formülasyonundan daha doğru bir öğrenme eğrisi modelinin mevcut olup olmadığı konusunda yetersizdir. Ancak, sonuçlar öğrenmenin etkilerine ve bu etkilerin nasıl değerlendirilebileceğine dair ön fikirler sağlamaktadır. Bulgular ayrıca öğrenme sürecinde sınırlandırılmazlığın önemini vurgulamaktadır.

Nykvist ve Nilsson (2015), bataryalı elektrikli araçların (BEV) içten yanmalı araçlarla rekabet edebilmeleri için gelecekteki maliyetlerini tahmin etmişlerdir. Bunun yanında maliyetlerdeki ve analiz edilen pil türlerindeki farklılıkların, maliyetleri arttırmanın veya üretimi sübvans etmek için endüstri tarafından yapılan teşviklerin analiz sonuçlarında belirsizliğe yol açacağı belirtilmiştir. Çalışmada, geçmişteki maliyetlerin incelenmesi için 85 ve gelecekteki maliyet tahminleri için de 37 çalışma incelemiştir. İncelemeler, batarya paketlerinin maliyetlerinin azaldığını, ancak hâkim Li-ion teknolojisinin geçmiş, şimdiki ve gelecekteki maliyetleri konusunda büyük belirsizlikler olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Yapılan analizde, sektör çapında maliyet tahminleri 2007-2014 yılları

arasında yılda yaklaşık %14 düşüş göstermiştir. BEV üreticileri tarafından kullanılan pil paketlerinin maliyetleri daha düşük olup, 2007-2014 yılları arasında yıllık %8 oranında azalmıştır. Bu düşüşün BEV'lerdeki Li-ion pil paketleri için gelecekteki olası maliyet artışını temsil ettiği düşünülmüştür. Ayrıca kümülatif çıktıdaki maliyet verilerini ele alarak mevcut öğrenme oranının genel endüstri için %9 ve pazar payı yüksek olan üreticiler için %6 olduğu tahmin edilmiştir.

Attia vd. (2016), elektrik motorlarının üretimi için en uygun organizasyonel öğrenme modelini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla büyük ev aletleri üretim şirketlerine elektrik motorları üreten bir fabrikadan 110 üretim süreci ve 10 farklı elektrik modeli için 42 aylık bir süreyi hesaplayan veriler toplanmıştır. Her bir öğrenme modelinin önceliğini farklı kriterlere göre ve bu kriterlerin her birinin hedefe göre önceliğini değerlendirdikten sonra literatürdeki tek değişkenli öğrenme modellerinden en uygun olanlarının Wright (1936) ve Knecht (1974) modelleri olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın 2 parametrelili ve 3 parametrelili Mazur ve Hastie (1978) modelleri en kötü performansa sahip modeller olmuşlardır. Bu iki modelin kötü performansları, toplu bir iyileştirme yerine her iki modelin de bireysel öğrenmeyi temsil etmelerine bağlanmıştır. Öğrenme etkisinin ürünler için olduğu kadar süreçler bakımından da etkili olduğu ispatlanmıştır. Çalışılan dönem sayısı arttıkça gerekli kapasitenin azaldığı ve bu azalmanın kişisel öğrenme, araçlara ve demirbaşlara hâkim olma ve üretim iyileştirme girişimleri gibi kurumsal öğrenmeyi oluşturan birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmiştir.

Srour vd. (2016), literatürden seçilmiş bir dizi öğrenme eğrisi modelini ele alarak bu modelleri inşaat endüstrisi kapsamında incelemiştir. Bu incelemeyle birlikte hangi modelin inşaat verileriyle en iyi uyumu ve öngörüü sağladığına dair bir fikir birliğinin olmadığı ileri sürülmüştür. Bu bakımdan yapılan çalışma, hem makineleşmeye hem de unutmaya uygun olmasından dolayı modern inşaat endüstrisi için uygun yeni bir model ortaya koymaktadır. Önerilen yeni model, Wright'ın modeline benzer bir üstel öğrenme eğrisi modelidir. Bu modelle birlikte zaman içerisinde maliyetlerdeki düşüş açıklanmaya çalışılmıştır. Öğrenme eğrileri yardımıyla maliyet düşüşlerini analiz etmek için incelenen dört vakanın üçünde kümülatif ortalama tamamlanma sürelerini tahmini yapılmış ve %1'den daha az hata olduğu gösterilmiştir.

Çalmaşur vd. (2020), birçok tek değişkenli model arasında S eğrisi ve kübik öğrenme modelinin öğrenme seviyesinin zaman içerisinde değiştiği varsayımından hareketle 2003-2017 dönemleri arasında Türk Bilgi Yoğun Hizmetler alt sektörlerine ait öğrenme eğrilerini analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, ortalama öğrenme seviyeleri dikkate alındığında 37 alt sektörden 23'ünde öğrenmenin görüldüğü ve diğer 14 alt sektörde unutmamanın yaşandığı tespit edilmiştir. Ele alınan alt sektörler içinde 'kütüphaneler, arşivler, müzeler ve diğer kültürel faaliyetler' alt sektörünün 0,548 öğrenme oranıyla en yüksek ortalama öğrenme seviyesine sahip olduğu görülmüştür. Alt sektörlerin bir kısmında başlangıç aşamasından sonra daha fazla, bazı alt sektörlerde başlangıç ve bitiş dönemlerinde daha yüksek öğrenme potansiyeli görülmüştür. Ayrıca, bazı alt sektörlerde her yıl öğrenmenin yaşandığı, unutmamanın söz konusu olmadığı ifade edilmiştir.

Genel olarak, Bilgi Yoğun Hizmetler alt sektörlerinde öğrenme eğrilerinin dışbükey, içbükey, negatif ve pozitif eğimli olmak üzere dört farklı şekle sahip olabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte sektörler arasında öğrenme eğrilerinde görülen farklılıkların olası nedenleri arasında teknolojik faaliyetler, Ar-Ge harcamaları seviyesindeki ve üretim sürecindeki farklılıklar gibi nedenler gösterilmiştir.

2.1.2. Öğrenme Eğrileri Üzerine Ülke Bazlı Çalışmalar

Adler ve Clark (1991), ABD'deki bir elektrik ekipman şirketinde iki departmandan gelen verileri kullanarak, kümülatif çıktının fonksiyonu olarak verimliliği arttırmayı amaçlayan bir model oluşturmuşlardır. Bu model, birincil ve ikincil öğrenme arasındaki karmaşık ilişkiyi vurgulaması açısından önemlidir. Analizde organizasyonun tüm seviyelerinde yapılmış yaklaşık 100 görüşme yoluyla öğrenme ve üretim süreçlerini eylem halindeyken gözlemlene fırsatı ve nicel verileri diyaloglar yoluyla keşfedebilme imkânı sağlanmıştır. Çalışmada 3 temel sonuca ulaşılmıştır. Birincisi, emek yoğun süreçler kadar makine yoğun süreçler de öğrenmeye önemli ölçüde izin vermektedir. İkincisi, öğrenme sürecinin karmaşık bir süreçtir ve bu karmaşıklık, üretim sürecinde ortaya çıkan sorunlara cevap verebilmek için yapılan bazı performans üzerinde olumsuz etkilere sahip eylemlerin gerçekleşmesinden kaynaklanabilmektedir. Üçüncüsü, birincil ve ikincil öğrenmenin rollerinin süreçler arasında büyük ölçüde değiştiğidir.

Bahk ve Gort (1993), organizasyonlara özgü yaparak öğrenmenin büyüklüğünü analiz etmek için yaparak öğrenmeyi 3 ögeye ayırmayı hedeflemiştir: Organizasyonel öğrenme, sermaye öğrenimi ve işgücü öğrenimi. Bunun için 1973'ten 1986'ya kadar uzanan ABD Sayım Bürosu verilerinden elde edilen 15 ve 41 sektör örnek havuzu kullanılarak birden çok endüstrideki yeni tesisler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ayrıca, yaparak öğrenme ve bağımlı değişken olarak kullanılan sevkiyatlar ve katma değer arasındaki ilişkiden emek birikimi, beşerî sermaye, fiziksel sermaye ve somutlaşmış teknik değişimlerle bağımlı değişken arasındaki ilişki ayrıştırılmaya çalışılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, yaparak öğrenmenin çıktıyı önemli ölçüde arttırdığını, endüstri çapındaki öğrenmenin somutlaşmış teknik değişim ve fiziksel sermayeyle ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yaparak öğrenme oranının öğrenme türüne göre değiştiği sonucuna da ulaşılmıştır.

Heng ve Low (1995), Singapur'daki 20 imalat endüstrisindeki öğrenme eğrisi etkisini deneysel olarak test etmeye çalışmışlardır. Bunun için, neoklasik iktisatta kullanılan geleneksel Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile öğrenme eğrilerinin birleştirilmesiyle elde edilen logaritmik denklemi en küçük kareler yöntemiyle tahmin etmişlerdir. Analiz sonuçları, 20 sektör içinde en az öğrenme etkisinin olduğu sektörün makine, en yüksek olduğu sektörün hassas alet endüstrisi olduğunu göstermiştir. Genelde imalat sektörüne katkısı ve dinamizmi açısından önde gelen sektörlerden biri olan elektronik sektörünün de önemli öğrenme etkilerine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen öğrenme eğrisi sonuçları Singapur, Güney Kore ve Japonya için karşılaştırılmıştır. Singapur

endüstrilerindeki öğrenme etkisinin, Güney Kore ve Japonya ile karşılaştırılmasında 1963-1990 yılları aralığındaki ortak 11 sektöre ait veriler kullanılmış, Singapur'daki öğrenme eğrisi etkilerinin, Güney Kore'ye göre Japonya'ya daha çok benzediği tespit edilmiştir.

Klenow (1998), teknolojiyle biriken deneyim sonucunda oluşan yaparak öğrenmeden hareketle bir firmanın kullandığı teknolojiyi ne zaman güncellemesi gerektiğine dair kararlarını belirlemeye çalışmıştır. Bunun için 1960-1990 döneminde ABD imalat sanayindeki 449 endüstrinin veri seti kullanılmıştır. Geliştirilen modelde 3 sonuca vurgu yapılmıştır. Birincisi, firma teknolojisini güncellediğinde firma verimliliği içsel olarak düşmektedir. İkincisi, firmaların teknolojiye talebin düşük olduğu zamana göre talebin yüksek olduğu zamanlarda teknolojilerini güncelleme olasılığı daha yüksektir. Üçüncüsü, verimliliğin nispeten düşük olduğu zamanlarda öğrenme oranının yüksek olmasından dolayı firma verimliliği ile işgücü girdisi arasındaki korelasyon düşüktür. Sonuçlar, deneyimin bir teknoloji yardımıyla artması durumunda yaparak öğrenmeden elde edilen verimlilik kazanımlarının azaldığını göstermiştir. Ayrıca, öğrenmenin büyük ölçüde her bir üretim teknolojisine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Promongkit vd. (2000), Tayland imalat endüstrisinde öğrenme eğrilerinin tahmin yeteneğinden faydalanarak teknolojik öğrenmenin bir analizini yapmıştır. Bu analizde ISIC (Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması) sınıflandırması altında 20 Tayland imalat endüstrisindeki öğrenme eğrileri 1990-1995 dönem aralığı için analiz edilmiştir. Sonuçlar, Tayland imalat endüstrisi öğrenme eğrilerinin, ortalama öğrenme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ağır imalat sanayinin hafif imalat sanayilerinden daha yüksek bir öğrenme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Bu durum ağır imalat sanayilerinin hafif imalat sanayilere göre daha dik öğrenme eğrilerine sahip olmasını gerektirmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, öğrenme potansiyeli yüksek olan endüstrilere yoğunlaşarak hafif ve emek yoğun politikalar yerine ulusal düzeyde sanayi ve teknoloji politikalarına ağırlık verilmesinin uzun vadede rekabet gücü elde edilmesinde etkili olabileceğine dair politika önermesi yapılmıştır.

Chung (2001), Kore ekonomisinin kısa süredeki gelişimini analiz etmek için Kore yarı iletken endüstrisinde 1994 yılının ilk çeyreğinden 1996 yılının ikinci çeyreğine kadar toplam 350 gözlemle basit regresyon analizi yapmıştır. Öğrenme eğrisi etkilerinin bellek yongası¹⁰ segmentindeki etkilerini incelemek için yarı iletken üretiminde verim faktörü öğrenme artışının bir ölçüsü olarak alınmıştır. Analizde ilk olarak, kümülatif üretimin artmasıyla beklenen maliyetlerin azalması temelinde geleneksel öğrenme eğrisi modellerine dayanan fiyat verileri kullanılmış ve elde edilen tahminlerin beklenen aralıkların çok dışında olduğu tespit edilmiştir. İkinci olarak, öğrenme

¹⁰ Bellek yongası, veri depolayabilen veya kodu işlemek için kullanılabilen kapasitör ve transistörden oluşan entegre bir devredir.

hipoteziyle tutarsız sonuçlar veren fiyat verileri yerine getiri verileri kullanılmıştır. Getiri verilerine göre yapılan tahminler, Kore endüstrisindeki öğrenme hipotezlerini destekler nitelikte bulunmuştur.

Ibenholt (2002), öğrenme eğrilerinin maliyetlerle kümülatif üretim veya kapasite arasındaki ampirik ilişkiyi gösterdiğini belirterek bu eğrilerin farklı olmasının nedenlerini irdelenmiştir. Bu amaçla 1984-1999 döneminde Danimarka, Almanya ve Birleşik Krallık'taki rüzgâr enerjisi kaynakları öğrenme oranları tahmin edilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla öğrenme eğrilerinin şeklini ve eğimini açıklayan temel faktörler niteliksel olarak tartışılmıştır. Öğrenme eğrilerinin bu analiziyle politika programlarının bir analizi birleştirilerek rekabeti arttıran politikaların maliyetlerin büyük oranda düşmesini sağlayabileceğini, ancak rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasını engelleyebileceği yorumu yapılmıştır.

Pramongkit vd. (2002), ISIC kategorisi altında sınıflandırılmış hafif ve ağır sanayi endüstrileriyle yeni bir teknoloji kazanımındaki Tayland endüstrilerinin öğrenme potansiyelleri arasında bir bağlantı kurmaya çalışmışlardır. Bunun yanı sıra öğrenme eğrileriyle Tayland endüstrisinin öğrenme potansiyellerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 1950-1995 yılları arasındaki veriler kullanılarak Tayland'daki 20 imalat endüstrisinin öğrenme eğrileri tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, öğrenme eğrisi esnekliğiyle teknoloji artışını gösteren toplam faktör verimliliği artışının dönem boyunca azaldığını ve teknolojik olarak daha az karmaşık endüstrilere göre teknolojik gelişmişliği yüksek olan endüstrilerin öğrenme eğrilerinin daha dik olduğunu göstermiştir. Verimlilik artışını öğrenme potansiyelleriyle güçlendirmek için, öğrenme potansiyeli yüksek olan endüstrilerin diğerlerine göre daha fazla teşvik edilmesi gerektiği tavsiye edilmiştir.

Macher ve Mowery (2003), yarı iletken endüstrisinde silikon levha üretimiyle ilgili bir üreticinin öğrenme oranının insan kaynaklarından ve organizasyonel uygulamalardan nasıl etkilenebileceğini incelemiştir. Bunun için Macher ve Mowery ABD, Avrupa ve Asya yarı iletken firmalarından 36 silikon levha üretim tesisinden alınan verilere dayanarak nicel bir regresyon analizi gerçekleştirmiştir. Modelle, seri korelasyon için birinci dereceden (AR1) doğrusal olmayan bir maksimum olasılık tahmincisi kullanılarak test edildi. Analiz sonuçları, insan kaynakları ve organizasyonel uygulamaların başlangıçta performansı olumsuz etkilediğini, ancak üretim arttıkça gelişme oranının arttığını göstermiştir.

Albeni (2005), teknolojik öğrenme oranlarını kullanarak 1981-2000 dönemi için Türkiye'de imalat sektöründeki kamu ve özel sektöre ilişkin teknolojik değişim performanslarını analiz etmiştir. Öncelikli olarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonuyla öğrenme eğrilerinin birleştirilmesiyle elde edilen denklemle her sektöre ilişkin teknolojik öğrenme oranları tahmin edilmiştir. Daha sonra kamu ve özel sektöre ilişkin öğrenme oranlarının yanısıra toplam öğrenme eğrilerinin tahmin edilmesiyle imalat sanayinin teknolojik öğrenme performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, incelenen dönem boyunca imalat sektörünün başarılı bir öğrenme dönemi geçirdiğini göstermiştir. Kamu ve

özel sektör öğrenme oranlarının karşılaştırılması sonucunda özel sektörün kamu sektörüne göre daha iyi bir öğrenme sürecine sahip olduğu görülmüştür.

Öğrenme eğrilerinin, enerji teknolojilerinin maliyetlerinin kümülatif üretime veya yatırımlara bağlı olduğu düşüncesinden hareket eden Pan ve Köhler (2007), tek değişkenli basit bir güç fonksiyonu kullanarak enerji sistemlerindeki öğrenme eğrilerinin kullanımını analiz etmişlerdir. Birçok önemli enerji ve iklim değişikliği politika analizinin öğrenme eğrilerine dayandığını savunarak, öğrenme eğrilerini eleştirel olarak incelemenin büyük önem taşıdığını savunmuşlardır. Yapılan analizler, öğrenme eğrilerinin yalnızca maliyet düşüşlerini ölçtüğü takdirde, fiyat ile teknik değişikliğin etkilerini ayıramayacağını ortaya koymuştur. Ayrıca, öğrenme eğrilerinin hem geleneksel hem de gelişen enerji teknolojilerinin sürekli ve nitel değişimini yansıtmadığı, teknolojik yatırımın yapılacağı zamanın belirlenmesine yardımcı olmadığı ve Ar-Ge faaliyetlerinin ana rolünü gözden kaçırdığı görülmüştür. Ar-Ge faaliyetlerini içerecek şekilde geliştirilen bir eğrinin enerji teknolojilerinde maliyet düşüşlerini daha iyi tanımlayabileceği iddia edilmiştir. İngiltere rüzgâr enerjisi maliyetleri üzerine yapılan bir uygulama, bu eğrilerin gözlemlenen verilere daha uygun olduğunu ve maliyet azaltma konusunda öğrenme eğrilerinden daha iyi bir performansa sahip olduklarını göstermiştir.

Söderholm ve Sundqvist (2007), elektrik üretim maliyetlerinin öğrenme eğrisi analizlerinde modellenmesi ve tahmin stratejilerinin seçiminin eleştirel olarak analiz edilmesi konusunda çalışmışlardır. Ülkedeki rüzgâr enerjisi kapasitesinin birim maliyetini belirlemek için öğrenme eğrisi modeliyle Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu birleştirmişlerdir. Analiz için Danimarka (1986-1999), Almanya (1990-1999), İspanya (1990-1999) ve Birleşik Krallık (1991-2000) ülkelerindeki panel veriler kullanılarak farklı öğrenme eğrisi denklemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, öğrenme oranlarının tahminlerinin farklı model özellikleri ve ekonometrik yaklaşımlar arasında önemli ölçüde farklılık oluşabileceğini göstermiştir. Belirli bir teknoloji ile öğrenme oranlarındaki farklılıkların yalnızca farklı veri setlerini kullanmaktan kaynaklanmadığı, aynı zamanda farklı öğrenme eğrisi denklemleri ve ekonometrik yöntemlerin kullanılmasından da kaynaklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Öğrenme kavramının maliyetler üzerindeki etkisinin yönü kesin olmakla birlikte, bu etkinin boyutunun ne olduğu konusu belirsiz kalmıştır.

Ukpai ve Akenbor (2007), inşaat alanındaki firmaların fiyat teklifinde öğrenme eğrisi teorisinin etkinliğini incelemeye çalışmışlardır. Çalışma kapsamında öğrenme eğrisi etkisinin, işgücü ve dolayısıyla işletme maliyetlerinde düşüşe neden olduğu ve bunun da düşük bir sözleşme fiyatına sebep olduğuna ulaşmışlardır. Tecrübe ve uzmanlığın bir sonucu olarak, firmada daha uzun süre çalışanlar işi gerçekleştirirken daha az zaman harcarken, yeni bir çalışan standart performans süresinden bile daha fazla zaman harcayabilmektedir. Öğrenme etkisinin bir sonucu olarak, eski çalışanın işgücü maliyetleri düşerken yeni çalışanın işgücü maliyetleri yüksek olabilmektedir. Bu

nedenle, inşaat firmalarının yönetiminin, öğrenme eğrisi teorisinin uygulanmasını etkileyen zorlukları ortadan kaldırmak için uygun stratejik seçenekler geliştirmesi önerilmiştir.

Asgari ve Yen (2009), Malezya’da imalat ve hizmet endüstrisinde 1975-2003 yılları arasındaki verileri kullanarak öğrenme oranlarını tahmin etmişlerdir. Tahmin için, S eğrisi modeline uyacak bir yaklaşım olarak dinamik bir kübik öğrenme eğrisi modeli¹¹, neoklasik bir üretim fonksiyonuna dahil edilmiştir. Malezya’daki imalat ve hizmet endüstrilerindeki her bir alt sektörün dinamik teknolojik ilerlemesinin bu öğrenme modeliyle tahmin edilmesi sonucunda, öğrenme eğilimlerinin üç farklı şekilde davrandığı gösterilmiştir: minimum dışbükey, maksimum içbükey ve maksimum olmadan içbükey. Elde edilen sonuçlar, imalat endüstrilerinin çoğunun öğrenme oranlarının ilk yıllarda arttığı ve daha sonra azalarak minimum dışbükey öğrenme kategorisine girdiğini göstermiştir. Malezya’daki hizmet sektörlerinin, teknolojik öğrenmede hızlanma eğilimleri göstermekle birlikte bu eğilimi analiz etmek için daha uzun bir analiz süresinin tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın her bir Malezya imalat ve hizmet endüstrisinin yıllık öğrenme potansiyeline nicel bir bakış açısı sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca endüstriyel ve ekonomik büyümeyi sürdürebilmek için öğrenme potansiyeli az olan sektörlerle kıyasla nispeten daha fazla öğrenme potansiyeline sahip sektörlerle daha fazla önem verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Heng (2010), Singapur’daki 20 imalat endüstrisindeki öğrenme eğrilerini tahmin ederek öğrenme eğrisi etkisini deneysel olarak test etmeye çalışmıştır. Daha sonra, Güney Kore ve Japonya’daki 11 sektör için öğrenme eğrilerini tahmin ederek elde edilen öğrenme oranlarını karşılaştırmıştır. Bunun için ölçek etkisini öğrenme etkisinden ayırabilmek amacıyla öğrenme eğrisi denklemini neoklasik ekonomilerdeki Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile entegre etmiştir. Analizde 1990-2007 yılları arasındaki üretim verileri kullanılmıştır. Uygulamada 20 endüstri, 1950’lerin sonlarında sanayileşmenin başlamasından itibaren var olup çeşitlenen endüstriler geleneksel; elektronik ve hassas alet ve ekipman gibi endüstriler de yeni endüstriler olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Analiz sonuçları, tekstil endüstrisinde öğrenme etkisinin zayıf, elektronik, deri ve ahşap ürünler gibi sektörlerde ise fazla olduğunu göstermiştir.

Jain (2010), inovasyondan kaynaklanan bilginin hızlı bir şekilde yeni inovasyonlara yol açacağını ve inovasyonların bir öğrenme eğrisiyle karakterize edildiği görüşünü ileri sürmüştür. Bu çalışmada, inovasyon faaliyetlerinde bir öğrenme eğrisinin olup olmadığını araştırmak için ABD ve Kanada biyoteknoloji endüstrisindeki inovasyona ilişkin 1970-2007 dönemi verileri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, üretimdeki deneyim birikimi gibi inovasyon yeteneğinin de yaparak öğrenmeyle biriktiği ve inovasyonda bir öğrenme eğrisinin varlığından söz edilebileceği belirtilmiştir. İnovasyonun temelinde, yenilikçi yeteneğin üretimin artmasıyla deneyimin birikmesi

¹¹ Çok boyutlu bir model olan kübik öğrenme eğrisi modeli, disiplinlerin tek başına öğretilmesi yerine bir disiplini verirken aynı zamanda bireye yaparken öğrenme tekniklerinin ve öğrenme stillerinin ortaya koyulabildiği bir modeldir.

gibi yaparak öğrenmeyle birikmesi ve yenilikçi yetenekteki artışın verimlilik artışına yol açması vardır. Bireyler yaparak öğrenerek, farklı teknolojik alanlarda deneyim kazanarak verimliliği arttırmırlar. Bireylerden oluşan ekipler de birlikte çalışma becerilerini arttırarak yenilikçi bir verimlilik kaynağı oluşturmırlar.

Rehman ve Wizarat (2010), işgücü verimliliğine odaklanarak Pakistan’da işgücü öğrenmesini ölçmeyi ve analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda öğrenme eğrileri hem verimlilikle hem de maliyet tahminiyle ilişkilendirilerek simetrik olmayan S şekilli bir öğrenme eğrisi varsayılmıştır. S şekilli öğrenme eğrisini tahmin etmek amacıyla kübik bir polinom kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bunun için 1953-2008 döneminde Pakistan ekonomisindeki toplam verimlilik eğrileri kullanılmıştır. Sonuçlar, maliyet düşürme açısından öğrenen ekonomilerin varlığını, yani üretilen birim başına girdi maliyetlerinin, kümülatif üretim her iki katına çıktığında %0,51 azaldığını göstermiştir. Bu farklı bir ifade ile Pakistan imalat sektöründe bulunan %0,51’lik bir öğrenme oranının kümülatif deneyimdeki her %1’lik bir artışın ortalama maliyeti %0,51 azalttığı anlamına gelmektedir. Ampirik bulgular, yaparak öğrenme olgusunun önemli bir role sahip olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, işverenlerin işçilere eğitim ve geliştirme programları aracılığıyla sürekli olarak öğrenmeye teşvik etmesi gerektiği önerilmiştir.

Asgari ve Gonzalez-Cortez (2012), Meksika’nın emek yoğun endüstrilerden sermaye yoğun endüstrilere geçip geçmediği, Meksika’nın hangi imalat sanayilerine odaklanacağı, ileri teknolojik sanayilerin Meksika’da ilerleme gösterip göstermeyeceği ve endüstriyel imalat stratejisindeki hangi değişikliklerin Meksika’nın büyümesini arttırabileceği sorularına cevap aramışlardır. Bunun için Meksika’daki 21 imalat alt sektörü 2003-2008 yılları arasındaki veriler kullanılarak (9 alt sektöre yeniden gruplandırılarak) analize tabi tutulmuş ve ilerleme oranları neoklasik üretim fonksiyonuna entegre edilmiş doğrusal ve kübik bir model yardımıyla tahmin edilmiştir. Çeşitli endüstriler arasında 3 ana teknolojik öğrenme modeli bulunmuştur: Başlangıçta sürekli unutmanın veya öğrenmenin olduğu, ancak daha sonra unutilan bir öğrenme modeli, başlangıçta unutmanın daha sonra öğrenmenin olduğu içbükey bir öğrenme modeli ve sürekli unutmanın olduğu içbükey bir öğrenme modeli. Meksika imalat endüstrisinin zaman içerisinde unutmanın yüksek seviyelerde olduğu kötü bir performans sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Meksika’nın endüstriyel ve ekonomik büyümeyi sürdürebilmek için öğrenme potansiyeli gösteren orta-düşük ve orta-yüksek teknolojiye sahip endüstrilere yer verebileceği önerilmiştir.

Malyusz ve Pem (2014), matematiksel öğrenme eğrisi modellerinin tekrarlanan bir aktiviteyi gerçekleştirmek için gereken süre veya maliyeti tahmin etmek amacıyla inşaat alanında kullanımına odaklanmışlardır. Çeşitli öğrenme eğrisi modellerinin tahmin yeteneklerini ve emek yoğun inşaat operasyonları için veri sunum yöntemlerini değerlendirmek amacıyla keşifsel bir çalışmanın sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme, 2009 yılında Budapeşte’de yapılan bir ankete ve literatürden elde edilen verilere dayanmaktadır. İnşaat alanındaki faaliyetlerin gelecekteki

performansları için sıralı tahminler veren algoritmalar geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. 4 matematiksel model: Wright, De Jong, Stanford B ve S eğrisi modeli, 5 veri sunum yöntemi: birim, kümülatif ortalama, hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel ortalama ele alınmıştır. Çalışmada veri sunum yöntemlerinden tamamlanan etkinlikler için en uygun olanları kümülatif ve üstel ortalama yöntemleriyken, gelecekteki performans tahmini için de üstel ortalama yönteminin uygun olduğu belirtilmiştir. Matematiksel modeller içinde gelecek tahmini için Stanford B modelinin diğer modellerden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ranasinghe vd. (2016), hazır giyim imalat endüstrisindeki öğrenme eğrilerini deneysel olarak analiz etmek ve modellemek için Sri Lanka'daki büyük ölçekli bir giyim üreticisinden alınan 8 aylık günlük üretim verimliliği verilerini kullanmışlardır. Hazır giyim endüstrisindeki öğrenme sürecini anlamak ve kümülatif üretimle verimlilik arasındaki ilişkiyi belirlemekte doğru tahminler yapmak için en uygun modeli belirlemeye çalışmışlardır. Analiz için MINITAB 17'nin doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları, kümülatif montaj dikiş hatlarındaki öğrenme eğrilerinin hiperbolik olma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Analizde 'tekrarlanan stiller' ve 'yeni stiller' olarak kategorize edilen ürün türleri ve stilleri için sırasıyla 3 parametrelili hiperbolik modeli ve 2 parametrelili hiperbolik modelinden elde edilen öğrenme eğrilerinin en uygun eğriler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kim ve Lee (2017), ABD'de kaya gazı arama ve üretim endüstrisinde birçok firmanın faaliyetlerini ve üretimlerini sürdürebilmek için üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamışlardır. 2015-2016 döneminde zarara uğrayan bu sektördeki şirketlerin düşük emtia fiyatlarının üstesinden gelebilmek için verimliliklerini artırması gerektiği gerekçesiyle bu şirketlerin verimliliklerini test etmek ve petrol endüstrisinde kalma yeteneklerini analiz edebilmek amacıyla ABD Shale E&P şirketlerinin 2008-2016 yılları arasındaki yıllık rapor verileri kullanılarak öğrenme oranları hesaplanmıştır. Analizde zaman periyodu iki kısma bölünerek iki regresyon uygulanmıştır. İlk regresyon tüm araştırma dönemini kapsayan uzun vadeli bir modelken, ikinci regresyon 2014'ten 2016'ya kadar 3 yıllık verileri kullanan kısa vadeli bir modeldir. Uzun vadeli model öğrenme esnekliğini 0,0272, öğrenme oranını %1,87 ve çift sondaj sayımlarına yaklaşmak için gereken süreyi 3, 049 yıl olarak bulmuştur. Kısa vadeli model ise öğrenme esnekliğini 0,0464, öğrenme oranını %3,16 ve çift sondaj sayımlarına yaklaşmak için gereken süreyi 2 yıl olarak bulmuştur. İki model karşılaştırılarak kümülatif deneyimlerdeki düşüşün büyüklüğü ve öğrenme etkisi, büyük ölçüde üretim maliyetlerindeki hızlı düşüşe bağlanmıştır.

Hayashi vd. (2018), Cobb-Douglas üretim fonksiyonuyla genişletilmiş bir öğrenme eğrisi modeli kullanarak rüzgâr çiftliği geliştiricileri ve türbin üreticilerinin deneyim ve bilgi birikimiyle 2005-2012 dönemleri arasında Çin'in rüzgâr enerjisi endüstrisindeki verimlilik kazanımlarına nasıl katkıda bulunduğunu incelemişlerdir. Bunun için kayıtlı olan ve CDM kapsamında karbon kredisi veren 312 Çin rüzgâr çiftliğinin orijinal veri seti kullanılmıştır. Analizin ilk aşamasında sermaye

stoğunu, rüzgâr kaynağını, politikayı, enerji piyasası özelliklerini, endüstri çapındaki teknolojik ilerlemeyi ve firmanın sahipliğini ölçen değişkenler üzerinde güç üretimini genişleten panel veri analizi olan bir model kullanılmıştır. Model tahmini için Heckman'ın iki aşamalı tahmin prosedürü kullanılmıştır. Sonuçlar, deneyim ve bilgi birikiminin Çin rüzgâr çiftliklerinin üretim performansında, türbin boyutu ve birim türbin maliyetlerinde iyileştirmelere yol açmayacağını göstermiştir. Türbin maliyetlerindeki düşüşün, teknoloji geliştirme ve kalite güvencesine yapılan yatırımları engelleyen yoğun fiyat rekabeti ile sağlandığı belirtilmiştir.

2.2. Bilgi Kalıcılığı ve Organizasyonlar Arasındaki Bilgi Aktarımını İnceleyen Çalışmalar

Öğrenme eğrilerinin, ilk üretim döngülerinde işçilerin yetersizliğinden kaynaklanan zaman kaybının azalmasına yol açarak tekrarlayan görevlerde çalışanların performansını izlemek için etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Ancak bu durum organizasyonlar içinde değişen bazı dinamiklere bağlıdır. Organizasyonlar içinde işçiler bazen kazandıkları bilgiyi zamanla korumakta, bazen zamanla bir kısmını unutmakta veya farklı bölümler arasında verimliliği arttırmak amacıyla transfer etmektedir. Literatürde bilgi kalıcılığını ve organizasyonlar arasındaki bilgi aktarımını inceleyen birçok araştırma vardır.

Argote vd. (1990), organizasyonlarda öğrenmenin gerçekleşip gerçekleşmediğini ve organizasyonlar arasında aktarılıp aktarılmadığını incelemişlerdir. Bunun için 2. Dünya Savaşı sırasında Liberty gemilerinin üretiminden elde edilen aylık verileri, maksimum olasılık tahminiyle üretim işlevlerini azaltarak tersane genelinde bilgi kaybını ve bilgi transferlerini tahmin etmek için kullanmışlardır. Bağımlı değişken olarak tonaj ve kümülatif çıktı kullanılmıştır. Ayrıca, zaman geçişiyle ilişkili maliyet ve teknik ilerleme arasındaki ilişkiyi, artan kümülatif çıktıyla ilişkili olanlardan ayıran bir takvim zamanı belirlenmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar, yaparak öğrenmeden elde edilen bilginin değerinin azaldığını göstermiştir. Çalışma kapsamında organizasyonlar arasında bilgi transferlerine dair kanıtlar da bulunmuştur. Bu bağlamda üretime daha sonra başlayan organizasyonların, başlangıç tarihleri daha erken olanlara göre daha büyük bir verim elde ettiği gözlemlenmiştir. Yani üretime daha erken başlayan tersanelerden edinilen bilgiler, daha sonra üretime başlayan tersanelere fayda sağlamıştır.

Epple vd. (1991), Kuzey Amerika'da bir kamyon fabrikasında vardiyalar arasında tesis içi bilgi transferini analiz etmiştir. Tesis, 19 hafta boyunca tek vardiya ile çalıştıktan sonra ikinci bir vardiya eklenerek özellikle ikinci vardiya eklendikten sonra birinci ve ikinci vardiya arasında meydana gelen bilgi transferi değerlendirilmiştir. Epple vd. (1991), bilginin azalmasına, değişen bir öğrenme oranına ve tesis içi bilgi transferine izin vererek, geleneksel öğrenme eğrisi modelini genişletmişlerdir. Sonuçlar, biriktirilmiş bilginin önemli bir kısmının tesisin teknolojisinde somutlaştığı hipotezine karşı kanıt sağlamıştır. Çünkü zaman içerisindeki bilginin aktarımı ve vardiyalar arasındaki değişimi aynı üretim özellikleri kullanılmasına rağmen tam değildir. Bilginin önemli bir kısmının birinci

vardiyadan ikinci vardiyaya aktarılmasına rağmen, bu bilgi aktarımının eksik bir bilgi aktarımı olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz sonuçları son olarak 2. Dünya Savaşı sırasında gemi üreten tesislerin arasındaki bilgi transferini araştıran Argote vd. (1990) ile karşılaştırılmıştır. Argote vd. (1990)'nin gemi üretimine en erken başlayan tesisin deneyimlerinden faydalandığı yönündeki sonuçlarına benzer şekilde Epple vd. (1991) de işe daha erken başlayan çalışanların deneyimlerinden faydalandığı yönünde sonuçlara ulaşmıştır.

Epple vd. (1996), ek bir vardiya eklenmeden önce tek vardiyalı olarak 2 yıl işlem yapan bir otomotiv montaj fabrikasında tesis içi bilgi transferini ve bilgi kaybını analiz etmiştir. İlk önce tek vardiyalı olarak işlem yapan tesis daha sonra farklı bir teknoloji kullanarak iki vardiyalı olarak çalışmaya başlamıştır. İki vardiyalı çalışmanın başlatılmasından 12 ay önce 244 gözlem ve 15 ay sonra birinci vardiya için 326 gözlem, ikinci vardiya için 329 gözlem ele alınmıştır. Analizde maksimum olabilirlik yaklaşımı kullanılmıştır. İkinci vardiyanın başlamasından sonra bilginin birinci ve ikinci vardiya arasında aktarılıp aktarılmadığı, eğer bir bilgi aktarımı söz konusuysa nasıl aktarıldığı ve ayrıca iki vardiyalı çalışma sırasında iki vardiya arasında yaparak öğrenmeyle edinilen bilginin zaman içinde azalıp azalmadığı araştırılmıştır. Sonuçlar, tek vardiyalı işlem sırasında elde edilen bilgilerin iki vardiyalı sistemin her iki vardiyasına da aktarıldığını göstermiştir. İki vardiyalı sistemde birim başına öğrenme oranının tek vardiyalı sistemdeki öğrenmenin yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmüştür. Bu durumda öğrenmenin büyük bir kısmının ilk vardiyada gerçekleştiği ve bu bilginin ikinci vardiyaya aktarıldığı sonucuna varılmıştır.

Öğrenme eğrilerinin biçimi konusunda Wright'ın görüşleriyle neredeyse hemfikir olunmasına rağmen unutma sürecini etkileyen davranış ve faktörlere ilişkin genel bir anlayış geliştirilememesinden dolayı Jaber ve Bonney (1997), unutma sürecine ilişkin 3 model incelemiştir. Bu modeller: hem öğrenmenin hem de unutmanın zamanın bir fonksiyonu olarak varsayıldığı değişken regresyon modeli (VRIF), öğren-unut eğrisi modeli (LFCM) ve değişken unutmama modelidir (VRFM). Bu üç model arasındaki farklılıklar ve benzerlikler sayısal olarak incelenmiştir. VRIF ve VRFM'nin sabit bir unutmama eğrisi kullanırken, LFCM'nin değişken bir unutmama eğrisi kullandığı sonucuna varılmıştır. LFCM unutmama eğrisinin tahmin edilmesine izin verirken, VRIF ve VRFM unutmama eğimlerini nasıl elde ettiklerini belirtmez ve bu nedenle LFCM, bu eğimleri tahmin etmekte kullanılmıştır.

Benkard (2000), dört Lockheed L-1011 TriStar modelinden oluşan benzer ticari uçak modellerinin iki grubunu analiz etmiş ve 250 birimlik bir üretim sürecinde bilgi kaybının olup olmadığını test etmiştir. Bilgi yayılmalarına ve bilgi kaybına izin vermek için geleneksel öğrenme eğrisini genelleştirerek deneysel bir analiz gerçekleştirmiştir. Argote (2013), Benkard'ın sonuçlarının ürünler arasında eksik bilgi transferlerine rağmen bilgi kaybının gerçekleştiğini gösterdiğine dikkat çekmiştir. Bu durum da bilgi azalmasının yalnızca önceden edinilen bilgileri geçersiz kılan ürün değişikliklerinden kaynaklanmadığına işaret etmektedir. Benkard,

organizasyonel unutmayı yansıtacak şekilde deneyimi yeniden tanımlayarak geleneksel öğrenme eğrisini revize etmiştir. Bunun yanı sıra, Leontief üretim fonksiyonu kullanılarak üretim faktörleri sabit oranlarda alınmış ve faktörler arasında ikame olmadığı belirtilmiştir.

Levin (2000), sabit etkilerle sıradan en küçük kareler (OLS) regresyonunu kullanarak öğrenmeyi tahmin etmek için otomobil güvenilirlik faktörleri üzerine panel verileri kullanmıştır. Onarım oranını bağımlı değişken ve kümülatif çıktıyı da bağımsız değişkenlerden biri olarak ele almıştır. Daha sonra modele sırasıyla araba modeli çıktısı, bir zaman kukla değişkeni ve bölüm, firma ve 3 büyük çıktı bağımsız değişkenleri eklenmiştir. Aynı zamanda Levin (2000), bilgi azalmasının gerçekleşmediğini de test etmiştir. Daha sonra Levin kümülatif çıktı değişkenini modelden çıkararak bunun yerine modele bir zaman kukla değişkeni, bir tavan etkisi kukla değişkeni, bir üretim yılı değişkeni, Ford ve Chrysler kukla değişkenleriyle üretim yılı için etkileşim terimleri, ilk yıl değişkeni ve kontrol değişkenleri ekleyerek genişletmiştir. Çalışma sonunda, kararlı öğrenme eğrilerinin maliyet veya verimlilik alanlarıyla sınırlı olmadığı tespit edilmiştir. Bazı öğrenme eğrileri, kümülatif deneyimin bir işlevinden çok zamanın bir işlevi gibi görünmektedir. Bir ürün ilk kez üretildiğinde öğrenme eğrilerinin başlangıç aşamasında yapılan iyileştirmeler, daha sonraki üretim aşamalarında yapılan iyileştirmelerden daha önemli olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar, dışarıdan gelenlerden elde edilen bilgi birikiminin, üretim deneyimlerinin bir fonksiyonu olarak birikmediğini, ancak aynı zamanda dışarıdan gelen bilginin zamanla biriktiğini göstermiştir. Bu nedenle, üreticiler ürün kalitesiyle ilgili bilgileri ürün aileleri, bölümler ve firmalar arasında paylaşıyor ve bu da bilgi aktarımının var olduğunu göstermektedir.

Thornton ve Thompson (2001), Liberty olmayan gemi ve tersane verilerinin de dahil edildiği genişletilmiş bir veri seti kullanarak sıradan en küçük kareler (OLS) tahminiyle bir parametrik bir de yarı parametrik üretim fonksiyonu yardımıyla bilgi yayılmalarını tahmin etmişlerdir. Bağımlı değişken olarak işgücü ihtiyacı, bağımsız değişken olarak da sermaye stoğu, toplam çalışma saatleri, gemi omurgasının inşa edildiği tarihten oluşan bir deneyim vektörü alınmıştır. Yapılan çalışmada, öğrenmenin artması ve bilgi yayılımının verimlilik artışının önemli bir kaynağı olduğu ifade edilmiştir. Geleneksel öğrenme etkisi açısından, öğrenme etkisinin pozitif eğimli ve içbükey olduğu belirtilmiştir. Bu durum başlangıç aşamalarında yüksek öğrenme oranlarının olduğunu, daha yüksek deneyim seviyelerinde olumsuz etkilerin bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgularla birlikte, bilgi yayılımlarının firmaların büyümesine yardımcı olduğu, ancak dışsal öğrenmeden kaynaklanan piyasa başarısızlıklarının çok fazla olmadığı yorumu yapılmıştır.

Kim ve Seo (2009), döneme dayalı amortisman modellerinin kısıtlamalarının üstesinden gelen ve öğrenmeyi, bilgi transferlerini ve bilgi amortismanını farklı kurallarla yönetilen tek bir entegre çerçevede ölçen bir öğrenme eğrisi modelini incelemişlerdir. Burada öğrenmenin, üretilen kümülatif birimlere; bilgi azalması ise biriken bilgi miktarı ve bilginin edinilmesi ve kullanılması arasında geçen süreye bağlı olduğu belirtilmiştir. Kim ve Seo (2009), literatürdeki log-lineer değişim ve

birikim modellerini kullanarak öğrenme eğrilerini değerlendirmişlerdir. Bunun yanında bilgi edinimini ve bilgi azalmasını kendi ayırım kurallarına göre yakalayan yeni bir öğrenme eğrisi modeli önermişlerdir. Modellerini Liberty gemi üretimi veri kümesini kullanarak test etmişlerdir. Test sonucunda yaparak öğrenmenin verimlilik artışının ana kaynağı olduğunu keşfetmişlerdir. Dolaylı öğrenmenin verimliliğe potansiyel katkısının doğrudan öğrenmenin katkısının yaklaşık %40'ı kadar olduğu görülmüştür. Ayrıca, bilginin hızla değer kaybettiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle, bilgi azalmasının ve dolaylı öğrenmenin, üretim oranlarını ve maliyetlerini tahmin etmeyi amaçlayan öğrenme eğrisi modeli özelliklerine dahil edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Argote (2013), yaparak öğrenme yoluyla kazanılan organizasyonel bilginin zaman içinde kalıcı olup olmadığını belirlemek için 1972-1981 dönem aralığında uçak, gemi ve otomobil gibi mobil kaynaklı endüstrilerin yanı sıra fast food franchise gibi farklı endüstriler üzerine yapılan deneysel çalışmaların ikincil bir analizini gerçekleştirmiştir. İlk olarak Argote, Argote ve Epple (1990) ve Benkard (2000) tarafından çalışılan Lockheed L-1011 TriStar verilerini analiz etmiş ve bilginin zamanla azaldığı sonucuna varmıştır. Sonra Argote vd. (1990) tarafından 2. Dünya Savaşı sırasında Liberty gemilerinin üretimi ile ilgili yapılan deneysel bir çalışmayı gözden geçirmiştir. Daha sonra Argote vd. (1997) tarafından yapılan bilgi kaybının nispeten daha az olduğu otomobil montaj fabrikasıyla ilgili çalışmayı incelemiştir. Son olarak, Darr vd. (1995)'in fast food franchise üzerine yaptığı çalışmayı irdemiştir. Sonuçlar, yaparak öğrenme yoluyla kazanılan bilgilerin zamanla unutulduğu yönündedir. Bilgi kaybının olası nedenleri olarak ürünler ve süreçlerin değişmesinin eski bilgileri geçersiz kılması, organizasyonel kayıtların kaybolması veya ulaşımının zorlaşması, işgücü değişimi, bireylerin unutmasına yol açacak düzensiz üretim oranları gösterilebilir.

Gopal vd. (2013), Kuzey Amerika otomotiv endüstrisinde 1999'dan 2007'ye kadar eski Daimler-Chrysler, Ford, GM ve Toyota'ya ait 78 tesisin üretim ve lansman verilerini içeren Harbour raporlarını kullanarak ürün lansmanlarının bir fabrikanın üretkenliğini nasıl etkilediğini ve lansmanların neden olduğu kesintilerden kaynaklanan verimlilik düşüşlerinin nasıl azaltılabileceğini araştırmışlardır. Bu amaçla her lansmandan önceki 3 yıl incelenmiş ve 3 tür deneyim değerlendirilmiştir: platform deneyimi (lansman ürünleriyle aynı platformda üretilen ürün sayısı), lansman deneyimi (tesisdeki lansman sayısı), firma deneyimi (firma deneyimi dahilindeki lansman sayısı). Tesisin bu üç tür deneyimden öğrenip öğrenmediği ve bu tür deneyimlerden kazanılan bilgilerin zaman içinde unutulup unutulmadığı OLS ve Panel Veri Analizi yöntemiyle test edilmiştir. Çalışma sonucunda, platform deneyiminden elde edilen bilgilerin ve fabrikadaki geçmiş lansman deneyiminden edinilen bilgilerin, yeni bir ürünün lansmanı sırasında tesis verimliliğindeki düşüşleri azalttığı görülmüştür. Ayrıca analiz platform deneyiminden elde edilen bilgiler 3 yıl unutulmadığı, buna karşın lansman deneyimi yoluyla edinilen bilgilerin daha hızlı unutulduğu gözlemlenmiştir. Platform deneyiminin zaman içinde tutarlı bir şekilde edinilmesine karşın lansmanların ara sıra meydana gelmesi bunun nedeni olarak gösterilmiştir.

Levitt vd. (2013), bir otomobil montaj fabrikasında öğrenme ve bilgi transferlerini analiz etmiştir. Yapılan analizde üç model oluşturulmakla birlikte Model 1’de 12 haftalık, Model 2’de 17 haftalık ve Model 3’te 13 haftalık verilerle sabit etkili regresyon modeli kullanılmıştır. Yazarlar, öğrenmenin montaj sürecinde hata oranları üzerindeki etkisini tahmin etmek amacıyla nicel analizler yapmak için üretim verilerini, devamsızlık kayıtlarını ve garanti taleplerini kullanmışlardır. Bir otomobil fabrikasında vardiyalar arası bilgi transferlerini analiz eden Epple vd. (1991) ve 4 Lockheed L-1011 TriStar modelinden oluşan benzer ticari uçak modellerinin iki grubu arasındaki yaparak öğrenme ve bilgi transferlerini analiz eden Benkard (2000)’ın aksine Levitt vd. (2013), bağımlı değişken olarak birim maliyetler yerine kalite artışlarını analiz etmiştir. Birinci ve ikinci vardiyalar arasındaki bilgi transferinin bir kanıtı olarak en başından beri ikinci vardiyadaki hata oranlarının ilk vardiyadakinden daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yazarlar ayrıca üç model arasındaki bilgi aktarımını test etmişlerdir. Çeşitli bulgular, öğrenmeden elde edilen verimlilik kazanımlarının çalışanların beşerî sermayesinden daha fazla organizasyonda somutlaştığını göstermektedir. İşçi devamsızlığının hata oranlarıyla ilgili olduğu sonucuna da ulaşılmıştır.

Grup öğrenme eğrileri üzerine çalışan Glock ve Jaber (2014), grup öğrenme sürecinin temel özelliklerini literatürdeki verileri kullanarak tanımlamaya çalışmışlardır. Bu özelliklere dayanarak grup öğrenme eğrileriyle ilgili matematiksel bir formülasyon geliştirmişlerdir. Geliştirilen formülasyona göre, grup öğrenme eğrileri, bireysel öğrenme sürecini tanımlar ve grup üyeleri arasındaki bilgi aktarımını karakterize etmektedir. Hiçbir bilgi aktarımının olmaması durumunda grup öğrenme eğrisinin bireysel bir öğrenme eğrisine indirgendiği belirtilmiştir. 16 deneysel veri seti kullanılarak grup öğrenme eğrileri test edilmiş ve grup öğrenme eğrilerinin daha önce tanımlanan grup öğrenme süreçlerinin özellikleriyle uyduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ayrıca, grup seviyesindeki öğrenme sürecinin bireysel öğrenme süreçlerinin toplamından daha fazla olduğu hipotezini desteklemektedir. Grup üyeleri arasındaki bilginin başarılı bir şekilde aktarılması için bilginin uyumluluğuna, grup üyelerinin bilgi paylaşma ve alma istekliliğinin ve yeteneğinin de dikkate alınması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Agrawal ve Muthulingam (2015), bilginin azalmasının satıcıların performansını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla 2006-2009 yılları arasında Asya’daki büyük bir otomobil üreticisinin 295 tedarikçisinden gelen 2.732 kalite geliştirme girişimiyle ilgili verileri analiz etmişlerdir. Bilginin eskime oranını hangi faktörlerin etkilediğini anlamak için girişimin türünü ve bilginin bir organizasyon içinde nerede bulunduğunu daha ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Bunun için yaparak öğrenme ve uyarılmış öğrenme olmak üzere iki tür öğrenme arasında ayrım yapmışlardır. Çalışmanın sonuçları bilginin azalmasının yaparak öğrenme ve kalite geliştirme girişimlerinden elde edilen kalite kazanımlarını etkilediğini göstermektedir.

Tablo 3 ve Tablo 4, yukarıda açıklanmış olan ampirik çalışmaları özet olarak raporlamaktadır.

Tablo 3: Öğrenme Eğrileri Üzerine Sektör Bazlı Çalışmalar

Kaynak (Yıl)	Sektör	Yöntem	Bulgular
Wright (1936)	Uçak İmalat	Basit Regresyon Analizi	Kümülatif üretim miktarı arttıkça, öğrenme aracılığıyla birim üretim maliyetleri azalmıştır.
Rapping (1965)	Gemi İmalat	Basit Regresyon Analizi	Kümülatif üretim miktarı arttıkça, öğrenme aracılığıyla birim üretim maliyetleri azalmıştır.
Womer ve Patterson (1983)	Uçak, tekstil ve baskı sektörü	Regresyon Analizi	Kümülatif üretim miktarı arttıkça, birim üretim maliyetleri azalmıştır.
Dutton ve Thomes (1984)	Elektronik, makine aletleri, uçak, giyim, kâğıt yapımı ve otomobil	Regresyon Analizi	İlerleme oranının sabit olmayıp, yönetsel kararlardan etkilenmektedir.
Lieberman (1984)	Kimya Endüstrisi	Basit Regresyon Analizi	Kimya endüstrisinde öğrenme eğrilerinin yaygın kullanımı gösterilmiştir.
Lieberman (1989)	Kimya Endüstrisi	Logit Model	Kümülatif çıktıdaki farklılıkların firmalar arasında maliyetleri karşılaştırmada zayıf bir kıstas oluşturmaktadır.
Badiru (1992)	Üretim Verileri	Çoklu Regresyon Analizi	Çok değişkenli modeller, öğrenme eğrilerinin daha güvenilir tahmin edilmesini sağlar.
Moses (1992)	Üretim Verileri	Tek Yönlü Varyans Analizi	Tahmin edilen maliyet kalemi öğrenme unsuru içermiyorsa, geleneksel öğrenme eğrisi modelinin gelecekteki maliyetleri hatalı tahmin etmektedir.
Nembhard ve Uzumeri (2000)	İmalat Endüstrisi	Basit Regresyon Analizi	Öğrenme haritasının oluşturulması, yöneticiler için eğitim programlarının, görev atamalarının değerlendirilmesinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır.
Thompson (2001)	Gemi İmalat	İlişkisiz Regresyon	Verimlilik artışının bir kısmının kalite, bir kısmı da verimlilik artışından kaynaklanmaktadır.
Albeni (2004)	İmalat Sanayi	Basit Regresyon Analizi	Gelişmişlik düzeyi yüksek olan illerde öğrenme hızı yüksektir.
Karaöz (2004)	İmalat Sanayi	Basit Regresyon Analizi	28 alt sektör, teknolojik öğrenme oranlarına göre teknolojik yoğunluklarını gösteren “orta-yüksek”, “orta-düşük” ve “düşük” olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.
Rubin vd. (2004)	Enerji	Regresyon Analizi	Enerji sektöründe üretim arttıkça, birim maliyetler düşmektedir.
Coulomb ve Neuhoff (2006)	Rüzgâr Enerjisi	Regresyon Analizi	Rüzgâr enerjisi sektöründe üretim arttıkça, birim maliyetler düşmektedir.
Shinoda vd. (2009)	Elektrikli Araç	Regresyon Analizi	Öğrenme tahminlerinde fiyat, birim maliyetlerin iyi bir göstergesi değildir.
Balasubramanian ve Lieberman (2010)	İmalat Sektörü	Basit Regres. An.	Ar-Ge ve reklâm yoğunluğu olan sektörlerde daha hızlı öğrenme söz konusudur.
Schoots vd. (2010)	Yakıt Hücresi Üretimi	Regresyon Analizi	Bireysel ve küresel olarak yakıt hücreleri için öğrenme eğrileri oluşturulabileceği gözlemlenmiştir.
Raman ve Varghese (2014)	İnşaat	Regresyon Analizi	Öğrenme süreci, bireylerin ve grupların aynı görevi yapmasından ve deneyimlerinden kaynaklanmaktadır.
Moore (2015)	Uçak Endüstrisi	ANOVA ve Dunnett Testi	Sonuçlar öğrenmenin etkilerine ve bu etkilerin nasıl değerlendirilebileceğine dair ön fikirler sağlamaktadır.
Nykqvist ve Nilsson (2015)	Elektrikli Araç	Regresyon Analizi	Elektrikli araç sektöründe kümülatif çıktı arttıkça, maliyetler düşmektedir.

Tablo 3: (Devamı)

Kaynak (Yıl)	Sektör	Yöntem	Bulgular
Attia vd. (2016)	Elektrik Motorları	Regresyon Analizi	Tek değişkenli modellerden en uygun olanları Wright ve Knecht'in modelleri iken, 2 ve 3 parametrelili modellerde en kötü performansa sahip olan modeller ise Mazur ve Hastie'nin öğrenme modelleridir.
Sroul vd. (2016)	İnşaat Sektörü	Regresyon Analizi	Kümülatif üretim arttıkça, üretim maliyetleri düşmektedir.
Çalmaşur (2020)	Türk Bilgi Yoğun Hizmetler	Regresyon Analizi	Sektörler arasında öğrenme eğrilerinde görülen farklılıkların olası nedenleri arasında teknolojik faaliyetler, Ar-Ge harcamaları ve üretim sürecindeki farklılıklar yer almaktadır.
Argote vd. (1990)	Gemi Üretimi Endüstrisi	Regresyon Analizi	Organizasyonlar arasında bilgi transferine dair kanıtlar vardır.
Eppel vd. (1996)	Otomotiv Montaj	Regresyon Analizi	Tek vardiyalı işlem sırasında elde edilen bilgiler, iki vardiyalı sistemin her iki vardiyasına da aktarılmaktadır.
Benkard (2000)	Uçak İmalat Endüstrisi	Regresyon Analizi	Bilgi aktarımı ve bilgi kaybının varlığı söz konusudur.
Levin (2000)	Otomobil	Basit Regresyon Analizi	Öğrenme eğrileri, maliyet ve verimlilikle sınırlı değildir ve bilgi aktarımı söz konusudur.
Thornton ve Thompson (2001)	Gemi İmalat Endüstrisi	Basit Regresyon Analizi	Öğrenmenin artması ve bilginin aktarımı, verimlilik artışının önemli bir kaynağıdır.
Kim ve Seo (2009)	Gemi Üretim Endüstrisi	Regresyon Analizi	Yaparak öğrenme, verimlilik artışının ana kaynağı oluşturmaktadır.
Argote (2013)	Mobil Kaynaklı Endüstriler	Regresyon Analizi	Yaparak öğrenme yoluyla kazanılan bilgiler, zamanla unutulmaktadır.
Levitt vd. (2013)	Otomotiv Montaj	Regresyon Analizi	Birinci ve ikinci vardiyalar arasında bilgi transferinin kanıtı, ikinci vardiyadaki hata oranlarının ilk vardiyadan daha düşük olmasıdır.
Agrawal ve Muthulingam (2015)	Otomobil	Regresyon Analizi	Bilginin azalması yaparak öğrenme ve kalite geliştirme girişimlerinden elde edilen kalite kazanımlarını etkilemektedir.

Tablo 3'te özetlenen çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, sektör içerisinde kümülatif üretim arttıkça maliyetlerde meydana gelen düşüşün öğrenmeden kaynaklanan verimlilik artışına bağladığı anlaşılmaktadır.

Tablo 4: Öğrenme Eğrileri Üzerine Ülke Bazlı Çalışmalar

Kaynak (Yıl)	Ülke (Sektör)	Yöntem	Bulgular
Adler ve Clark (1991)	ABD (Elektrik Ekipman)	Nitel Analiz	Emek yoğun süreçler kadar makine yoğun süreçler de öğrenmeye önemli ölçüde izin vermektedir.
Bahk ve Gort (1993)	ABD	Basit Regresyon Analizi	Yaparak öğrenme oranı, öğrenme türüne göre değişmektedir.
Heng ve Low (1995)	Singapur, G. Kore Japonya (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	En az öğrenmenin olduğu sektör makine, en yüksek olan ise hassas aletler endüstrisidir.
Klenow (1998)	ABD (İmalat)	Regresyon Analizi	Deneyimin bir teknoloji yardımıyla artması, yaparak öğrenmeden elde edilen verimlilik kazanımlarını azaltmaktadır.
Prognongkit vd. (2000)	Tayland (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	Ağır imalat sanayi, hafif imalat sanayinden daha yüksek bir öğrenme potansiyeline sahiptir.
Chung (2001)	Kore (Yarı İletken)	Regresyon Analizi	Getiri verilerine göre yapılan tahminler, Kore endüstrisindeki öğrenme hipotezlerini destekler niteliktedir.

Tablo 4: (Devamı)

Kaynak (Yıl)	Ülke (Sektör)	Yöntem	Bulgular
Ibenholt (2002)	Danimarka, Almanya, B. Krallık (Rüzgâr Enerjisi)	Regresyon Analizi	Öğrenme düzeyinin artması, maliyetleri düşürmektedir.
Pramongkit vd. (2002)	Tayland (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	Teknolojik olarak daha az karmaşık endüstrilere göre teknolojik gelişmişliği yüksek olan endüstrilerin öğrenme eğrileri daha diktir.
Macher ve Moverly (2003)	ABD, Avrupa ve Asya (Yarı İletken)	AR(1) Modeli	Üretim arttıkça, öğrenme düzeyinin de artmaktadır.
Albeni (2005)	Türkiye (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	Özel sektör, kamu sektörüne göre daha iyi öğrenmektedir.
Pan ve Köhler (2007)	İngiltere (Rüzgâr Enerjisi)	Regresyon Analizi	Öğrenme eğrileri, Ar-Ge faaliyetleri ile desteklenmelidir.
Söderholm ve Sundqvist (2007)	Danimarka, Almanya, İspanya, B. Krallık (Rüzgâr Enerjisi)	Panel Veri Analizi Yöntemi	Öğrenme oranı tahminlerinin farklı model özellikleri ve ekonometrik yaklaşımlar arasında önemli ölçüde farklılıklar vardır.
Ukpai ve Akendor (2007)	Nijerya (İnşaat)	Basit Regresyon Analizi	Öğrenme eğrileri, işletme maliyetlerinde düşüşe yol açmaktadır.
Asgari ve Yen (2009)	Malezya (İmalat ve Hizmet)	Regresyon Analizi	Öğrenme eğrileri, minimum dışbükey, minimum içbükey ve maksimum olmadan içbükey şekilde davranmaktadır.
Heng (2010)	Singapur (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	İmalat sanayinde öğrenme, en yüksek elektronik, deri ve ahşap ürünlerde; en az tekstil ürünlerindedir.
Jain (2010)	ABD ve Kanada (Biyoteknoloji)	Regresyon Analizi	İnovasyonda bir öğrenme eğrisinin varlığından söz konusudur.
Rehman ve Wizarat (2010)	Pakistan (İmalat)	Regresyon Analizi	Kümülatif üretimdeki artışın maliyetlerde meydana getirdiği düşüş, öğrenmeden kaynaklanan verimlilik artışıdır.
Asgari ve Gonzalez-Cortez (2012)	Meksika (İmalat)	Basit Regresyon Analizi	İmalat sanayinde öğrenme etkisi söz konusudur.
Malyusz ve Pem (2014)	Budapeşte (İnşaat)	Regresyon Analizi	Gelecek tahmini için Stanford B modeli diğer modellerden daha iyi sonuçlar vermektedir.
Ranasinghe vd. (2016)	Sri Lanka (Hazır Giyim)	Doğrusal Olmayan Reg. An.	Kümülatif montaj dikiş hatlarındaki öğrenme eğrileri, hiperbolik olma eğilimlidir.
Kim ve Lee (2017)	ABD (Kaya Gazı)	Regresyon Analizi	Öğrenme etkisi, büyük ölçüde üretim maliyetlerindeki hızlı düşüşe bağlıdır.
Hayashi vd. (2018)	Çin (Rüzgâr Enerjisi)	Panel Veri Analizi	Deneyim ve bilgi birikimi, rüzgâr çiftliklerinin üretim performansında iyileştirmelere yol açmamaktadır.
Eppl vd. (1991)	Kuzey Amerika (Kamyon)	Regresyon Analizi	Bilginin önemli bir kısmının birinci vardiya'dan ikinci vardiya'ya aktarılmasına rağmen, eksik bilgi aktarımı söz konusudur..
Gopal vd. (2013)	Kuzey Amerika (Otomotiv Endüstrisi)	OLS ve Panel Veri Analizi Yöntemi	Elde edilen yeni deneyimlerin, tesis verimliliğinde düşüşleri azaltmaktadır..

Tablo 4'te özetlenen çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, üretim düzeyi arttıkça öğrenme düzeyinin arttığı ve maliyetlerin düştüğü; ancak öğrenmenin belirli bir noktadan sonra Ar-Ge faaliyetleri ile desteklenmesi gerektiği, bilgi aktarımının öğrenmeyi hızlandırmasına rağmen eksik bilgi aktarımının söz konusu olabileceği görülmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

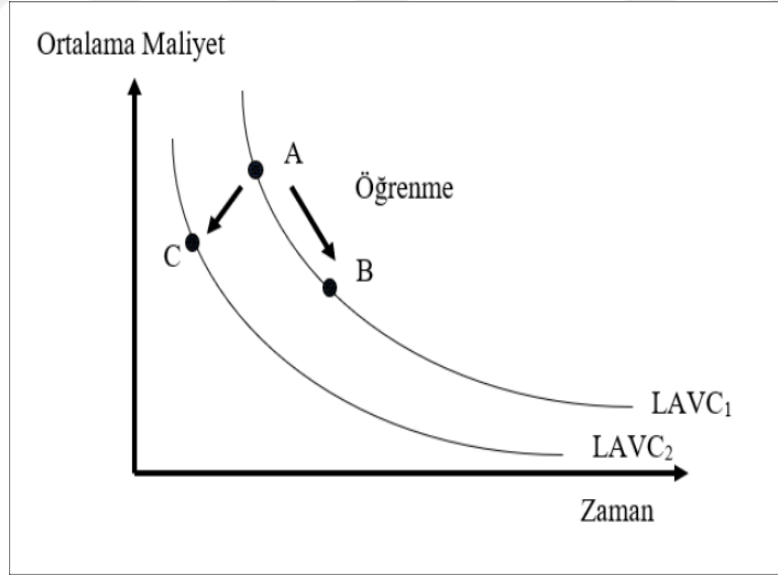
3. ÖĞRENME ESNEKLİKLERİNİN PANEL VERİ ANALİZİ ARACILIĞIYLA TAHMİN EDİLMESİ ve ÖĞRENME ORANLARININ HESAPLANMASI

Bu tez çalışmasında AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin ülkeler bazında analizi yapılmıştır. Tezin bu bölümünde analiz süreci için kullanılacak model ve veri seti tanıtılmış, yöntem hakkında bilgi sunulmuş ve analize yönelik ön test ve bulgu sonuçlarına yer verilmiştir.

3.1. Model ve Veri Seti

Bu tez çalışmasının modelini oluşturmak için, literatürdeki benzer çalışmalardan hareketle öğrenme eğrisi fonksiyonu ve neo-klasik üretim fonksiyonu birleştirilmiştir.

Şekil 11: Öğrenme ve Ortalama Maliyetlerin Seyri



Kaynak: Heng ve Low, 1995: 23

Öğrenme ve ortalama maliyetlerin seyri şekli (Şekil 11), uzun dönemde artan getiri koşullarında bir firmanın ortalama maliyetini temsil etmektedir. Öğrenme durumunun gerçekleşmesi kısa dönemde maliyetleri $LAVC_1$ doğrusu üzerinde A noktasından B noktasına getirmektedir. Zaman içerisinde teknoloji ve benzeri üretim maliyetini azaltıcı faktörlerin de devreye girmesi ile üretim

maliyeti $LAVC_2$ doğrusu üzerinde ve A noktasına paralel C noktası seviyesine gerilemektedir. Öğrenmenin ortalama maliyetler üzerinde meydana getirdiği düşme yönündeki bu değişme (A noktasından B noktasına) önemli görülmüş ve öğrenme eğrisi fonksiyonu literatürde Morishima (1982), Johnson (1982), Cohen (1987), Kang (1987), Vogel (1987), Lincoln (1988), Heng ve Low (1995) ve Pramongkit, Shawyun ve Sirinaovakul (2000)'ün çalışmalarında farklı örneklemeler üzerinden araştırılmıştır. Bu çalışmalarda öğrenme eğrisi fonksiyonu;

$$c_t = c_{11} X_t^{-\alpha} \quad [3.1]$$

olarak ifade edilmiş ve [3.1] numaralı eşitlik, aşağıdaki gibi logaritmik biçime dönüştürülmüştür.

$$\ln c_t = \ln c_{11} - \alpha \ln X_t \quad [3.2]$$

[3.2] numaralı eşitlikte;

c_t : t döneminde üretilen bir birim ürün için kullanılan emek miktarı,

c_{11} : ilk üretilen ürün için kullanılan emek miktarı,

X_t : kümülatif üretim miktarı,

α : t dönemi kümülatif üretim miktarının emek maliyeti üzerindeki esneklik katsayısıdır. ($\alpha > 0$)

Öğrenmenin ortalama maliyetler ve ilgili dönemde üretim için kullanılan emek miktarını azaltması beklendiğinden, α katsayısının işaretinin de negatif olması öngörülmektedir. α katsayısının daha büyük bir değer alması, üretim sürecinde öğrenme etkisinin daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Böylelikle kümülatif üretim miktarının sürekli olarak katlanarak artması durumunda kümülatif birim başına maliyetlerin de giderek azalan bir seyir izlemesi beklenmektedir. Bu etki öğrenme etkisinin bir sonucu olarak görülmekte ve öğrenme oranı, öğrenme esnekliği eşitliği ($d = 2^{-\alpha}$) ile hesaplanmaktadır (Heng ve Low, 1995: 22). Örneğin, öğrenme oranı %60 (0.60) ise bu durum üretim her iki katına çıktığında üretim maliyetlerinin, ilk maliyetlerin %60'ı kadar olacağını ifade etmektedir. Şöyle ki, ilk üretim maliyeti 100 TL olarak alınırsa ikinci üretim maliyeti $100 \cdot (0.60) = 60$ TL, dördüncüyü üretmenin maliyeti $60 \cdot (0.60) = 36$ TL ve sekizinci üretim maliyeti $36 \cdot (0.60) = 21.6$ TL olacaktır.

Üretim sürecinde öğrenme oranı etkisini ölçebilmek için literatürde Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$Q_t = A_t K_t^\gamma L_t^\beta \quad [3.3]$$

[3.3] numaralı eşitlikte gösterilen Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda Q, üretim miktarını; A, veri teknoloji düzeyindeki çoklu faktör verimliliğini; K, kullanılan sermaye miktarını; L, istihdam

edilen emek miktarını göstermektedir. γ ve β parametreleri ise sırasıyla sermaye ve emeğin çıktı esneklik katsayılarını temsil etmektedir. Bu iki parametrenin toplamı ($\gamma+\beta$) üretimde ölçeğe göre getirinin bir ölçüsüdür.

Cobb-Douglas üretim fonksiyonu logaritmik düzeye çevrilmesi durumunda [3.4] numaralı denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ln Q_t = \ln A_t + \gamma \ln K_t + \beta \ln L_t \quad [3.4]$$

Üretim sürecinde öğrenmenin ortaya çıkaracağı etki, Cobb-Douglas üretim fonksiyonundaki teknoloji düzeyini (A) etkilemesi beklenir ve bu etki aşağıdaki eşitlikteki gibi gösterilmektedir.

$$A_t = H X_t^a \quad [3.5]$$

Bu eşitlikteki X_t değeri, t dönemine kadarki kümülatif üretim miktarını; H ise kümülatif üretim miktarı ve t dönemindeki teknoloji düzeyi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. [3.5] eşitliği logaritmik düzeyde gösterilirse, yeni gösterim [3.6] numaralı denklemdeki gibi olacaktır.

$$\ln A_t = \ln H + a \ln X_t \quad [3.6]$$

[3.6] numaralı eşitlik, [3.4] numaralı logaritmik düzeydeki Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda yerine koyulursa, yeni eşitlik [3.7] numaralı denklemdeki şekle dönüşecektir.

$$\ln Q_t = \ln H + a \ln X_t + \gamma \ln K_t + \beta \ln L_t \quad [3.7]$$

[3.7] numaralı denklem, bir birim üretim için kullanılan emek miktarı cinsinden (L/Q) logaritmik düzeyde yeniden yazılacak olursa, yeni eşitlik [3.8] numaralı denklem elde edilecektir.

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - a \ln X_t - \gamma \ln K_t + (1 - \beta) \ln L_t \quad [3.8]$$

Cobb-Douglas üretim fonksiyonundaki üretim miktarı arttıkça kullanılan sermaye ve emek faktörleri arasındaki ilişki, $K_t = \mu L_t^\lambda$ gibi üstel bir fonksiyon ile açıklanmaktadır (Heng ve Low, 1995: 24; Pramongkit vd., 2000: 190). Teknoloji düzeyinin sabit olduğu varsayımında üretim miktarındaki artış, kullanılan sermaye ve emek faktörleri tarafından belirlenmektedir. Sermaye ve emek faktörleri arasındaki üstel fonksiyon [3.8] numaralı denkleme ilave edilirse [3.9] numaralı denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - a \ln X_t + (1 - \beta - \gamma\lambda) \ln L_t \quad [3.9]$$

[3.9] numaralı nihai denklemde $\ln L_t$ 'nin katsayısı $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ sıfıra eşit olduğunda [3.9] numaralı denklem [3.1] numaralı denklemde gösterilen öğrenme eğrisi fonksiyonu ve [3.2] numaralı denklemde gösterilen logaritmik düzeydeki denklemle aynı olacaktır.

$\ln L_t$ değerinin katsayısının $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ sıfıra eşit olduğu durumdaki [3.9] numaralı denklem, yeni öğrenme eğrisi formu ile [3.10] olarak ifade edilmektedir:

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - \alpha \ln X_t \quad [3.10]$$

Logaritmik düzeyde gösterilen öğrenme eğrisi fonksiyonu [3.2] numaralı denklemde şöyle gösterilmiştir:

$$\ln c_t = \ln c_{11} - \alpha \ln X_t \quad [3.2]$$

Bu denklem setlerinde gösterimsel olarak sadece iki farklılık söz konusudur. [3.10] numaralı denklemdeki bağımlı değişken olan $\ln(L/Q)_t$, t öneimindeki bir birim için kullanılan emek miktarının logaritmik düzeydeki gösterimidir. [3.2] numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln c_t$ nin t döneminde üretilen bir birim ürün için kullanılan emek miktarının logaritmik gösterimi olduğu yukarıda ifade edilmiştir. Sonuç olarak logaritmik düzeyde gösterilen [3.2] denklemindeki öğrenme eğrisi fonksiyonunda yer alan bağımlı değişken $\ln(L/Q)_t$ ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonun türevi niteliğini taşıyan logaritmik düzeydeki [3.10] numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln c_t$, aynı tanım ve değerleri temsil etmektedir.

[3.2] ve [3.10] numaralı denklem setindeki ikinci gösterimsel farklılık, sabit katsayı değerlerinin gösteriminden kaynaklanmaktadır. [3.2] numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln c_t$ ve [3.10] numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln(L/Q)_t$ birbirlerine eşitse ve her iki denklemde de $\alpha \ln X_t$ değeri ortak olduğuna göre [3.2] denklemindeki $\ln c_{11}$ sabit katsayı değeri ile [3.10] denklemindeki $(-\ln H - \gamma \ln \mu)$ sabit katsayı değeri de birbirine eşit olacaktır.

[3.9] numaralı denklemde $\ln L_t$ değerinin katsayısının $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ sıfıra eşit olmaması durumunda ise, geleneksel öğrenme eğrisi modeline $\ln L_t$ değişkeninin de eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda hata teriminin de dahil edileceği logaritmik düzeydeki nihai öğrenme eğrisi fonksiyonu [3.11] ve logaritmik düzeydeki üretim fonksiyonu [3.12] gibi olacaktır.

$$\ln c_t = \ln c_{11} - \alpha \ln X_t + (1 - \beta - \gamma\lambda) \ln L_t + u_t \quad [3.11]$$

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - \alpha \ln X_t + (1 - \beta - \gamma\lambda) \ln L_t + u_t \quad [3.12]$$

[3.11] numaralı denklemdeki nihai öğretim eğrisi fonksiyonu ve [3.12] numaralı denklemdeki nihai üretim fonksiyonu birbirine denk fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar basitleştirilip tek bir fonksiyon haline dönüştürülmek istenirse [3.13] numaralı denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ln c_t = \phi_0 + \phi_1 \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t \quad [3.13]$$

[3.13] numaralı nihai fonksiyon denkleminde c_t , $(L/Q)_t'$ yi; ϕ_0 sabit katsayısı $\ln c_{11}$ [3.11 modeli için] ve $-\ln H - \gamma \ln \mu'$ yi [3.12 modeli için]; ϕ_1 parametresi $-\alpha$ katsayısını; ϕ_2 parametresi $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ katsayısını ve u_t de hata terimini temsil etmektedir.

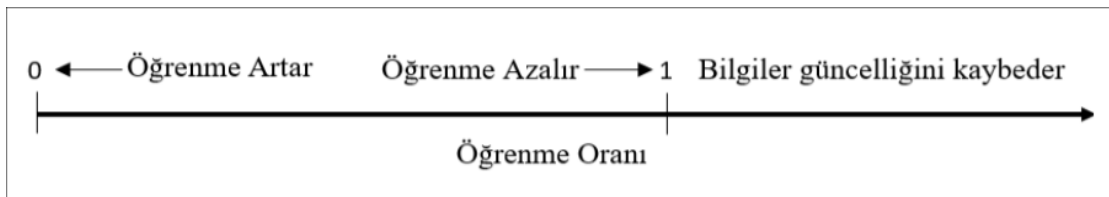
$d = 2^{-\alpha}$ formülü ile hesaplanacak olan öğrenme oranındaki $-\alpha$ katsayısı, yani öğrenme esnekliği, ϕ_1 parametresinin alacağı değerdir. Böylelikle çalışmanın modeli [3.14] numaralı denklemde gösterildiği gibi ortaya çıkacaktır.

$$\ln c_t = \phi_0 - \alpha \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t \quad [3.14]$$

[3.14] numaralı modelde, c_t , t döneminde üretilen bir birim için kullanılan emek miktarını; X_t , kümülatif üretim miktarını; L_t , t döneminde istihdam edilen emek miktarını göstermektedir.

Öğrenme esnekliği katsayısı (α) üzerinden $d = 2^{-\alpha}$ formülü ile hesaplanacak olan öğrenme oranının (d), normal şartlar altında 0 (%0) ve 1 (%100) arasında değerler alması beklenmektedir. Öğrenme oranı katsayısının 0 değerine yaklaşması öğrenmenin arttığı, 1 değerine yaklaşması ise öğrenmenin azaldığı anlamına gelmektedir. Beklenen durumun aksine öğrenme oranı katsayısının 1 değerinden büyük olması, öğrenme yerine üretim sürecindeki bilgilerin unutulduğu ya da bilgilerin güncelliğini kaybettiği şeklinde yorumlanmaktadır (Stevenson, 1996:345-346). Örneğin, $\alpha = 3.268$ olması durumunda elde edilen $d = 2^{-\alpha} = 2^{-3.268} = 0.10$ öğrenme oranı 0'a yaklaştığı için öğrenmenin yüksek olduğu söylenebilir. Buna karşılık $\alpha = 0.05$ olması durumunda $d = 2^{-0.05} = 0.96$ öğrenme oranı 1'e yaklaştığı için öğrenmenin düşük olduğu yorumu yapılabilir. Eğer $\alpha = -0.90$ gibi bir değerse öğrenme oranı $d = 2^{-\alpha} = 2^{0.90} = 1.87$ elde edilir ki bu değer 1'den büyük olması bilgilerin unutulduğu ya da güncelliğini kaybettiği anlamına gelmektedir.

Şekil 12: Öğrenme Oranının Yorumlanması



Bilimsel araştırma sürecinin en önemli aşamalarından bir tanesi çalışmanın modeline ait değişkenler için veri toplama sürecidir. Modele uygun verilerin toplanmasının yanı sıra güvenilir kaynaklardan doğru verilerin temin edilmesi de çalışmanın geçerlilik ve güvenilirliğini önemli derecede etkilemektedir.

Tablo 5: Analizde Kullanılan Değişkenlerin Açıklaması ve Kaynakları

Değişken	Tanım	Açıklama	Kaynak
c_t	t dönemi için ürünün birim maliyeti	t dönemi için kullanılan işgücü miktarının üretim miktarına oranlanması ile hesaplanmıştır.	Avrupa İstatistik Ofisi (https://ec.europa.eu/eurostat)
X_t	t dönemine kadar kümülatif üretim miktarı	t dönemine kadar yıllık üretim miktarlarının toplanması ile hesaplanmıştır.	Avrupa İstatistik Ofisi (https://ec.europa.eu/eurostat)
L_t	t dönemi için kullanılan işgücü miktarı	t dönemi için kullanılan işgücü miktarıdır.	Avrupa İstatistik Ofisi (https://ec.europa.eu/eurostat)

Tablo 5’te de gösterildiği üzere çalışmanın modeli kapsamında kullanılan veri seti yıllık işgücü miktarı, yıllık gayrisafi katma değer (gross value added) ve gayrisafi yurtiçi hasıla (gdp) deflatöründen oluşmaktadır. Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) veri tabanından temin edilen veri seti, modeldeki kullanıma uygun hale getirilmek için yıllık gayrisafi katma değer, gayrisafi yurtiçi hasıla deflatörü kullanılarak reel üretim miktarına dönüştürülmüştür. Kümülatif üretim miktarı, yıllık üretim miktarlarının birikimli olarak toplanması ile elde edilirken; ilgili dönem için üretim maliyeti ise modele uygun olarak kullanılan işgücü miktarının üretim miktarına oranlanması ile elde edilmiştir. İlgili seriler logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur. Çalışmanın dönem aralığı olarak 2004-2020 döneminin tercih edilmesi örneklem grubu için veri setine ulaşım kısıtından kaynaklanmaktadır.

Çalışmanın amacı kapsamında AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin ülkeler bazında analizinin yapılabilmesi için [3.14] numaralı çalışmanın modelindeki parametreler E-views, Stata ve Gauss ekonometrik paket programlar kullanılarak panel veri analizi ile tahmin edilecektir. Modelin çözüm sonuçlarında tahmin edilen $-\alpha$ katsayısı öğrenme oranı formülünde ($d = 2^{-\alpha}$) yerine koyularak çalışmanın örneklem grubu ve her bir sektör için hesaplanan öğrenme oranları yorumlanacaktır.

3.2. Yöntem ve Metodoloji

Bu çalışmada amaç, AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin ülkeler bazında analizinin yapılmasıdır. Veri setindeki değişkenlerin yıllık olarak temin edilmesi ve zaman boyutunun 17 yıl ile sınırlı olması nedeniyle çalışmanın yönteminde panel veri analizi tercih edilmiştir. Yatay kesit ve zaman boyutunun birleştirildiği panel veri analizlerine literatürde ilk defa Hildreth (1950), Kuh (1959), Grunfeld ve Griliches (1960), Zellner (1962), Balestra ve Nerlove (1966) ile Swamy

(1970)'nin çalışmalarında rastlanılmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2012: 3). Bununla birlikte bilimsel araştırma sürecinde 1990 yılı sonrasında daha fazla ve güvenilir niceliksel veriye ulaşılmaya başlanması ile panel veri analizinin de bilimsel çalışmalarda kullanılma sıklığı artmıştır.

Panel veri analizi, zaman boyutuna sahip yatay kesitler üzerinden oluşturulan panellerdeki değişkenler arasındaki ekonomik ilişkilerin tahmin edilme yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Panel veri analizinde paneli oluşturan yatay kesit sayısının (N), zaman boyutundan (T) büyük olma durumu genellikle karşılaşılan örnekler olmakla birlikte doğru test tercihlerinin belirlenmesi durumunda panel veri analizi zaman boyutunun yatay kesit boyutundan büyük olduğu bilimsel çalışmalar için de uygun bir analiz tercihi olmaktadır. Panel veri analizlerinde panel veri modeli genel olarak;

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{it}X_{it} + u_{it} \quad [3.15]$$

şeklinde gösterilmektedir. [3.15] numaralı modelde i alt indisi (1, 2, 3, ...N) değerlerini alabilmekte ve panel veri setindeki birey, firma ve ülke gibi örneklemeleri tanımlamada kullanılmaktadır. Modeldeki t alt indisi ise (1, 2, 3, ...T) değerlerini alabilmekte ve panel veri setindeki gün, ay ve yıl gibi zaman boyutunu tanımlamada kullanılmaktadır. [3.15] numaralı örnek modelde gösterilen Y sembolü bağımlı değişkeni, α sabit parametreyi, X bağımsız değişkeni, β katsayısı eğim parametresini ve son olarak da u değeri modelin hata terimini göstermektedir. Modelde değişkenlerin i ve t alt indislerine sahip olması, panel veri setinin hem yatay kesit (i) hem de zaman boyutuna (t) sahip olduğunu ve böylelikle panel veri analizinin yapılacağını göstermektedir.

Panel veri analizlerinde her bir yatay kesit, analizi gerçekleştirilecek dönem yani zaman boyutu açısından gözlemlenmiş ve panel herhangi bir yatay kesit boyutunda dönemsel olarak eksik veri içermiyorsa bu panel veri seti *dengeli panel* olarak ifade edilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında analizi gerçekleştirilecek her bir ülke örnekleminin ilgili dönemdeki bütün değişkenleri eksiksiz olarak gözlemlenmiş ve veri seti tam olarak elde edilmiş olmasından ötürü çalışmanın veri seti dengeli panel olarak açıklanabilir.

Panel veri analizinin diğer analiz türlerine kıyasla bazı avantajları söz konusudur. Bu avantajlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Baltagi, 2003: 4-9; Gujaratti, 2003: 637; Hsiao, 2003: 7):

- Panel veri analizlerinde veri seti hem yatay kesit boyutu hem de zaman boyutu içerdiğinden, daha kapsamlı modellerle birlikte geçerlilik ve güvenilirliği daha güçlü ekonometrik tahminler gerçekleştirilmektedir.

- Panel veri analizinde daha fazla gözlem ile çalışıldığından panel veri analizi yetersiz yatay kesit gözlemi ve kısa zaman serisi durumlarında da ekonometrik analiz yapılmasına imkân vermektedir.
- Zaman serileri ile çalışılırken serbestlik derecesinin az olması ve ortaya çıkabilecek çoklu doğrusal bağlantı sorunu her bir açıklayıcı değişkenin tek başına ortaya çıkardığı etkinin tahminini zorlaştırmaktadır. Zaman serilerinden panel veri analizlerine geçişte serbestlik derecesi artmaktadır ve böylelikle panel veri analizlerinde bağımsız değişkenlerdeki birimler arası farklılıklar da modele dahil edildiğinden çoklu doğrusal bağlantı problemi de önemli oranda azalmaktadır.
- Ekonometrik analizlerde zaman serilerinde sadece birim özellikleri yatay kesit verilerde ise birimler arası farklılıklar ön plana çıkarken; panel veri analizlerinde hem birim özellikleri hem de yatay kesit verilerinin taşıdığı birimler arası farklılıklar eşanlı olarak analiz sürecine dahil edilmekte ve böylelikle analizde kullanılan birimlerin heterojen özellikleri dikkate alınmaktadır.
- Oluşturulan ekonometrik modellerde dışlanan değişkenler nedeniyle açıklayıcı değişkenler ile hata terimleri arasında yüksek korelasyon ilişkisi ortaya çıkabilmekte ve bu sorun parametre tahminlerinin gerçek değerinden sapmasına neden olmaktadır. Panel veri analizlerinde yatay kesit birimlerinde ve / veya zaman boyutunda dışlanmış olan değişkenlerden kaynaklanan parametre sapma sorunu, uygulanacak doğru metot tercihi ile ortadan kaldırılabilmektedir.

Panel veri analizinde daha fazla gözlem ve veri ile çalışıldığından, güvenilir kaynaklardan daha fazla doğru veri toplanabilmesi önemli bir zorluk ve analizin ciddi bir kısıdı olarak kabul edilmektedir. Bu tezin veri toplama sürecinde bu kısıdı mümkün olan ölçüde bertaraf edebilmek amacıyla daha fazla sayıda ülke örneklemini tercih edilmiş ve bu ülke örneklemini için doğruluğuna güven duyulacak ölçüde zaman boyutu da uzun tutulmaya çalışılmıştır. Böylelikle bu tez çalışmasının veri seti 29 ülke örneklemini (N=29) ve yıllık verilerle 17 yıllık (T=17) zaman boyutundan oluşmaktadır.

AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin ülkeler bazında alansal analizinin yapılmasını amaç edinmiş olan bu tez çalışmasında panel veri analiz aşaması sırasıyla yatay kesit bağımlılık testi, panel birim kök testi, homojenlik testi, eş bütünleşme testi ve eş bütünleşme katsayı tahmin aşamalarından oluşacaktır. Bu ön test ve analiz aşamalarında yatay kesit bağımlılığı Pesaran CD (2004) testi, panel birim kök testi Pesaran (2007) tarafından geliştirilen ve CADF istatistiği üzerinden hesaplanan CIPS testi, homojenlik testi Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta Homojenlik testi, eş bütünleşme testi Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap eş bütünleşme testi ve yine Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testi

kullanılarak sınanmış ve son olarak uzun dönem katsayı tahmin aşamasında Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE uzun dönem katsayı tahmincisi tercih edilmiştir. Panel veri analizi ile ilgili testlerin metodolojik açıklaması da bu sıraya uygun olarak verilmiştir.

3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı

Belirli bir dönem içerisinde birden çok ülke serileri üzerinden gerçekleştirilen veri analizlerinde yatay kesit boyutunda yer alan ülkelerden bir tanesini etkileyen herhangi bir şokun, örneklem içerisindeki başka bir ülkeyi de etkileyip etkilemediğinin tespiti yatay kesit bağımlılığı analizi ile gerçekleştirilmektedir. Bu analiz, veri modellemesindeki her bir değişkenin hata terimleri arasında bir korelasyon ilişkisinin bulunup bulunmadığını göstermektedir. Özellikle iktisadi araştırmalarda küreselleşmenin de etkisiyle bir ülkeyi etkileyen herhangi bir şok, analiz kapsamında örneklemi oluşturan diğer ülkeleri de etkileyebilmekte ve ortaya yatay kesit bağımlılık sorunu çıkabilmektedir. Bu sorunun varlığının tespit edilmemesi ya da tespit edilip doğru tahmin tekniklerinin tercih edilmemesi durumunda, ortaya çıkacak analiz sonuçlarının değerlendirmesi hatalı olacaktır.

Yatay kesit bağımlılığının tespiti için literatürde kullanılmış farklı test yöntemleri mevcuttur. Bu test yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar Breusch-Pagan (1980) Lagrange Multiplier (LM) testi ve Pesaran (2004) Cross-Section Dependence (CD) testidir. Breusch-Pagan (1980), LM testi zaman boyutunun yatay kesit boyutundan büyük ($T > N$) olduğu veri analizlerinde kullanılırken; Pesaran (2004) CD testi hem zaman boyutu yatay kesit boyutundan büyük ($T > N$) hem de yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük ($N > T$) olduğu veri setleri için; ayrıca her iki kesitinde yeterli derecede büyük olduğu veri seti analizlerinde kullanılmaktadır. Bu tez çalışması yatay kesit boyutu olarak 29 farklı ülkeyi içermesi ve zaman boyutu olarak da 17 yıllık bir dönemi (2004-2020) kapsamı nedeniyle, analiz sürecinde yatay kesit bağımlılığının tespiti amacıyla CD testinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD testi yine Pesaran tarafından geliştirilmiş CD_{LM} testinin belirli aksaklıklarını giderebilmek için yeniden modellenmiş halidir. CD_{LM} test istatistiği aşağıdaki [3.16] numaralı eşitlikte gösterilmektedir.

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T\hat{p}_{ij}^2 - 1)} \quad [3.16]$$

CD_{LM} testi, panel veri analizlerinde T ve N'nin büyük olduğu durumlarda uygulanabilmekle birlikte, $T \rightarrow \infty$ ve $N \rightarrow \infty$ olduğu durumlarda yatay kesit bağımlılığının olmadığı varsayılmaktadır. Ancak $N > T$ olduğu durumlarda CD_{LM} testi önemli düzeyde bozulmalar göstermekte ve N değerinin büyümesiyle birlikte hatalı sonuçlar verebilmektedir. CD_{LM} testindeki bu önemli aksaklığın önüne

geçebilmek için Pesaran (2004) $N > T$ durumlarında yatay kesit bağımlılığın daha doğru test edilebilmesi için CD testini geliştirmiştir.

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD testinde yatay kesit boyutunda yer alan birimler arasındaki korelasyonu test etmek için ADF regresyon tahmininden elde edilen hata terimleri kullanılmaktadır. Her bir birimin kendisi dışındaki birimler ile arasındaki korelasyon hesaplandığından N birim boyutundaki bir örneklem grubu için $N \times (N-1)$ sayıda korelasyon hesaplanmaktadır.

Pesaran, dengeli panelde yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasındaki korelasyonu test etmek için aşağıdaki [3.17] numaralı test istatistiğini geliştirmiştir.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad [3.17]$$

[3.17] numaralı eşitlikte $\hat{\rho}_{ij}$, i ve j birimlerinin hata terimleri arasındaki korelasyonu ifade etmek için kullanılmakta ve aşağıda yer alan [3.18] numaralı eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır:

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{(\sum_{t=1}^T e_{it}^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{t=1}^T e_{jt}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad [3.18]$$

Yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasındaki korelasyonun hesaplamasında e_{it} , birimler arasında tahmin edilen hata terimi değerini ifade etmektedir.

CD testi için oluşturulan hipotezler;

H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur,

H_1 : Yatay kesit bağımlılığı vardır şeklinde tanımlanmaktadır.

CD test istatistiğine göre H_0 hipotezinin kabul edilememesi durumunda, yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasında yatay kesit bağımlılığının bulunduğu sonucuna ulaşılır. Bu sonucun akabinde panel veri analizine ikinci nesil panel birim kök testleri ile devam edilmesi gerekmektedir (Baltagi, 2003: 284).

3.2.2. Panel Birim Kök Testi

Bir serinin zaman içerisinde ortalaması, varyansı ve oto-kovaryansının sabit olması olarak tanımlanabilecek durağanlık kavramı, serinin uzun dönemde bir değere yaklaşması veya beklenen değer etrafında dalgalanması anlamına gelmektedir. Panel veri analiz sürecinde durağan olmayan serilerle çalışılması sahte regresyon problemini ortaya çıkarabileceği için, panel veri analiz sürecinde

tahmin aşamasına geçilmeden durağanlık testlerinin yapılması ve serilerin birim kök içerip içermediğinin analiz edilmesi önemli bir tespit aşaması olarak görülmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2017: 3-4).

Panel veri analiz sürecinde yatay kesit boyutunda yer alan birimler arasındaki korelasyon ilişkisine bağlı olarak birim kök analizinde birinci veya ikinci kuşak panel birim kök testleri kullanılmaktadır. Birimler arasında korelasyon ilişkisinin bulunmadığı durumlarda, birinci kuşak panel birim kök testlerinin uygulanması tercih edilirken, birimler arasında korelasyon ilişkisine rastlanılması durumunda ise ikinci kuşak panel birim kök testlerinin uygulanması daha doğru sonuçlar verecektir.

Birinci kuşak panel birim kök testlerinde dinamik sabit etkiler modelinden hareket edilmektedir. Birinci mertebeden otoregresif süreç, AR(1) modelinde aşağıdaki [3.19] numaralı denklemdeki gibi gösterilebilir:

$$Y_{it} = \mu_i + \pi_i T + \alpha_i Y_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad [3.19]$$

[3.19] numaralı denklemde μ_i , birim etkileri ve π_i , trend katsayısını göstermektedir. $\alpha_1 = 1$ hipotezinin uygun yöntemle test edilmesi sonucunda serinin durağanlık analizi gerçekleştirilmektedir.

Bu model Dickey Fuller (DF) modeli olarak [3.20] numaralı denklemdeki gibi yazılabilmektedir:

$$\Delta Y_{it} = \mu_i + \pi_i T + \beta_i Y_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad [3.20]$$

[3.20] numaralı denklemde $\Delta Y_{it} = Y_{it} - Y_{it-1}$ ve $\beta_i = \alpha_i - 1$ eşitliği geçerlidir. Böylelikle $\beta_i = 0$ hipotezi, serinin durağan olmadığını gösterirken alternatif hipoteze göre ise seri durağandır.

İkinci kuşak panel birim kök testleri üç tür sınıflandırmaya ayrılabilir. İkinci kuşak panel birim kök testlerinden birinci sınıf içerisinde yer alan testler, birinci kuşak testlerin yatay kesit boyutunda yer alan birimler arasında korelasyon ilişkisini dikkate alan yeni versiyonlar olarak tanımlanmaktadır. Bu testler yatay kesit boyamında yer alan birimler arası korelasyonun etkisini ortadan kaldırmak için yatay kesit ortalamalarından fark alma işlemini önermektedir. Buna rağmen Strauus ve Yiğit (2003), yaptıkları Monte Carlo simülasyonlarında, eş zamanlı ve homojen korelasyonlu birimlerde yatay kesit boyamında yer alan birimler arası korelasyonun yatay kesit ortalamalarından fark alma işlemi ile tamamen yok olduğunu, ancak heterojen pozitif veya negatif ilişkili korelasyon durumlarında ise yatay kesit ortalamalarından fark alma işleminin yatay kesit

boyamında yer alan birimler arası korelasyon problemini çözemediği sonucuna ulaşmışlardır. İkinci kuşak panel birim kök testlerinden ikinci sınıf içerisinde yer alan testler, birimler arası korelasyon problemini dikkate almakta ve tüm birimlerin farklı dereceden bütünleşik olma durumlarını da analizin test sürecine dahil etmektedir. İkinci kuşak panel birim kök testleri içerisinde yer alan üçüncü sınıf testlerini ise ön plana çıkaran özelliği, yatay kesit boyamında yer alan birimler arasındaki korelasyonu faktörler yardımıyla modellemesidir.

Bu tezin panel veri analiz sürecinde yatay kesit boyamında yer alan birimler arasında korelasyon problemine rastlanıldığından literatüre de uygun olarak, panel birim kök testlerinden ikinci kuşak panel birim kök testlerinin kullanılması uygun görülmüştür. Panel birim kök testlerinden ikinci kuşak panel birim kök testleri içerisinde birinci ve ikinci sınıf testlerin belirtilen dezavantajları ve üçüncü sınıf birim kök testlerinin de sahip olduğu avantajlar göz önünde bulundurularak bu tez çalışmasında CADF (*Cross-sectionally Augmented Dickey Fuller*) panel birim kök testinden hareketle hesaplanan CIPS (Cross Sectionally IPS -Im, Pesaran, Shin-) test istatistiğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CADF panel birim kök testi, yatay kesit boyamında yer alan birimler arasındaki korelasyonun etkisini ortadan kaldırmak için bireysel serilerin gecikmeli düzeylerinin ve birinci farklarının yatay kesit ortalamalarını DF ya da ADF regresyonuna faktörler olarak ilave etme yöntemini tercih etmiştir. Bu yöntemle ADF regresyonunun gecikmeli yatay kesit ortalamaları ile genişletilmiş hali kullanılmakta ve bu regresyonun birinci farkı yatay kesit boyamında yer alan birimler arasındaki korelasyon etkisini ortadan kaldırmaktadır.

Yatay kesit genişletilmiş Dickey Fuller olarak adlandırılan CADF testi otokorelasyonun olmadığı durumlarda dinamik heterojen panel veri modeli aşağıdaki [3.21] numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir.

$$Y_{it} = (1 - \phi_i)\mu_i + \phi_i Y_{i,t-1} + u_{it} \quad [3.21]$$

[3.21] numaralı denklem kapsamında u_{it} , her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkileri (f_t) ve bireysel spesifik hata terimlerinin (ε_{it}) bileşiminden oluşmaktadır. Her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkileri ve bireysel spesifik hata terimleri de modele dahil edildiğinde yeni eşitlik aşağıdaki [3.22] numaralı denklem gibi gösterilecektir.

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i Y_{i,t-1} + \gamma_i f_t + \varepsilon_{it} \quad [3.22]$$

Nihai eşitlikte $\Delta Y_{it} = Y_{it} - Y_{i,t-1}$, $\alpha_i = (1 - \phi_i)\mu_i$ ve $\beta_i = -(1 - \phi_i)$ 'dir.

Y_{it} 'nin yatay kesit ortalaması $\bar{Y}_t$ ve gecikmeli değerleri $\bar{Y}_{t-1}, \bar{Y}_{t-2}, \dots, \bar{Y}_{t-n}$, her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkileri için araç değişken olarak kullanılmıştır.

$$\bar{Y}_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N Y_{it}; \quad \Delta \bar{Y}_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{it}$$

u_{it} 'nin otokorelasyon içermediği durumlarda $\bar{Y}_t$ ve $\bar{Y}_{t-1}$ değerleri her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkilerini asimptotik olarak filtreleyebilmek için yeterlidir. Böylelikle otokorelasyon etkisinin bulunmadığı durumlar da CADF regresyon modeli [3.23] numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i Y_{it-1} + d_0 \bar{Y}_{t-1} + d_1 \Delta \bar{Y}_t + \varepsilon_{it} \quad [3.23]$$

Bu aşamada panel veri analiz sürecinde her bir birim için CADF test istatistiği hesaplanmaktadır. Hesaplanan CADF test istatistik değerleri Pesaran'ın CADF tablo kritik değerleri ile karşılaştırılarak her bir birime ait durağanlık durumu test edilmiş olmaktadır.

Panel veri analizi için CADF test hipotezleri;

$H_0: \beta_i = 0$; seri durağan değildir.

$H_1: \beta_i < 0$; seri durağandır şeklinde tanımlanmaktadır.

Test istatistikleri ve tablo kritik değerlerinin karşılaştırılması sonucunda mutlak değer olarak CADF test istatistik değerinin tablo kritik değerlerinden büyük olması durumunda, H_0 hipotezi reddedilerek serinin durağan olduğu sonucuna karar verilir.

Pesaran (2007:288)'ın geliştirmiş olduğu CADF panel birim kök testi yatay kesit boylamındaki her bir birimin durağanlığı hakkında bilgi vermesinin yanı sıra hesaplanacak CIPS istatistiği de panelin geneline yönelik bilgiler de sunmaktadır. Panelde yatay kesit t istatistiklerinin ortalaması alınarak hesaplanan CIPS istatistiği [3.24] numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$CIPS(N, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \text{ ya da } CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad [3.24]$$

CADF test istatistiğinde olduğu gibi, hesaplanan CIPS istatistiği de tablo kritik değerlerine bakılarak yorumlanmaktadır. Şöyle ki; mutlak değer olarak CIPS istatistik değerinin tablo kritik değerlerinden büyük olması durumunda, serinin durağan olmadığını savunan H_0 hipotezi reddedilerek H_1 hipotezi kabul edilir ve serinin durağan olduğuna karar verilir.

Panel veri analiz sürecinde N ve T'nin almış olduğu değerler ve bu değerlerin birbirlerine göre büyüklük ilişkisi hangi panel birim kök testinin tercih edileceği aşamasında önemli bir karar unsurudur. CADF panel birim kök testi N ve T'nin yeterince büyük olması koşulu altında hem N>T hem de T>N olması durumlarında etkin sonuçlar vermektedir (Pesaran, 2006: 998).

3.2.3. Homojenlik Testi

Panel veri analiz sürecinde uygun eş bütünleşme ve tahmin yönteminin seçilebilmesi için sabit ve eğim parametrelerinin birimlere göre homojen ya da heterojenliğinin test edilmesi gerekmektedir. Literatürde panel veri analizi için homojenliği test eden ilk çalışma Swamy (1970) tarafından geliştirilmiştir. Swamy S homojenlik testinde parametrelerin homojenliğini test etmek için sıradan en küçük kareler (OLS) tahmincileri ile grup içi tahmincinin (WE) ağırlıklı ortalama matrisleri arasındaki farka bakılmaktadır. Eğer bu değerler arasında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık söz konusu değilse, parametrelerin homojen olduğuna karar verilmektedir.

Swamy tarafından geliştirilen homojenlik testi modellemesi [3.25] numaralı denklemde gösterilmektedir:

$$\hat{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}^*)' \hat{V}_i^{-1} (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}^*) \quad [3.25]$$

Swamy test istatistiğinde $\hat{\beta}_i$ birimlere göre regresyon sonucunda elde edilen OLS tahmincileri, $\bar{\beta}^*$ ağırlıklı grup içi tahmincisini ve $\hat{V}_i$ iki tahmincinin varyansları arasındaki farkı göstermektedir (Swamy, 1971: 107).

Swamy istatistiği, panel veri analizinde parametrelerin homojenliğini test eden ilk önemli analizlerden bir tanesi olmasına rağmen, bu testin T>N olduğu durumlarda daha doğru sonuçlar vermesi ve N>T olduğu durumlarda sonuçların etkinliğinin zayıflaması yeni homojenlik testlerinin geliştirilme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Pesaran ve Yamagata (2008), Swamy homojenlik testinden faydalanarak ve N ile T'nin farklı değerler alma durumlarını da dikkate alarak yeni bir homojenlik testi geliştirmişlerdir. Büyük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan delta homojenlik testi ve küçük örneklem içeren panel veri analizleri için kullanılan düzeltilmiş delta homojenlik testi modellemeleri [3.26] ve [3.27] numaralı denklemlerde gösterilmektedir.

- i. Büyük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan delta homojenlik test istatistiği:

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad [3.26]$$

- ii. Küçük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan düzeltilmiş delta homojenlik test istatistiği:

$$\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1}\hat{S} - k}{V(T, k)} \right) \quad [3.27]$$

[3.26] ve [3.27]'de N, örneklem büyüklüğünü; S, Swamy test istatistiğini; k, açıklayıcı değişken sayısını; V(T, k) ise standart hatayı göstermektedir.

$Y_{it} = \alpha + \beta_{it}X_{it} + \varepsilon_{it}$ şeklinde oluşturulacak bir örnek, eş bütünleşme denkleminde β_{it} gibi bir eğim katsayısı üzerine oluşturulan delta ve düzeltilmiş delta homojenlik testlerinin H_0 ve H_1 hipotezleri aşağıdaki gibidir.

H_0 : $\beta_i = \beta$ ise eğim katsayısı homojendir.

H_1 : $\beta_i \neq \beta$ ise eğim katsayısı homojen değildir.

Hesaplanan homojenlik test istatistiği sonucunda eğim katsayısının homojen olması seriler arasındaki ilişkinin yorumlanmasında grup istatistikleri yerine panel istatistiklerinin kullanılabileceğini göstermektedir.

3.2.4. Eş Bütünleşme Testi

Eşbütünleşme testi, analize tabi tutulacak seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığının tespiti için kullanılan bir testtir. Analiz sürecinde doğru eş bütünleşme yaklaşımına karar verilebilmesi için öncesinde serilerle ilgili yatay kesit bağımlılığı, durağanlık ve homojenlik testlerinin yapılması gerekmektedir. Literatürde panel veri analiz sürecinde seriler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi test eden çok sayıda eş bütünleşme testi (McCoskey ve Kao, 1998; Kao, 1999; Pedroni, 1999; Pedroni, 2004; Westerlund, 2007; Westerlund ve Edgerton, 2007; Westerlund, 2008; Maki, 2012) olmakla birlikte, bu çalışmada seriler arasında yatay kesit bağımlılığını ve yatay kesit eğim parametrelerinin heterojenliğini dikkate alması nedeniyle Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen eş bütünleşme testi ile Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin kullanılması tercih edilmiştir.

Eşbütünleşme testlerinde çoğunlukla serilerin aynı seviyede durağan [$I(1)$] olması beklenmektedir. Bununla birlikte serilerin farklı seviyedeki durağan olma durumlarını da dikkate alan eş bütünleşme testleri mevcuttur. Çalışma kapsamında serilerin aynı dereceden durağan olma durumlarında Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap eş bütünleşme testi, serilerin farklı dereceden durağan olma durumlarında ise Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin kullanılması tercih edilmiştir.

3.2.4.1. Westerlund ve Edgerton Eş Bütünleşme Testi

Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap (öz çıkarım) panel eş bütünleşme testi; yatay kesit bağımlılığını dikkate alması, eş bütünleşme denkleminde oto-korelasyon ve değişen varyansa izin vermesi, eş bütünleşme ilişkisini panel örneklemindeki bütün ülkeler için belirlemesi ve küçük örneklem durumlarında da etkin sonuçlar verebilmesi açısından avantajlı bir testtir (Westerlund, 2008: 204-207). McCoskey ve Kao (1998) tarafından geliştirilen Lagrange Multiplier testine dayanmakta olan LM Bootstrap panel eş bütünleşme testi, y_{it} skaler değişkeni ve hata terimi ile ilgili diğer denklem setleri [3.28] numaralı nihai denklemi oluşturmaktadır.

$$y_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta_i + z_{it} \quad [3.28]$$

$$z_{it} = u_{it} + v_{it}$$
$$v_{it} = \sum_{j=1}^t \eta_{ijt}$$

Bu denklem setlerinde $t = 1, 2, 3, \dots, T$ zaman serisini; $i = 1, 2, 3, \dots, N$ yatay kesit birimlerini ifade etmekte ve z_{it} hata terimini, η_{it} ise ortalaması sıfır varyansı σ_i^2 olan hata terimini göstermektedir.

Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM eş bütünleşme testinin hipotezleri;

$H_{0i}: \sigma_i^2 = 0$ ise seriler arasında eş bütünleşme ilişkisi vardır.

$H_{1i}: \sigma_i^2 > 0$ ise seriler arasında eş bütünleşme ilişkisi yoktur şeklinde tanımlanmaktadır.

Panel veri analiz sürecinde seriler arasındaki eş bütünleşme ilişkisinin varlığını test etmek için hesaplanan LM test istatistiği [3.29] numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\omega}_i^{-2} S_{it}^2 \quad [3.29]$$

LM test istatistiğinde S_{it} FMOLS (Fully Modified Ordinary Least Square) ile tahmin edilmiş modeldeki Z_{it} hata terimlerinin kısmi toplamını, $\hat{\omega}_i^{-2}$ ise Δx_{it} üzerine koşullu u_{it} 'nin uzun dönem için tahmin edilen varyansıdır.

LM test istatistiği ile ilgili olarak panel veri analiz sürecinde yatay kesit bağımlılığının bulunmaması durumunda asimptotik olasılık değeri yorumlanırken; yatay kesit bağımlılığının bulunması durumunda ise bootstrap olasılık değeri dikkate alınmaktadır.

3.2.4.2. Durbin-Hausman Eş Bütünleşme Testi

Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testi, LM Bootstrap eş bütünleşme testi gibi seriler arasında yatay kesit bağımlılığı ve serilerin heterojen olma durumunu dikkate alan bir testtir. LM Bootstrap eş bütünleşme testinde serilerin aynı seviyede durağan olması koşuluna karşılık, Durbin-Hausman eş bütünleşme testinde serilerin farklı seviyede durağan olması durumu dikkate alınmaktadır. Çalışma kapsamında bağımlı değişkenin birinci devresel farkında, bağımsız değişkenlerin ise farklı derecelerde (seviyesinde ve birinci devresel farkında) durağan olma durumlarında eş bütünleşme testi için Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin kullanılması tercih edilmiştir.

Durbin-Hausman eş bütünleşme test sürecinde öncelikle olası eş bütünleşme denklemi tahmin edilir ve kalıntılar elde edildikten sonra kalıntılar temel bileşen yöntemiyle ayrıştırılır. Temel bileşen yöntemiyle ayrıştırılan denklem setleri aşağıdaki [3.30] numaralı denklemden türetilmektedir.

$$\begin{aligned} Y_{it} &= \alpha_i + \beta_i X_{it} + Z_{it} \\ Z_{it} &= \lambda_i' F_t + e_{it} \\ F_{jt} &= p_j F_{jt-1} + u_{jt} \\ e_{it} &= \phi_i e_{it-1} + v_{it} \quad (\text{Her } j \text{ için } p_j < 1) \end{aligned} \quad [3.30]$$

Belirtilen denklem setlerinde Z_{it} dağılımının ortak faktörlerin kullanılması yoluyla yatay kesit bağımlılığına izin veren denklem setiyle uyumlu olduğu varsayılmaktadır (Westerlund, 2008: 200). Bu denklem setinde F_t , F_{jt} ($j=1,2,3, \dots, k$) k boyutlu ortak faktör vektörüdür; λ_i ise faktör yüklerinin uyumlu vektörünü simgelemektedir.

Bu aşamada Durbin-Hausman testini oluşturmak için $Z_{it} = \lambda_i' F_t + e_{it}$ denklemi üzerinden [3.31] numaralı eşitlik yardımıyla fark alma işlemi uygulanmaktadır.

$$\Delta Z_{it} = \lambda_i' \Delta F_t + \Delta e_{it} \quad [3.31]$$

Eşitlikte ΔZ_{it} bilirse λ_i ve ΔF_t temel bileşenler yöntemiyle doğrudan hesaplanabilir; ancak ΔZ_{it} 'nin bilinmemesi durumunda [3.32] numaralı eşitliğin kullanılması gerekmektedir.

$$\Delta \hat{Z}_{it} = \Delta Y_{it} - \hat{\beta}_i \Delta X_{it} \quad [3.32]$$

Bu eşitlikte $\hat{\beta}_i$; ΔY_{it} 'nin ΔX_{it} üzerine regres edilmesiyle elde edilmektedir. ΔF_t 'nin temel bileşen tahmincisi $\Delta \hat{F}_t$ ise $(T-1) \times (T-1)$ boyutlu $\Delta \hat{Z}_{it}$ $\Delta \hat{Z}_{it}'$ matrisinin en büyük Eigen değeriyle uyumlu Eigen vektörü $\sqrt{T-1}$ defa hesaplanarak elde edilir. Tahmin edilen faktör yükleri matrisi $\hat{\lambda} =$

$\Delta\hat{F}'\Delta\hat{Z}/(T-1)$ ile hesaplanır. $\hat{\lambda}_i$ ve $\Delta\hat{F}_t$ hesaplandıktan sonra, kalıntıların birinci farkı [3.33] numaralı denklem setindeki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta\hat{e}_{it} = \Delta\hat{z}_{it} - \lambda'_i\Delta\hat{F}_t; \quad \hat{e}_{it} = \sum_{j=2}^t \Delta\hat{e}_{ij} \quad [3.33]$$

Eş bütünleşmenin olmadığını ileri süren H_0 hipotezi $\hat{e}_{it} = \phi_i\hat{e}_{it-1} + u$ denklemi yoluyla $\phi_i = 1$ olup olmadığının test edilmesiyle asimptotik eşdeğerdir. Durbin-Hausman testi için çekirdek tahminci [3.34] numaralı denklemle gösterilmektedir:

$$\hat{\omega}_i = \frac{1}{T-1} \sum_{j=M_i}^{M_i} \left(1 - \frac{j}{M_i+1}\right) \sum_{t=j+1}^T \hat{v}_{it}\hat{v}_{it-j} \quad [3.34]$$

[3.34] numaralı denklemde $\hat{v}_{it}$, $\hat{e}_{it} = \phi_i\hat{e}_{it-1} + u$ denkleminde elde edilen sıradan en küçük kareler kalıntıları; M_i ise bant genişliği parametresidir. $\hat{\omega}_i^2$ 'nin değeri, $\hat{v}_{it}$ 'nin uzun dönem varyansı ω_i^2 'nin tahmini ile tutarlıdır. Buna karşılık gelen eşanlı varyans tahmini $\hat{\sigma}_i^2$ ile belirtilebilir. Verilen bu tahminlerle iki farklı varyans oranları aşağıdaki [3.35] numaralı denklemdeki gibi formüle edilmektedir.

$$\hat{S}_i = \hat{\omega}_i^2/\hat{\sigma}_i^4; \quad \hat{S}_i = \hat{\omega}_n^2/(\hat{\sigma}_n^2)^2 \quad [3.35]$$

[3.35] numaralı denklemde $\hat{\omega}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\omega}_i^2$ ve $\hat{\sigma}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\sigma}_i^2$ olarak hesaplanabilir (Westerlund, 2008: 199-204).

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinde biri panelin geneli, diğeri ise paneli oluşturan her bir örneklem grubu için olmak üzere iki farklı eş bütünleşme testi önerilmektedir. Bu testlerden panelin geneli için hesaplanan eş bütünleşme istatistiğinde (DH_p) paneli oluşturan serilerin homojen; paneli oluşturan her bir örneklem grubu için hesaplanan eş bütünleşme istatistiğinde (DH_g) ise örneklem grupları içerisindeki serilerin heterojen dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu aşamada DH_p testinde otoregresif parametrelerin paneli oluşturan bütün kesitler için aynı olduğu varsayımı yapılırken, DH_g testinde otoregresif parametrelerin paneli oluşturan kesitten kesite farklılık gösterdiği varsayımı kabul edilmektedir (Westerlund, 2008: 203).

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinde panel [3.36] ve panel içerisindeki örneklem grupları [3.37] için eş bütünleşme istatistiği aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$DH_p = \hat{S}_n (\tilde{\phi} - \hat{\phi})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad [3.36]$$

$$DH_g = \sum_{i=1}^n \hat{S}_i (\tilde{\phi}_i - \hat{\phi}_i)^2 \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad [3.37]$$

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin panel istatistiği için hipotezler;

$H_0^p: \emptyset_i = 1$ ($i=1,2,3, \dots n$); eş bütünleşme ilişkisi yoktur.

$H_1^p: \emptyset_i = \emptyset$ ve $\emptyset < 1$ (bütün i 'ler için); eş bütünleşme ilişkisi vardır, şeklinde tanımlanmaktadır.

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin örneklem grupları istatistiği için hipotezler;

$H_0^g: \emptyset_i = 1$; ($i=1,2,3, \dots n$); eş bütünleşme ilişkisi yoktur.

$H_1^g: \emptyset_i = < 1$ (en az bir i için); eş bütünleşme ilişkisi vardır şeklinde tanımlanmaktadır.

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin hem panel hem de örneklem grupları için hesaplanan istatistik değerine göre hipotezlerin kabul ya da reddedilme aşamasında, test istatistiklerinin normal dağılım tablo kritik değerlerine ve test istatistiklerinin anlamlılık yüzdelerine bakılarak karar verilmektedir.

Panel için hesaplanan eş bütünleşme istatistiği sonucunda H_0 hipotezinin reddedilmesi, paneli oluşturan bütün kesitler bakımından eş bütünleşme ilişkisinin var olduğu şeklinde yorumlanırken; örneklem grupları için hesaplanan eş bütünleşme istatistiği sonucunda H_0 hipotezinin reddedilmesi de paneli oluşturan en az bir örneklem grubunda eş bütünleşme ilişkisinin var olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Westerlund, 2008: 203). Paneldeki örneklem grupları için eş bütünleşme ilişkisinin bulunması, paneli oluşturan seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını göstermektedir ki; bu sonuç aynı zamanda bu serilerin seviye değerleri üzerinden yapılacak analizlerde sahte regresyon problemiyle karşılaşılmayacağı anlamına gelmektedir.

3.2.5. CCE Uzun Dönem Katsayı Tahminci Yöntemi

Panel veri analiz sürecinde seriler arasında eş bütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinden sonraki aşamada, seriler arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Uzun dönemli ilişkinin yönü ve büyüklüğünün tahmini için literatürde kullanılan farklı analiz yöntemleri vardır. Bunlardan bazıları Kao ve Chiang (2000) tarafından geliştirilen panel OLS, DOLS ve FMOLS uzun dönem katsayı tahminci yöntemi, Pedroni (2000) tarafından geliştirilen panel DOLS ve FMOLS uzun dönem katsayı tahminci yöntemi ve Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE (Ortak İlişkili Etkiler) uzun dönem katsayı tahminci yöntemidir. Uzun dönem katsayı tahminci yöntemlerinde alternatif testlerin birbirlerine kıyasla avantaj ve dezavantajlı yönleri hangi tahminci yönteminin tercih edilmesi noktasında belirleyici olacaktır.

CCE uzun dönem katsayı tahmincisi, yatay kesit bağımlılığı altında eğim katsayılarının heterojen olması durumunda tercih edilmekte; N ile T'nin nispi olarak küçük ve $N > T$ olması durumunda da güvenilir sonuçlar vermektedir. CCE uzun dönem katsayı tahminci yöntemi, T'nin sabit $N \rightarrow \infty$ ile N ve $T \rightarrow \infty$ gibi her iki durumda gözlemlenemeyen ortak etkilerin ilişkili olma koşullarında tutarlı ve asimptotik normal dağılım sağlayan sonuçlar vermektedir. Bu testin ayrıca en önemli avantajlarından bir tanesi de tahmin edilen regresyon katsayılarının her bir yatay kesit birimi için tek tek oluşturulmuş olmasıdır (Pesaran, 2006: 969).

CCE uzun dönem katsayı tahmincisi için oluşturulan doğrusal heterojen panel veri regresyon modeli [3.38] numaralı denklemde gösterilmektedir:

$$Y_{it} = \alpha'_i d_t + \beta'_i x_{it} + e_{it} \quad (i = 1, 2, 3, \dots N \text{ ve } t = 1, 2, 3, \dots T) \quad [3.38]$$

[3.38] numaralı denklem modelinde d_t , $n \times 1$ boyutunda gözlemlenen ortak etkilerin vektörüdür. x_{it} , i yatay kesit ve t zaman büyüklüğünde $k \times 1$ boyutundaki bağımsız değişkenler matrisidir. Modeldeki hata terimi ise çok faktörlü bir yapıya sahiptir ve [3.39] eşitlikteki gibi gösterilmektedir:

$$e_{it} = \gamma'_i f_t + \varepsilon_{it} \quad [3.39]$$

[3.39] numaralı denklem modelinde f_t , $m \times 1$ boyutunda gözlemlenemeyen ortak etkilerin vektörüdür. Modeldeki ε_{it} 'nin panel veri regresyon modelindeki d_t ve x_{it} 'den bağımsız dağılmış olduğu varsayımı yapılmasına rağmen, ε_{it} 'nin gözlemlenemeyen faktörler f_t , d_t ve x_{it} ile arasında korelasyon ilişkisinin bulunma ihtimali söz konusu olabilmektedir (Pesaran ve Tosetti, 2011: 183).

CCE uzun dönem katsayı tahmincisi için modellerin işletilmesi sonucunda her yatay kesit birimleri için ortak ilişkili etki tahmincisi $\hat{b}_{CCE,i}$ hesaplanmakta, ortak ilişkili etkiler ortak grup tahmincisi $\hat{b}_{CCEMG}$ ise ortak ilişkili etki tahmincilerinin ortalaması alınarak [3.40] numaralı eşitlikteki gibi elde edilmektedir (Pesaran, 2006: 982).

$$\hat{b}_{CCEMG} = N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{b}_{CCE,i} \quad [3.40]$$

Uzun dönem katsayı tahminci sonuçlarının işareti değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü gösterirken, katsayının büyüklüğü de bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklamaktadır.

3.3. Ön Test Sonuçları ve Bulgular

Çalışmanın ön test sonuçları ve bulgular başlığı altında ilk önce tezin modeli panel veri analiz yöntemi ile tahmin edilmiştir. Sonraki aşamada ise tahmin sonuçlarından elde edilecek olan öğrenme esnekliği ($-\alpha$) katsayısı kullanılarak örneklem içerisinde yer alan her ülkenin tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için öğrenme oranı hesaplanmıştır.

3.3.1. Panel Veri Analiz Sonuçları

Panel veri analizi süreci, ön test olarak kabul edilen yatay kesit bağımlılık testi, panel birim kök testi, homojenlik testi ve eş bütünleşme analizlerinden oluşmaktadır. Bu süreç, panel veri analizi ile ilgili uzun dönem katsayı tahmini ile son bulacaktır.

3.3.1.1. Yatay Kesit Bağımlılık Analizi

Çalışmada yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olması nedeniyle ($N > T$), yatay kesit bağımlılığını test etmek için Pesaran tarafından geliştirilmiş olan CD testi kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Pesaran CD Testi					
Değişkenler	Tarım Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.		Sanayi Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.		Hizmetler Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.
C	28.271***	(0.000)	43.774***	(0.000)	22.108*** (0.000)
X	82.886***	(0.000)	82.987***	(0.000)	82.947*** (0.000)
L	36.654***	(0.000)	39.409***	(0.000)	44.846*** (0.000)
Model Denklemi	79.944***	(0.000)	78.900***	(0.000)	80.444*** (0.000)

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Pesaran CD yatay kesit bağımlılık testinin H_0 hipotezi değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığı yoktur, şeklinde tanımlanmıştır. Tablo 6’da tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için Pesaran CD test istatistik ve olasılık değerleri gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe emek cinsinden birim üretim maliyeti (c), kümülatif üretim miktarı (X), kullanılan emek miktarı (L) değişkenleri ve model denklemi için test istatistiklerinin yüzde 1 seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir. Böylelikle Pesaran CD testi için H_0 hipotezi reddedilerek yatay kesit bağımlılığını ileri süren H_1 hipotezi kabul edilmektedir.

Çalışmanın örneklem grubu içerisinde yer alan her bir ülkenin verileri üzerinden oluşturulan seriler için yatay kesit bağımlılığı sorununun tespit edilmiş olması, yatay kesit boylamında yer alan herhangi bir birimde ortaya çıkan bir şokun yatay kesit boylamında yer alan diğer birimleri de etkileyebileceği anlamını taşımaktadır. Bu nedenle tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için panel veri analiz sürecinde yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil panel birim kök testleri kullanılmıştır.

3.3.1.2. Panel Birim Kök Analizi

Bu çalışmanın panel veri analiz sürecinde birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığı nedeniyle ikinci kuşak panel birim kök testlerinin kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda $N > T$ durumunu dikkate alan testlerin seçilmesi gerekmektedir. CIPS testi, bu ön koşulları sağlayan bir birim kök analiz testidir. Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS istatistiği yatay kesit boylamındaki her bir birim için hesaplanan CADF test istatistiğinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. CIPS istatistiğinin hesaplanmasında kullanılan CADF testi, $N > T$ durumunu da dikkate alması nedeniyle diğer birim kök testlerine kıyasla bu çalışma için daha avantajlı bir testtir.

Tablo 7: Panel Birim Kök Test Sonuçları

CIPS Panel Birim Kök Testi						
CIPS Test İstatistiği	C	Dc	X	dX	L	dL
Tarım Sektörü	-2.048	-2.485***	-1.938	-2.355**	-1.814	-2.701***
Sanayi Sektörü	-1.450	-3.119***	-2.415***		-2.436***	
Hizmetler Sektörü	-2.057	-3.038***	-2.508***		-1.411	-2.160*

Açıklama: Tablo kritik değerleri %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeyleri için sırasıyla [-2.380;-2.200 ve -2.110] değerlerini almaktadır. Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir. d, serinin birinci devresel farkını ifade etmektedir.

Tablo 7’de CADF test istatistikleri kullanılarak tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için hesaplanan CIPS test istatistikleri gösterilmektedir. CIPS test istatistiğinin hesaplanmasında kullanılan CADF test istatistikleri için maksimum gecikme uzunluğu 4’tür. Tablodaki CIPS istatistiklerine göre, tarım sektörü için birim üretim maliyeti (c) değişkeninin seviyesinde durağan olmadığı; ancak birinci farkı alındıktan sonra serinin yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağanlaştığı görülmektedir. Benzer şekilde kümülatif üretim miktarı değişkeninin (X) seviyesinde durağan olmadığı ancak serinin birinci farkı alındıktan sonra hesaplanan CIPS istatistik değerinin yüzde 5 seviyesinde anlamlı olduğu ve kullanılan emek miktarı değişkeninin (L) de birinci farkı alındıktan sonra yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu görülmektedir.

Tablo 7’de gösterilmekte olan CIPS istatistiklerine göre, sanayi sektörü için birim üretim maliyeti değişkeninin seviyesinde durağan olmadığı; ancak birinci farkı alındıktan sonra serinin

yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağanlaştığı görülmektedir. Kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek miktarı değişkenlerinin ise seviye değerleri için hesaplanan CIPS test istatistiklerinin yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu görülmektedir.

Hizmetler sektörü için hesaplanan CIPS test istatistik değerleri yorumlandığında birim üretim maliyeti değişkeninin seviyesinde durağan olmadığı, birinci farkı alındıktan sonra serinin yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağanlaştığı, kümülatif üretim miktarı değişkeninin seviyesinde yüzde 1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu ve kullanılan emek miktarı değişkeninin ise seviyesinde durağan olmadığı; ancak birinci farkı alındıktan sonra yüzde 10 anlamlılık seviyesinde durağanlaştığı görülmektedir.

Tablo 7’de gösterilmekte olan panel birim kök test sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için birim üretim maliyeti, kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek miktarı değişkenlerinin seviyesinde ya da birinci farkı alındıktan sonra durağan olma durumları panel veri analiz sürecinde eş bütünleşme testinin tercih edilmesinde belirleyici bir kriter olacaktır.

3.3.1.3. Homojenlik Analizi

Panel veri analiz sürecinde homojenlik analizi, modeldeki eğim parametrelerinin yatay kesit boylamındaki birimler arasında homojen olup olmadığının tespiti için kullanılmaktadır. Bu çalışmada $N > T$ olmasından dolayı, homojenlik analizi için delta homojenlik testi kullanılmıştır.

Tablo 8: Homojenlik Test Sonuçları

Delta Homojenlik Testi						
Delta Testi	Tarım Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.		Sanayi Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.		Hizmetler Sektörü Test İst. ve Olasılık Değ.	
$\hat{\Delta}$	13.344***	(0.000)	16.258***	(0.000)	10.591***	(0.000)
$\hat{\Delta}_{adj}$	15.131***	(0.000)	18.434***	(0.000)	12.009***	(0.000)

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 8’de tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için delta homojenlik test sonuçları gösterilmektedir. Delta test istatistikleri yüzde 1 anlamlılık seviyesinde tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için oluşturulan modeldeki eğim parametrelerinin yatay kesit boylamındaki birimler için heterojen bir yapıya sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum, uzun dönem katsayı tahmini sonucunda ulaşılan eğim parametrelerinin ilgili yatay kesit birimler için istatistiki olarak güvenilir bir biçimde yorumlanabileceğini göstermektedir.

3.3.1.4. Eş Bütünleşme Analizi

İktisadi araştırmalarda değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığını test etmek için çok sayıda eş bütünleşme testi vardır. Bilindiği üzere gerçekleştirilen ön testler olan yatay kesit bağımlılığı, birim kök analizi ve homojenlik testi sonuçlarına göre, analiz sürecinde hangi eş bütünleşme testinin seriler için daha uygun olduğuna karar verilmektedir.

Çalışma kapsamında tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için gerçekleştirilen panel veri analiz sürecinde her üç sektör için de seriler arasında yatay kesit bağımlılığının bulunduğu ve serilerin eğim parametrelerinin heterojen bir yapıya sahip olduğu tespiti yapılmıştır. Tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe çalışmanın modeli bağımlı birim üretim maliyeti değişkeni üzerinde bağımsız kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek faktörünün etkisini tahmin etmektedir. Bu noktada, tarım sektörü için bağımlı ve bağımsız değişkenlerin aynı seviyede $I(1)$ durağan; sanayi sektöründe bağımlı değişkenin birinci farkında durağan ve bağımsız değişkenlerin ise seviyesinde durağan olduğu; hizmetler sektöründe ise bağımlı değişkenin birinci farkında durağan, bağımsız değişkenlerin ise seviyesinde ve birinci farkında durağan oldukları sonucuna varılmıştı. Bu nedenle çalışmanın panel veri analiz sürecinde tarım sektörü için yatay kesit bağımlılığı, serilerin eğim parametrelerinin heterojen olma durumu ve serilerin aynı seviyede $I(1)$ durağan olma durumlarını dikkate alan Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap eş bütünleşme testinin uygulanması tercih edilmiştir. Sanayi ve hizmetler sektörü için ise serilerin farklı seviyelerde durağan olma durumlarını dikkate alması nedeniyle Durbin-Hausman eş bütünleşme testi kullanılacaktır.

Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap panel eş bütünleşme testinde eş bütünleşme ilişkisinin yorumlanma aşamasında öncelikli olarak yatay kesit bağımlılığının bulunup bulunmama durumuna bakılmaktadır. Panel veri analiz sürecinde yatay kesit bağımlılığının bulunmaması durumunda LM test istatistiği yorumlanırken asimptotik olasılık değeri; yatay kesit bağımlılığının bulunması durumunda ise bootstrap olasılık değeri dikkate alınmaktadır.

Tablo 9: Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap Eş Bütünleşme Testi			
Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap Eş Bütünleşme Testi	Tarım Sektörü		
	LM İstatistiği	Asymptotic p Değeri	Bootstrap p Değeri
	6.089	0.000	0.994

Açıklama: Bootstrap olasılık değerleri 10.000 tekrarlı dağılımdan elde edilmiştir.

Çalışmanın panel veri analiz sürecinde tarım sektörü için yatay kesit bağımlılığı tespit edildiğinden Westerlund ve Edgerton LM Bootstrap panel eş bütünleşme testinin değerlendirme aşamasında bootstrap p değerinin yorumlanması gerekmektedir. Westerlund ve Edgerton (2007) LM Bootstrap eş bütünleşme test sonuçlarını gösteren Tablo 9'a göre, bağımlı birim üretim maliyeti

değişkeni ve bağımsız kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek miktarı değişkenleri arasında eş bütünleşme ilişkisinin varlığını ileri süren H_0 hipotezi reddedilemediğinden değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın panel veri analiz sürecinde sanayi ve hizmetler sektörü için yatay kesit bağımlılığı, serilerin eğim parametrelerinin heterojen olma durumunu dikkate alan ama serilerden bağımlı değişkenin birinci farkında durağan; bağımsız değişkenlerin ise farklı seviyelerde durağan olabilmesine izin veren Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin uygulanması uygun görülmüştür.

Durbin-Hausman panel eş bütünleşme testi sonucunda Durbin-Hausman test istatistiği (DHg) ve panelin geneli için Durbin-Hausman test istatistiği (DHp) hesaplanmaktadır. Hesaplanan DHg ve DHp test istatistiklerinin olasılık değerlerinin anlamlı olması durumunda seriler arasında eş bütünleşme ilişkisinin olmadığını ileri süren H_0 hipotezi reddedilerek gruplar ve panelin geneli için eş bütünleşme ilişkisinin var olduğunu ileri süren H_1 hipotezi kabul edilmektedir. Bu sonuç, serilerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri şeklinde yorumlanmakla birlikte paneldeki seriler üzerinden gerçekleştirilecek analizde sahte regresyon problemi ile karşılaşılmayacağı anlamına gelmektedir.

Tablo 10: Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Durbin-Hausman Eş Bütünleşme Testi			
	Sanayi Sektörü Test İstatistiği ve Olasılık Değeri		Hizmetler Sektörü Test İstatistiği ve Olasılık Değeri
DHg	3.038***	(0.001)	3.562*** (0.000)
DHp	4.629***	(0.000)	0.994*** (0.160)

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Durbin-Hausman panel eş bütünleşme test sonuçlarının gösterildiği Tablo 10'a göre sanayi sektörü için grup ve panelin geneli için hesaplanan Durbin-Hausman test istatistiklerinin olasılık değerlerinin %1 seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, paneldeki en az bir grup için ve panelin geneli için birim üretim maliyeti, kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek miktarı değişkenleri arasında eş bütünleşme ilişkisinin var olduğu anlamına gelmektedir. Hizmetler sektörü için hesaplanan Durbin-Hausman panel eş bütünleşme test istatistiğinin grup için yüzde 1 seviyesinde anlamlı olduğu, ancak panelin geneli için anlamlı olmadığı görülmektedir. Hizmetler sektörü için elde edilen bu bulgulara göre paneli oluşturan gruplar içerisinde en az bir grup için eş bütünleşme ilişkisinin var olduğu sonucuna ulaşılırken; panelin tamamı için bir eş bütünleşme ilişkisinden bahsedilemez. Grup için hesaplanan Durbin-Hausman panel eş bütünleşme test istatistiğinin istatistiki olarak anlamlı olması, paneli oluşturan her bir ülke için ayrı ayrı tahmin sonuçlarının yorumlanabileceği anlamına gelmektedir.

Tarım, sanayi ve hizmetler sektörleri bazında elde edilen panel eş bütünleşme test istatistik sonuçları, gruplar için modelin değişkenleri olan birim üretim maliyeti, kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek miktarı arasında eş bütünleşme ilişkisinin var olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında çalışmanın panel veri analiz sürecinin bir sonraki aşamasında uzun dönem katsayı tahmini gerçekleştirilerek panel veri analiz süreci tamamlanacaktır.

3.3.1.5. Uzun Dönem Katsayı Tahmini

Uzun dönem katsayı tahmini için Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE tahmincisi kullanılmaktadır. CCE tahmincisi, paneli oluşturan yatay kesitler arasında yatay kesit bağımlılığını ve eğim parametrelerinin heterojen olma durumlarını dikkate alan bir testtir. Genellikle N ve T'nin küçük değerler aldığı durumlar için kullanılan CCE tahmincisi aynı zamanda özellikle N>T olduğu durumlarda da güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada N>T olması ve paneli oluşturan her bir örneklem ülke grubu için ayrı katsayı tahminlerine ihtiyaç duyulması, çalışmanın uzun dönem katsayı tahmin aşamasında CCE tahmincisinin tercih edilmesi açısından belirleyici olmuştur.

Tablo 11'de çalışmanın örneklem grubunu oluşturan 29 ülke için tarım sektöründe bağımsız değişkenler kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek faktörünün bağımlı değişken emek cinsinden birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi; $-\alpha$ (öğrenme esnekliği) ve ϕ_2 katsayıları ile gösterilmektedir. CCE tahmincisi uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, kümülatif üretim miktarının birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi örneklemi oluşturan 23 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlı sonuç vermiştir. Söz konusu ülkelerin tamamı için kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artış birim üretim maliyetini negatif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilemiştir. Kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artış Fransa'da birim üretim maliyetini yüzde 5.37 azaltırken bu oran İtalya'da yüzde 5.35 Bulgaristan'da ise yüzde 4.31 olarak bulunmuştur.

Tablo 11: Tarım Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Tarım Sektörü				
Ülkeler	$-\alpha$	Olasılık Değeri	ϕ_2	Olasılık Değeri
Belçika	-2.762*	0.089	0.677	0.405
Bulgaristan	-4.310**	0.010	0.853	0.299
Çekya	-1.399*	0.050	-2.209***	0.006
Danimarka	-0.531	0.713	7.416***	0.000
Almanya	-2.187	0.255	0.700	0.875
Estonya	-2.399***	0.004	1.623***	0.001
İrlanda	-0.649	0.580	-0.236	0.717
Yunanistan	-1.948***	0.007	0.653	0.351
İspanya	0.446	0.786	0.000	0.999
Fransa	-5.379**	0.017	1.629**	0.027

Tablo 11: (Devamı)

Tarım Sektörü				
Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	ϕ_2	Olasılık Değeri
Hırvatistan	-0.730	0.670	0.849***	0.006
İtalya	-5.351**	0.010	1.740***	0.000
Güney Kıbrıs	-2.428*	0.050	0.155	0.648
Letonya	-3.157***	0.003	0.877***	0.000
Litvanya	-2.005***	0.005	0.976***	0.000
Lüksemburg	-3.774***	0.000	-0.042	0.971
Macaristan	-3.818***	0.003	1.646***	0.000
Malta	-3.112***	0.007	3.111***	0.000
Hollanda	-3.093*	0.089	2.271	0.163
Avusturya	-1.979**	0.022	1.275**	0.020
Polonya	-2.522***	0.002	1.100	0.321
Portekiz	-0.704	0.558	1.953***	0.000
Romanya	-3.820***	0.003	0.813	0.183
Slovenya	-3.537**	0.023	3.209	0.293
Slovakya	-3.191***	0.002	-0.692	0.444
Finlandiya	-2.646**	0.015	1.537**	0.010
İsveç	-3.045***	0.000	2.961	0.000
Birleşik Krallık	-1.495**	0.029	0.681	0.402
Türkiye	-2.637***	0.000	0.866***	0.000

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 11’de yer alan diğer bağımsız değişken emek faktörünün bağımlı değişken birim üretim maliyeti üzerindeki uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, emek faktörünün birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi 14 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlıdır. Bu ülke grubu içerisinde sadece Çekya’nın tarım sektörü için emek faktöründeki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini negatif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuçlara ulaşılan Danimarka, Estonya, Fransa, Hırvatistan, İtalya, Letonya, Litvanya, Macaristan, Malta, Avusturya, Portekiz, Finlandiya ve Türkiye’nin tarım sektörü için emek faktöründeki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini pozitif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilediği görülmektedir. Emek miktarında meydana gelen yüzde 1’lik artış Danimarka’da birim üretim maliyetini yüzde 7.4 arttırırken bu oran Malta’da yüzde 3.11 Portekiz’de ise yüzde 1,95 olarak bulunmuştur.

29 ülke için sanayi sektöründe kümülatif üretim miktarı ve kullanılan emek faktörünün değişken birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi Tablo 12’de gösterilmektedir. CCE tahmincisi uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, kümülatif üretim miktarının birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi 22 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlı sonuç vermiştir. Bu ülke grubu içerisinde sadece Güney Kıbrıs’ın sanayi sektörü için kümülatif üretim miktarındaki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini pozitif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuç bulunan diğer

ülkelerin sanayi sektörü için kümülatif üretim miktarındaki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini negatif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilemiştir. Kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1’lik artış Almanya’da birim üretim maliyetini yüzde 6.94 oranında azaltırken bu oran Bulgaristan’da yüzde 4.71 Avusturya’da ise yüzde 4.04 olarak bulunmuştur.

Tablo 12: Sanayi Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Sanayi Sektörü				
Ülkeler	$-a$	Olasılık Değeri	ϕ_2	Olasılık Değeri
Belçika	-1.417***	0.000	0.676***	0.000
Bulgaristan	-4.713***	0.002	0.046	0.919
Çekya	-2.231	0.133	0.384	0.297
Danimarka	-1.033	0.119	2.123***	0.000
Almanya	-6.943***	0.001	3.109***	0.000
Estonya	-3.564***	0.009	0.632*	0.060
İrlanda	-1.790***	0.000	0.871	0.150
Yunanistan	-0.879**	0.016	0.704***	0.002
İspanya	-0.840*	0.059	0.707***	0.000
Fransa	-2.524**	0.015	0.627	0.450
Hırvatistan	-2.448***	0.000	0.833***	0.000
İtalya	-1.522***	0.000	0.958***	0.000
Güney Kıbrıs	3.346***	0.000	-0.533**	0.010
Letonya	0.828	0.627	0.842***	0.000
Litvanya	-2.426	0.157	1.160	0.134
Lüksemburg	-1.878***	0.004	3.379***	0.003
Macaristan	-3.863***	0.002	0.713***	0.003
Malta	-3.278***	0.009	0.776	0.144
Hollanda	-3.237***	0.000	-0.375	0.612
Avusturya	-4.049***	0.000	0.580*	0.081
Polonya	-1.340***	0.000	0.689***	0.005
Portekiz	-1.833	0.528	0.500**	0.070
Romanya	-2.397	0.191	1.314	0.161
Slovenya	-1.519	0.483	0.508	0.242
Slovakya	-3.563***	0.001	2.473***	0.005
Finlandiya	-1.802***	0.000	1.299**	0.018
İsveç	-1.449**	0.035	0.189	0.693
Birleşik Krallık	-1.281**	0.039	0.294	0.349
Türkiye	-1.926***	0.000	0.199	0.419

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 12’de gösterilmekte olan emek faktörünün birim üretim maliyeti üzerindeki uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, emek faktörünün birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi örnekleme oluşturan 17 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlıdır. Bu ülke grubu içerisinde sadece Güney Kıbrıs’ın sanayi sektörü için emek faktöründeki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini negatif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuçlara ulaşılan diğer ülkelerin sanayi sektöründe emek faktöründeki yüzde 1’lik artış birim üretim maliyetini pozitif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilediği görülmektedir. Emek miktarında meydana gelen yüzde 1’lik artış Lüksemburg’da birim üretim maliyetini yüzde 3.37 arttırırken bu oran Almanya’da yüzde 3.10 Slovakya’da ise yüzde 2.47 olarak bulunmuştur.

Tablo 13: Hizmetler Sektörü Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Hizmetler Sektörü				
Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	ϕ_2	Olasılık Değeri
Belçika	-2.477***	0.000	0.272	0.550
Bulgaristan	-3.750***	0.000	0.019	0.888
Çekya	-1.366	0.128	2.676***	0.000
Danimarka	-1.566	0.102	0.280	0.750
Almanya	-0.756*	0.080	1.058**	0.013
Estonya	-3.026*	0.094	1.366*	0.090
İrlanda	-3.553***	0.000	0.549*	0.060
Yunanistan	-2.144***	0.000	0.440	0.301
İspanya	-5.981***	0.000	0.674**	0.032
Fransa	-4.569***	0.000	0.039	0.909
Hırvatistan	-2.774***	0.000	1.431***	0.000
İtalya	-1.818***	0.000	-0.291	0.580
Güney Kıbrıs	-3.120***	0.000	0.086	0.705
Letonya	-1.476***	0.001	0.870***	0.000
Litvanya	-1.061	0.342	0.451	0.128
Lüksemburg	-3.268***	0.001	1.802***	0.000
Macaristan	-4.316***	0.000	1.239**	0.030
Malta	-2.500**	0.031	2.229***	0.000
Hollanda	-4.788***	0.007	0.137	0.737
Avusturya	-1.236	0.203	-2.973*	0.068
Polonya	-2.449***	0.000	0.305	0.664
Portekiz	-3.973***	0.000	0.661***	0.004
Romanya	-2.104	0.201	-3.300	0.151
Slovenya	-1.449***	0.000	1.321***	0.000
Slovakya	-0.364	0.594	4.524***	0.000
Finlandiya	-1.068	0.329	0.534	0.457
İsveç	-3.295**	0.046	1.581	0.214
Birleşik Krallık	-3.935***	0.000	0.962	0.185
Türkiye	-2.138***	0.000	1.496*	0.056

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 13’te verilmiş olan hizmetler sektörüne ait uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, kümülatif üretim miktarının birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi örnekleme oluşturan 22 ülke

grubu için istatistiki olarak anlamlıdır. Söz konusu ülkelerin tamamı için kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artış birim üretim maliyetini negatif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilemiştir. Kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artış İspanya'da birim üretim maliyetini yüzde 5.98 azaltırken bu oran Hollanda'da yüzde 4.78 Fransa'da ise yüzde 4.56 olarak bulunmuştur.

Hizmetler sektörüne ait olan diğer bağımsız değişken emek miktarının birim üretim maliyeti üzerindeki uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre emek miktarının birim üretim maliyeti üzerindeki etkisi örneklemi oluşturan 15 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlıdır. Bu ülke grubu içerisinde sadece Avusturya'nın hizmetler sektörü için kümülatif üretim miktarındaki yüzde 1'lik artış birim üretim maliyetini negatif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuçlara ulaşılan diğer ülkelerin hizmetler sektörü için kümülatif üretim miktarındaki yüzde 1'lik artış birim üretim maliyetini pozitif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilediği görülmektedir. Emek miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artış Slovakya'da birim üretim maliyetini yüzde 4.52 arttırırken bu oran Çekya'da yüzde 2.67 Malta'da ise yüzde 2.22 olarak bulunmuştur.

Çalışma kapsamında 29 ülke örneklemi kullanılarak elde edilen uzun dönem katsayı tahmin sonuçları tarım, sanayi ve hizmetler sektörü için çoğunlukla istatistiki olarak anlamlı sonuçlar vermiştir. Bu edinilen bulgulardan hareketle, genel olarak tarım, sanayi ve hizmetler sektörleri için kümülatif üretim miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artışın birim üretim maliyetini negatif olarak etkilemesi; öğrenme esnekliğinin ($-\alpha$) çalışmanın modeline uygun olarak negatif tahmin edildiğini göstermektedir. Emek miktarında meydana gelen yüzde 1'lik artışın ise birim üretim maliyetini pozitif yönde etkilemesi ($+\phi_2$) çalışmanın modeline uygun olarak gerçekleşmiştir.

3.3.2. Öğrenme Oranlarının Hesaplanması

Çalışmanın amacı, AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için tarım, sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenmenin ülkeler düzeyinde analizini gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda iktisat literatüründeki benzer çalışmalar da dikkate alınarak, oluşturulan model üzerinden veriler analize hazır hale getirilmiş, panel veri analiz süreci sonunda öğrenme esnekliği ($-\alpha$) katsayısı hesaplanmıştır.

3.3.2.1. Tarım Sektörü Öğrenme Oranları

Tablo 14'te AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi tarım sektörü için hesaplanan öğrenme oranı katsayıları gösterilmektedir. Görüleceği üzere öğrenme oranının en düşük yani öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu üç ülke 0.02 puan ile Fransa ve İtalya, 0.05 puan ile Bulgaristan'dır. Öğrenme oranının en yüksek yani öğrenme düzeyinin en düşük olduğu üç ülke 0.38 puan ile Çekya, 0.35 puan ile Birleşik Krallık, 0.26 puan ile Yunanistan'dır. Öğrenme

oranı katsayısının düşük olduğu Fransa, İtalya ve Bulgaristan’da tarım sektörü için üretim sürecinde öğrenmenin yüksek olduğu söylenebilirken; öğrenme oranının kısmen yüksek olarak görüldüğü Çekya, Birleşik Krallık ve Yunanistan’da öğrenme oranı katsayısının 1’e yakın aldığı değer nedeniyle üretim sürecinde öğrenmenin yüksek olduğunu söyleyebilmek güçtür.

Tablo 14: Tarım Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları

Tarım Sektörü Öğrenme Oranları							
Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	$d=2^{-\alpha}$	Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	$d=2^{-\alpha}$
Belçika	-2.762*	0.089	0.15	Lüksemburg	-3.774***	0.000	0.07
Bulgaristan	-4.310**	0.010	0.05	Macaristan	-3.818***	0.003	0.07
Çekya	-1.399*	0.050	0.38	Malta	-3.112***	0.007	0.12
Danimarka	-0.531	0.713	0.69	Hollanda	-3.093*	0.089	0.12
Almanya	-2.187	0.255	0.22	Avusturya	-1.979**	0.022	0.25
Estonya	-2.399***	0.004	0.19	Polonya	-2.522***	0.002	0.17
İrlanda	-0.649	0.580	0.64	Portekiz	-0.704	0.558	0.61
Yunanistan	-1.948***	0.007	0.26	Romanya	-3.820***	0.003	0.07
İspanya	0.446	0.786	1.36	Slovenya	-3.537**	0.023	0.09
Fransa	-5.379**	0.017	0.02	Slovakya	-3.191***	0.002	0.11
Hırvatistan	-0.730	0.670	0.60	Finlandiya	-2.646**	0.015	0.16
İtalya	-5.351**	0.010	0.02	İsveç	-3.045***	0.000	0.12
Güney Kıbrıs	-2.428*	0.050	0.19	Birleşik Krallık	-1.495**	0.029	0.35
Letonya	-3.157***	0.003	0.11	Türkiye	-2.637***	0.000	0.16
Litvanya	-2.005***	0.005	0.25	AB (Türkiye hariç)	-3.035**	0.013	0.12

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Türkiye hariç AB-27 ve Birleşik Krallık örneklemini içerisinde tarım sektöründe panel veri analiz sonuçlarına göre, öğrenme esnekliği katsayısının istatistiki olarak anlamlı çıktığı 22 ülke grubu için ortalama öğrenme oranı katsayısı 0.12 olarak bulunmuştur. Türkiye’nin tarım sektörü için öğrenme oranı 0.16 ile AB ülkelerinin ortalama öğrenme oranına yakın bir değer taşımaktadır. Dolayısıyla Türkiye örnekleminde tarım sektörü için üretim sürecinde öğrenmenin AB ülkelerine göre nispeten yavaş olduğu değerlendirilebilir.

Danimarka, Almanya, İrlanda, İspanya, Hırvatistan ve Portekiz’in panel veri analizi sonucunda öğrenme esnekliği katsayısı istatistiki olarak anlamlı çıkmadığından bu ülkelerin tarım sektörü için öğrenme oranı katsayısı yorumlanmamıştır.

3.3.2.2. Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları

Tablo 15’te AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi sanayi sektörü için hesaplanan öğrenme oranı katsayıları yer almaktadır. Görüleceği üzere, Almanya (0.01), Bulgaristan (0.04) ve Avusturya (0.06) öğrenme oranının en düşük yani öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu üç ülke konumundadır. Öğrenme oranının en yüksek yani öğrenme düzeyinin en düşük olduğu üç ülke 10.17 puan ile Güney Kıbrıs, 0.56 puan ile İspanya ve 0.54 puan ile Yunanistan’dır. Sonuçlardan hareketle İspanya ve Yunanistan’da öğrenmenin düşük olduğu söylenebilirken; Güney Kıbrıs’ta ise üretim sürecinde bilgilerin unutulduğu ya da bilgilerin güncelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır.

Tablo 15: Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları

Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları							
Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	$d=2^{-\alpha}$	Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	$d=2^{-\alpha}$
Belçika	-1.417***	0.000	0.37	Lüksemburg	-1.878***	0.004	0.27
Bulgaristan	-4.713***	0.002	0.04	Macaristan	-3.863***	0.002	0.07
Çekya	-2.231	0.133	0.21	Malta	-3.278***	0.009	0.10
Danimarka	-1.033	0.119	0.49	Hollanda	-3.237***	0.000	0.11
Almanya	-6.943***	0.001	0.01	Avusturya	-4.049***	0.000	0.06
Estonya	-3.564***	0.009	0.08	Polonya	-1.340***	0.000	0.40
İrlanda	-1.790***	0.000	0.29	Portekiz	-1.833	0.528	0.28
Yunanistan	-0.879**	0.016	0.54	Romanya	-2.397	0.191	0.19
İspanya	-0.840*	0.059	0.56	Slovenya	-1.519	0.483	0.35
Fransa	-2.524**	0.015	0.17	Slovakya	-3.563***	0.001	0.08
Hırvatistan	-2.448***	0.000	0.18	Finlandiya	-1.802***	0.000	0.29
İtalya	-1.522***	0.000	0.35	İsveç	-1.449**	0.035	0.37
Güney Kıbrıs	3.346***	0.000	10.17	Birleşik Krallık	-1.281**	0.039	0.41
Letonya	0.828	0.627	1.78	Türkiye	-1.926***	0.000	0.26
Litvanya	-2.426	0.157	0.19	AB (Türkiye hariç)	-2.316**	0.013	0.20

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Türkiye hariç AB-27 ve Birleşik Krallık örnekleminde sanayi sektöründe panel veri analiz sonuçlarına göre, öğrenme esnekliği katsayısının istatistiki olarak anlamlı çıktığı 21 ülke grubu için ortalama öğrenme oranı katsayısı 0.20 olarak bulunmuştur. Türkiye’nin sanayi sektörü için öğrenme oranı 0.26 puan ile AB ülkelerinin ortalama öğrenme oranının üzerinde yer almıştır. Bu sonuç, Türkiye’de sanayi sektörü üretim sürecindeki öğrenme düzeyinin AB ülkelerinin sanayi sektöründeki öğrenme düzeyinden daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Çekya, Danimarka, Letonya, Litvanya, Portekiz, Romanya ve Slovenya'nın öğrenme esnekliği katsayıları istatistiki olarak anlamlı çıkmadığından, bu ülkelerin sanayi sektörü için öğrenme oranı katsayısı yorumlanmamıştır.

3.3.2.3. Hizmetler Sektörü Öğrenme Oranları

Tablo 16'da AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 hizmetler sektörü için hesaplanan öğrenme oranı katsayıları gösterilmektedir. Tabloda yer alan değerlere göre, öğrenme oranının en düşük yani öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu üç ülke İspanya(0.02), Fransa(0.04) ve Hollanda (0.04) olurken; Almanya (0.59), Slovenya (0.37) ve Letonya (0.36) öğrenme oranı en yüksek yani öğrenme düzeyi en düşük değerlere sahip ülke konumundadırlar.

Tablo 16: Hizmetler Sektörü Öğrenme Oranları Sonuçları

Hizmetler Sektörü Öğrenme Oranları							
Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	d=2 ^{-α}	Ülkeler	- α	Olasılık Değeri	d=2 ^{-α}
Belçika	-2.477***	0.000	0.18	Lüksemburg	-3.268***	0.001	0.10
Bulgaristan	-3.750***	0.000	0.07	Macaristan	-4.316***	0.000	0.05
Çekya	-1.366	0.128	0.39	Malta	-2.500**	0.031	0.18
Danimarka	-1.566	0.102	0.34	Hollanda	-4.788***	0.007	0.04
Almanya	-0.756*	0.080	0.59	Avusturya	-1.236	0.203	0.42
Estonya	-3.026*	0.094	0.12	Polonya	-2.449***	0.000	0.18
İrlanda	-3.553***	0.000	0.09	Portekiz	-3.973***	0.000	0.06
Yunanistan	-2.144***	0.000	0.23	Romanya	-2.104	0.201	0.23
İspanya	-5.981***	0.000	0.02	Slovenya	-1.449***	0.000	0.37
Fransa	-4.569***	0.000	0.04	Slovakya	-0.364	0.594	0.78
Hırvatistan	-2.774***	0.000	0.15	Finlandiya	-1.068	0.329	0.48
İtalya	-1.818***	0.000	0.28	İsveç	-3.295**	0.046	0.10
Güney Kıbrıs	-3.120***	0.000	0.12	Birleşik Krallık	-3.935***	0.000	0.07
Letonya	-1.476***	0.001	0.36	Türkiye	-2.138***	0.000	0.23
Litvanya	-1.061	0.342	0.48	AB (Türkiye hariç)	-3.071***	0.009	0.12

Açıklama: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Türkiye hariç, AB-27 ve Birleşik Krallık örneklemini içerisinde hizmetler sektöründe öğrenme esnekliği katsayısının istatistiki olarak anlamlı çıktığı 21 ülke grubu için ortalama öğrenme oranı katsayısı 0.12 olarak bulunmuştur. Türkiye'nin hizmetler sektörü için öğrenme oranı 0.23 puan ile AB ülkelerinin ortalama öğrenme oranının çok üzerinde yer almıştır. Dolayısıyla Türkiye'nin hizmetler sektörü için hesaplanan öğrenme oranı katsayısı, tarım ve sanayi sektöründe olduğu gibi, AB ortalamasının üzerinde yer almaktadır. Diğer bir ifade ile Türkiye'de her üç sektör için öğrenme düzeyi AB ortalamasından daha düşük bir seviyede kalmaktadır.

Çekya, Danimarka, Litvanya, Avusturya, Romanya, Slovakya ve Finlandiya'nın panel veri analizi sonucunda öğrenme esnekliği katsayısı istatistiki olarak anlamlı çıkmadığından bu ülkelerin hizmetler sektörü için öğrenme oranı katsayısı yorumlanmamıştır.



SONUÇ ve ÖNERİLER

Öğrenme olgusu, ilk olarak psikologlar tarafından bireysel davranışlar üzerinden incelenmiştir. Bireyler üzerinde yapılan araştırmalar, bir görevi gerçekleştirmek için gereken sürenin görevle ilgili deneyim arttıkça azalan bir oranda azaldığını ortaya koymuştur. İlerleyen zamanlarda Wright (1936)'ın endüstriyel bir ortamda öğrenmeye ilişkin gözlemlerini yayınlamasıyla birlikte öğrenmenin hem bireysel hem de organizasyonel bağlamda var olduğu kabul edilmiştir. Wright (1936)'ın uçak endüstrisinde yaptığı çalışmasında üretilen çıktı iki katına çıktıkça, bir birim üretmek için gereken sürenin sabit bir yüzde oranında azaldığını ileri süren görüşü “öğrenme eğrileri”nin temelini oluşturmuştur. Öğrenme eğrilerinin temelinde Arrow'un (1962) daha sonra literatüre kazandırdığı “yaparak öğrenme” kavramı yatmaktadır. Yaparak öğrenme insan performansını arttıran doğal bir olgudur. Bu bağlamda bir görevi gerçekleştirmek için gereken süre, çalışanların aynı işi sürekli tekrar etmesiyle işi eskiye nazaran daha kısa sürede yapmaya başlamasıyla azalır. Bu durum işçi performansının artmasıyla ilişkilendirilir.

Organizasyon içinde öğrenme olgusunun çalışanların performansını arttırması ve performans artışının getirdiği yansımalar nedeniyle öğrenmeye ve çalışanlar arasındaki bilgi aktarımına önem verilmiştir. Wright (1936) geleneksel öğrenme eğrisi modelinde öğrenme yoluyla edinilen bilginin değer kaybetmediğini varsayarken; Argote vd. (1990), bilginin belli bir noktadan sonra değer kaybettiğini ileri sürmüş ve geleneksel öğrenme eğrisi tarafından yakalanan öğrenmenin çalışanların, organizasyonel sistemlerin ve dış faktörlerin bir kombinasyonu olduğunu ifade etmiştir. Organizasyonlar bilgileri kendileri deneyimleyerek öğrenebileceği gibi, başkalarından öğrenme yoluyla da elde edebilir. Ancak yaparak öğrenme yoluyla edinilen bilginin organizasyonlar arasında aktarılmasında zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Günümüzde olduğu gibi organizasyonlar birbirleriyle sürekli rekabet halindedir ve sahip oldukları bilgiyi aktarmak istemeyebilirler. Kısıtlamaların olmadığı veya organizasyonlar arasında bilgi transferini teşvik etmek için girişimlerin yapıldığı durumlarda bile çok fazla bilgi transferi görülmemektedir. Bu durumda organizasyonların öğrenmesi ve öğrenme yoluyla çalışanların performanslarının artması, performansı artan çalışanların işi daha kısa sürede yapmaya başlayarak maliyetlerde düşüşlere yol açarak verimlilik artışı sağlaması önem kazanmaktadır. Bu durumda maliyetleri düşen organizasyonlar, diğer organizasyonlara göre rekabet avantajı sağlarlar. Yöneticiler işin seyrinde öğrenme etkilerini önceden görebilirse ve kazançları önceden tahmin edebilirse maliyetlerde elde ettikleri düşüşle yeni bir piyasaya girerken rakiplerine karşı fiyat avantajı sağlayabilirler.

Öğrenmenin çeşitli sanayi dallarında üretim maliyetleri ve çalışan performansı üzerindeki etkilerini inceleyen literatürde birçok çalışma mevcuttur. Çalışmaların bir kısmı, kümülatif çıktı ve birim maliyetler arasındaki ilişkiye odaklanmış ve kümülatif çıktıdaki artışın zamanla öğrenmeyi ortaya çıkardığı ve öğrenmenin de maliyetleri azaltıcı yönde etki ettiği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmalardan ilki, öğrenme eğrilerini ilk defa uçak üretim tesislerinde kullanarak tekrarlayan faaliyetlerin maliyet düşüşlerine yol açtığını tespit eden Wright (1936) tarafından yapılmıştır. Wright, maliyetlerdeki bu azalmayı çalışanların işi öğrenip aynı işi daha kısa sürede yapmaya başlamasına ve yapılan işin sürekli olarak tekrarlanmasının çalışanları işi yapacak daha pratik yöntemler bulmaya yönlendirmesine bağlamıştır. Rapping (1965), 15 tersaneden gelen verileri kullanarak sıradan en küçük kareler yöntemiyle üretim fonksiyonunun parametrelerini tahmin etmiş ve kümülatif çıktının öğrenme ve adaptasyona atfedilen verimlilik artışlarını açıklayabileceğini göstermiştir. Nihayet Womer ve Patterson (1983), öğrenme eğrisi tahminlerine yeni bir yaklaşım getirerek öğrenme eğrilerinin doğrusal olmayan istatistiksel modellerini geliştirerek, kümülatif ortalama öğrenme eğrisi modeli ve birim öğrenme eğrisi modelini ele almıştır. Bu iki modeli karşılaştırmak için de Pesaran Deaton (1978) testinin bir versiyonunu kullanmıştır.

Öğrenme eğrilerinin varlığını inceleyen çalışmalara farklı endüstri dallarından örnekler verilebilir. Lieberman (1984) kimya endüstrisinde, Adler ve Clark (1991) elektrik endüstrisinde, Chung (2001) Kore yarı iletken sanayisinde, Asgari ve Yen (2008) Malezya'daki imalat ve hizmet endüstrisinde, Ranasinghe vd. (2016) Sri Lanka'daki hazır giyim imalat endüstrisinde ve Hayashi vd. (2018) Çin'de rüzgâr enerjisi endüstrisinde öğrenme eğrilerinin varlığını inceleyerek maliyetlerde oluşabilecek düşüşleri ve verimlilik artışlarını incelemişlerdir.

Yapılan analizlerde farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, geleneksel Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile öğrenme eğrilerinin birleştirilmesiyle elde edilen logaritmik denklemin tahmin edilmeye çalışılması araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmiştir. Heng ve Low (1965) Singapur'daki 20 imalat endüstrisindeki öğrenme etkisini incelemiş ve Singapur'daki öğrenme etkisini Güney Kore ve Japonya ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmaya göre Singapur'da elektronik, hassas aletler ve eczacılık gibi modern endüstrilerin öğrenme eğrilerinin eski endüstrilere göre daha dik olduğu görülmüştür. Singapur imalat endüstrisindeki öğrenme oranları Japonya ve Güney Kore ile karşılaştırıldığında, Japonya'nın kâğıt ürünleri ve baskı hariç tüm endüstrilerde en düşük öğrenme oranlarına sahip olduğu elde edilmiştir. Promongkit vd. (2000) Tayland'da 20 imalat endüstrisindeki teknolojik öğrenmeyi incelediği çalışmasında ortalama öğrenme potansiyeli ile bu endüstrilerin orta düzeyde bir öğrenme esnekliğine ve ağır imalat sanayilerinin daha dik öğrenme eğrilerine sahip olduğunu bulmuştur. Asgari ve Gonzales-Cortez (2012) Meksika'da 21 imalat alt sektöründe

öğrenme oranlarını tahmin etmiştir. Gıda sektöründe öğrenme oranı yüksek çıkarken tekstil, ahşap ve kâğıt için hesaplanan öğrenme oranları düşük çıkmıştır.

İlgili ulusal literatür incelendiğinde Albeni (2004), 1989-2000 döneminde Türkiye'nin iller ve bölgeler kapsamında imalat sanayinde meydana gelen sektörel teknolojik öğrenme oranları tahmin etmeye çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre illerin büyük çoğunluğunun öğrendiği, en fazla öğrenen illerin geleneksel sanayi odaklı iller olduğu ve öğrenme hızının gelişmişlik düzeyiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür. Karaöz (2004) ise 1981-2000 döneminde Türkiye'de imalat sanayinin 28 alt sektörü için sektörel teknolojik değişim sürecini analiz etmiştir. Analiz sonucunda 28 alt sektörden 17'sinin öğrenme oranlarının 0.72 ile 0.80 aralığında değer aldığı ve teknolojik unutmamanın sadece kömür ve petrol türevleri sektöründe görüldüğü tespit edilmiştir.

İlgili ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde, öğrenme eğrilerinin tarım, sanayi ve hizmetler sektörlerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar genellikle alt sektörler için daha küçük örneklemeleri ele alan çalışmalar olup, öğrenme oranlarına ilişkin alt sektörler arasında bir karşılaştırmaya gidilmemiştir. Ayrıca ilgili literatür incelendiğinde öğrenme eğrilerine ilişkin çoklu ülke karşılaştırmasına gidilmediği görülmüştür. Yapılan çalışmalar genellikle tek bir ülke bazında olup, o ülke için belirlenen sektöre ait tahmin edilen öğrenme oranları yorumlanmıştır. Bazı çalışmalarda ise bir ülke için belirlenen sektör tahminlerinden edinilen öğrenme oranları 2 veya 3 ülke arasında karşılaştırmaya gidilmiştir.

Ülke, ülke grubu ve sektörler arasında öğrenme oranı karşılaştırması yapılabilmesi amacıyla bu çalışmada, AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 döneminde tarım, sanayi ve hizmetler sektörleri için öğrenme oranları hesaplanmıştır. Panel veri analizi sonucunda ulaşılan uzun dönem katsayı tahmin değerlerinin kullanılarak hesaplanan öğrenme oranları ile ilgili sektör ve ülke bazlı olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- i. Tarım sektörü için öğrenmenin en yüksek olduğu ülkeler Fransa, İtalya ve Bulgaristan; en düşük olduğu ülkeler ise Çekya, Birleşik Krallık ve Yunanistan'dır. Örneklem grubu içerisinde sonuçları istatistiki olarak anlamlı çıkan ülkelerin öğrenme oranı, ortalama 0.12 değeri ile Türkiye'nin ortalama öğrenme oranının altındadır. Bu durum, tarım sektörü özelinde Türkiye'nin öğrenme düzeyinin Avrupa Birliği üye ülkelerinin ortalamasından düşük olduğunu göstermektedir. Öte yandan Türkiye'nin tarım sektörü öğrenme düzeyi, örneklem grubu içerisinde Çekya, Estonya, Yunanistan, Güney Kıbrıs, Litvanya, Avusturya, Polonya ve Birleşik Krallık'ın öğrenme düzeyinden yüksek olduğu tespit edilirken; Belçika, Bulgaristan, Fransa, İtalya, Letonya,

Lüksemburg, Macaristan, Malta, Hollanda, Romanya, Slovakya, Slovenya ve İsveç'te öğrenme düzeyinin Türkiye'den daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'de tarım sektörü için üretim sürecinde öğrenme düzeyinin düşük olması, sektörde modern teknoloji kullanımının düşük, inovasyon yatırımlarının az ve üretimin iklim koşullarına doğrudan bağımlı ürünler üzerinden gerçekleştirilmesinin etkili olduğu söylenilebilir. Bu karşılaştırma TÜİK ve FAO veri tabanları incelendiğinde desteklenmektedir. Çalışmanın örneklem grubunda yer alan ve öğrenme düzeyleri en yüksek olan Fransa, İtalya ve Bulgaristan'da sırasıyla 2004 yılında kullanılan tarımsal ilaç miktarı 2361(ton), 76099 (ton) ve 83810 (ton) seviyesindeyken, bu değerler 2020 yılında 4220(ton), 65216(ton) ve 56556(ton) olmuştur. Türkiye'nin ise dönem içerisinde kullanmış olduğu tarım ilacı miktarı 28831(ton) seviyesinden 53672(ton) seviyesine yükselmesine rağmen, bu değer açısından henüz Avrupa'da tarım sektöründe öğrenme düzeyi yüksek olan Fransa ve İtalya'nın gerisindedir (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>, Erişim Tarihi: 25.11.2022). TÜİK verilerine göre ise Türkiye 2020 yılında sahip olduğu 17 793 biçerdöver, 1 442 090 traktör ve 11 493 067 tarımsal alet ve makine sayısı ile tarım sektöründe henüz hedeflenen teknolojik yatırım seviyesinde olmadığını göstermektedir (<https://data.tuik.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 25.11.2022).

Eurostat verilerine göre öğrenme düzeyi yüksek çıkan Fransa, İtalya ve Bulgaristan'da tarım sektöründe işgücü verimliliğinin yüksek ve birim işgücü maliyetlerinin düştüğü, tarımsal araştırmalara devlet desteğinin giderek arttığı; öğrenme düzeyi düşük çıkan Çekya, Birleşik Krallık ve Yunanistan'da tarım sektöründeki işgücü verimliliğinin düşük ve işgücü maliyetlerinin yüksek, tarımsal araştırmalara verilen devlet desteğinin az olduğu tespit edilmiştir. Öğrenme düzeyinin yüksek çıkmasında Fransa'nın yüzyıllardır önemli bir tarım ülkesi olmakla birlikte sektörde ulaşılabilir hedefler koyarak motivasyonu yüksek tutması; İtalya'da tarım uygulamalarının modern ve tarım makineleri üretiminde ve ihracatında dünyada ilk sırada olması; Bulgaristan'ın AB'ye üyelikle finansman imkânlarının artmasıyla sektörün yenilenmesi bir neden olarak gösterilebilir. Öğrenme düzeyi düşük çıkan Çekya, Birleşik Krallık ve Yunanistan'da tarımın ekonominin önemli bir kısmını oluşturmadığı, ağırlığın diğer sektörler üzerinde olduğu ve AB kapsamında sektörü destekleyecek nitelikte yatırımlar yapılırsa da yeterli olmadığı görülmüştür.

- ii. Sanayi sektörü için öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu ülkeler Almanya, Bulgaristan ve Avusturya olurken; öğrenme düzeyinin en düşük olduğu ülkeler İspanya ve Yunanistan'dır. Güney Kıbrıs için hesaplanan öğrenme oranı bu ülkede sanayi sektörü için üretim sürecinde unutmada durumunun ortaya çıktığını ya da bilgi ve tecrübenin güncelliğini kaybetmeye başladığını göstermektedir. Örneklem grubu içerisinde uzun dönem katsayı değerleri istatistiki olarak anlamlı çıkan 21 ülkenin ortalama öğrenme oranı seviyesi 0.20 olarak hesaplanmıştır. Bu değer tarım sektöründe olduğu gibi

Avrupa Birliği ülkelerinde sanayi sektöründe de öğrenme seviyesinin Türkiye'deki öğrenme seviyesinden (0.26) daha düşük olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin sanayi sektörü için öğrenme seviyesi örneklem grubu içerisinde Belçika, İrlanda, Yunanistan, İspanya, İtalya, Güney Kıbrıs, Lüksemburg, Polonya, Finlandiya, İsveç ve Birleşik Krallık'ın öğrenme seviyesinden daha yüksek; Bulgaristan, Almanya, Estonya, Fransa, Hırvatistan, Macaristan, Malta, Hollanda, Avusturya ve Slovakya'nın sanayi sektörü için öğrenme seviyesinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Öğrenmenin öncelikli olarak gerçekleştiği ilk durumun yaparak öğrenme olmasına rağmen literatürdeki çalışmalar teknolojik gelişimin, inovasyon yatırımları sağlanmadan tek başına yaparak öğrenmenin üretim çıktısı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Sanayi sektörü için öğrenme düzeyinin yüksek olduğu Almanya, Bulgaristan ve Avusturya'da araştırma-geliştirme harcamalarının gsyih oranı yüzdelik olarak 2004 yılı için sırasıyla 2.44; 0.47; 2.17 seviyesindeyken bu değer 2020 yılı için 3.13; 0.81; 3.13'tür (<https://ec.europa.eu/eurostat>, Erişim Tarihi:25.11.2022). Türkiye'de ise 2004 yılında yüzde 0.50 olan araştırma-geliştirme faaliyetlerinin gsyih oranı 2020 yılında 1.09 seviyesine yükselmiştir. Türkiye'de 2020 yılında imalat sanayinde üretilmiş olan yüksek teknolojlili ürünlerin toplam ürünler içerisindeki yüzdelik payı 3.6 seviyesindeyken orta-ileri teknolojlili ürünler için bu pay 26.5; orta-düşük teknolojlili ürünler için 32; düşük teknolojlili ürünler için ise 37.6'dır (<https://data.tuik.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 25.11.2022).

Bu veriler ışığında Türkiye örneğinde de sanayi sektöründe nitelikli personel sayısının azlığının, Ar-ge ve inovasyon yatırımlarının yetersizliğinin, üretimin dışa bağımlılığı ve emek yoğun üretimden sermaye yoğun üretim biçimine geçişin yavaş olmasının öğrenme oranı üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Eurostat verilerine bakıldığında öğrenme düzeyi yüksek çıkan Almanya, Bulgaristan ve Avusturya'da sanayi sektöründe işgücü verimliliğinin yüksek ve işgücü maliyetlerinin düşük, sektöre yapılan araştırma ve geliştirmeye devlet desteğinin fazla olduğu; öğrenme düzeyi düşük çıkan İspanya, Güney Kıbrıs ve Yunanistan'da sanayi sektöründeki işgücü verimliliğinin düşük ve işgücü maliyetlerinin yüksek, sektörde araştırma ve geliştirmeye yapılan devlet desteğinin düşük olduğu görülmüştür. Öğrenme düzeyinin yüksek çıkmasında Almanya'da özellikle otomotiv, sermaye malları, kimyasallar ve ev aletleri segmentlerinde sanayi sektörünün çok gelişmiş olması; Bulgaristan ve Avusturya'da AB'ye üyelik kapsamında ülkenin yabancı yatırımlar için yeni bir yatırım merkezi olması bir neden olarak gösterilebilir.

- iii. Hizmetler sektörü için öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu ülkeler İspanya, Fransa ve Hollanda olurken; öğrenme düzeyinin en düşük olduğu ülkeler Almanya, Slovenya ve Letonya olarak gözlemlenmiştir. Uzun dönem katsayı değerlerinin istatistiki olarak anlamlı çıktığı 21 Avrupa Birliği üye ülkesinin ortalama öğrenme oranı 0.12 olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin hizmetler sektörü için hesaplanan öğrenme oranı 0.23 ile

Avrupa Birliği üye ülkelerinin gerisindedir. Türkiye'nin hizmetler sektörü için öğrenme oranı Almanya, İtalya, Letonya ve Slovenya'dan yüksek; Belçika, Bulgaristan, Estonya, İrlanda, İspanya, Fransa, Hırvatistan, Güney Kıbrıs, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, İsveç ve Birleşik Krallık'ın öğrenme oranından daha düşük olduğu görölmüştür. Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında Türkiye'de hizmetler sektörüne yönelik eğitim ve teşvik programlarının, mali ve ticari desteklerin yetersiz, bu sektör içerisinde ürün çeşitliliğinin az ve otomasyon seviyesinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Eurostat verilerine bakıldığında hizmetler sektöründe öğrenme düzeyi yüksek çıkan İspanya, Fransa ve Hollanda'da Ar-Ge'de istihdam edilen araştırmacı sayısının fazla ve bu sektöre yapılan devlet desteğinin yüksek olduğu; öğrenme düzeyi düşük çıkan Almanya, Slovenya ve Letonya'da hizmetler sektöründe Ar-Ge'de istihdam edilen araştırmacı sayısının az ve sektöre yapılan devlet desteğinin düşük olduğu görölmüştür. Öğrenme düzeyinin yüksek çıkmasında İspanya, Fransa ve Hollanda'da ekonominin en büyük kısmını hizmetler sektörünün oluşturduğu; İspanya ve Fransa'da özellikle turizm sektörünün Hollanda'da ise ulaşım, lojistik ve dağıtım, yazılım geliştirme ve finansal alanlarda gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Öğrenme düzeyi düşük çıkmasının nedeni olarak Almanya'da yüksek işçilik maliyetleri, artan işsizlik oranları ve özel tüketim harcamalarının yetersiz seviyede olması; Slovenya'da eğitimli işgücü sayısının yüksek olmasına rağmen 2008 kriziyle ortaya çıkan bankacılık krizi ve dış yatırımcı oranının hızlı düşüşüne paralel olarak ekonominin aniden daralmaya başlaması; Letonya'da 2000'lerden itibaren ekonomi gelişmeye başlamışsa da işgücü sayısının yetersiz olması düşük doğum oranı ve nüfusun yaşlanması gösterilebilir.

- iv. Türkiye özelinde bir değerlendirme yapıldığında Türkiye'nin tarım sektöründe 0.16, sanayi sektöründe 0.26 ve hizmetler sektöründe 0.23 seviyesindeki öğrenme oranlarıyla sırasıyla 0.12, 0.20 ve 0.12 seviyelerindeki AB ortalama öğrenme oranlarının üzerinde değerler aldığı görölmüştür. Avrupa Birliği üye ülkeleri ile öğrenme oranı açıklığının en az olduğu sektörün tarım, en fazla olduğu sektörün ise hizmetler sektörü olduğu tespit edilmiştir. Yaparak öğrenmenin en fazla ortaya çıkabileceği sektör olan tarım sektöründe öğrenme oranı açıklığının düşük gerçekleşmesi beklenen bir durumdur. Tarım sektöründen sanayi ve hizmetler sektörüne gidildikçe üretim sürecinde eğitim, bilim ve teknolojinin, ar-ge ve inovasyon yatırımlarının önemi artmaktadır. Türkiye'nin sanayi ve hizmetler sektöründe öğrenme oranı açıklığının giderek artması, söz konusu bu faktörlerde Türkiye'nin etkin ve başarılı bir süreç yönetemediğini göstermektedir.

Öğrenme eğrileri kapsamında Türkiye'nin sektörel bazda bu dezavantajlı durumunu ortadan kaldırarak gelişmiş ülkeler arasında yer alabilmesi için politika önermeleri kapsamında:

- i. Sektörlerin üretim sürecinde üretim verimliliğini arttırmaya ve birim işgücü maliyetini düşürmeye yönelik eğitim programlarının geliştirilmesi,
- ii. Yapararak öğrenmenin ortaya çıkardığı sınırlı etkinin üzerine çıkarak, öğrenme-ekonomik performans etkileşiminde Türkiye'nin amaca yönelik eğitim sistemleri kapsamında eğitim programlarını geliştirmesi, eğitim, bilim ve teknolojiye daha fazla önem vererek Ar-Ge ve inovasyon yatırımlarının artırılması,
- iii. Emek yoğun sektörlerden bilgi yoğun sektörlere geçişin temin edilmesi,
- iv. Ekonomik uygulanabilirlik kapsamında mali ve ticari teşvik kapsamalarının genişletilmesi,
- v. Otomasyon seviyesinin yükseltilmesinin yanı sıra özellikle hizmetler sektöründe ürün çeşitliliğinin artırılması gibi öneriler dile getirilebilir.

Organizasyonlar bakımından;

- Yöneticilerin, bireysel öğrenme düzeyini arttırmak için işe alım sürecinde bilimsel test yöntemleri aracılığıyla personel alımlarını gerçekleştirmesi, uygun teşvikler ve eğitim programları sağlayarak üretimi kolaylaştıracak şekilde rol almalarının sağlanması,
- Yöneticilerin, çalışanları uygun işlerle eşleştirmeye dikkat etmeleri,
- Çalışanları motive etmek amacıyla performans dayalı farklı ücret politikalarının uygulanması,
- Organizasyonlar arasında bilgi aktarımını sağlamak amacıyla personel hareketlerine, toplantılara ve ticari birlikteliklere katılımın sağlanması,
- Çalışanlar için kendilerini rahatça ifade edebildikleri, uygun makine ve ekipmanların sağlandığı iyi bir üretim ortamının oluşturulması gibi önerilerde bulunmak mümkündür.

Çalışmadan elde edilen sonuçların, ülke ve sektörlerin gelişmişlik farklılıklarının öğrenme eğrileri yardımıyla karşılaştırılması konusunda yol gösterici olması ve üretim süreçlerinde politika uygulayıcıları ve karar verici birimler için öğrenme eğrileri konusunda farkındalık oluşturulmasında katkı vermesi beklenmektedir. Bu noktada daha fazla bilimsel araştırmanın yapılmasında yarar görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adler, P. S. ve Clark, K. B. (1991), "Behind The Learning Curve: A Sketch of the Learning Process", **Management Science**, 37(3), 267-281.
- Agrawal, A. ve Muthlingam, S. (2015), "Does Organizational Forgetting Affect Vendor Quality Performance? An Empirical Investigation", **Manufacturing & Service Operations Management, Articles in Advance**, 1-18.
- Aydın, M. K. ve Aksoy, Ö. (2014), "Öğrenme'nin 'Kısa Dönem' Koşulları Altında Maliyet Azaltıcı Etkisi Üzerine Bir Değerlendirme", **Bilgi**, 29, 1-15.
- Albeni, M. (2004), "Türkiye'de Teknolojik Öğrenmenin Alansal Analizi", **Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 22, 19-37.
- _____ (2005), "Kamu ve Özel Sektör İmalat Sanayiinde Teknolojik Öğrenme Performansına İlişkin Bir Karşılaştırma", **Yönetim Bilimleri Dergisi**, 3(1), 127-140.
- Alchian, A. (1950), "Reliability of Progress Curves in Airframe Production", **Calif. RAND Corporation**, Santa Monica.
- Anderlohr, G. (1969), "Determining the Cost of Production Breaks", **Management Review**, 58(12), 16-19.
- Andress, F. J. (1954), **The Learning Curve as a Production Tool**, 3th Ed., Harward Universty.
- Antonio A. ve Barry K. (2013), **Designing Supply Chains for New Product Development**, Business Expert Press.
- Anzanello, M. J. ve Fogliatto, F. S. (2011), "Learning Curve Models and Applications: Literature Review and Research Directions", **International Journal of Industrial Ergonomics**, 41, 573-583.
- Argote, L. (2013), "Chapter 3: Organizational Forgetting", **Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge**, Springer.
- Argote L., Beckman, S.L., ve Epple, D. (1990), "The Persistence and Transfer of Learning in Industrial Settings", **Management Science**, 36(2), 140-154.
- Argote, L. ve Epple, D. (1990), "Learning Curves in Manufacturing", **Science**, 247(4945), 920-924.
- Argote, L. (1993), "Group and Organizational Learning Curves: Individual, System and Environmental Components", **British Journal of Social Psychology**, 32, 31-51.

- _____ (1999), "Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge, **Norwell: Kluwer Academic.**
- Argote, L. ve Miron-Spektor, E. (2011), "Organizational Learning: From Experience to Knowledge", **Organization Science**, 22(5), 1123-1137.
- Arreola-Risa, A. (2013), "Designing Supply Chains for New Product Development", **Business Expert Press.**
- Arrow, K. J. (1961), "The Economic Implications of Learning by Doing", **The Review of Economic Studies**, 29, 155-173.
- Asgari, B. ve Gonzalez-Cortez, J. L. (2012), "Measurement of Technological Progress Through Analysis of Learning Rates; the Case of Manufacturing Industry in Mexico", **Ritsumeikan Journal of Asia Pacific Studies**, 31, 101-119.
- Asgari, B. ve Yen, L. W. (2009), "Accumulated Knowledge and Technological Progress in terms of Learning Rates: A Comparative Analysis on the Manufacturing Industry and the Service Industry in Malaysia", **Asian Journal of Technology Innovation**, 17(2), 71-99.
- Ashmos, D.P., Duchon, D. ve McDaniel, R.R. (1998), "Participation in Strategic Decision Making: The Role of Organizational Predisposition and Issue Interpretation", **Decision Science**, 29(1), 25-51.
- Attia, E., Megahed, A., Duquenne, P. (2016), "Towards a Learning Curve for Electric Motors Production Under Organizational Learning via Shop Floor Data", **IFAC**, 49(12), 1086-1091.
- Badiru, A. B. (1992), "Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models", **IEE Transaction on Engineering Management**, 39(2), 176-188.
- _____ (2011), "**Project Management: Systems, Principles and Applications**", 2. Baskı, CRC Press, Boca Raton.
- Bahk, B. -H. ve Gort, M. (1993), "Decomposing Learning by Doing in New Plants", **Journal of Political Economy**, 101(4), 561-583.
- Baker, E. (2001), "Learning From the Bristol Inquiry", **Cardiology in the Young**, 11(6), 585-587.
- Balasubramanian, N. ve Lieberman, M.B. (2010), "Industry Learning Environments and the Heterogeneity of Firm Performance", **Strategic Management Journal**, 31(4), 390-412.
- Balestra, P. ve Nerlove, M. (1966), "Pooling Cross Section and Time Series Data in the Estimation of A Dynamic Model: The Demand for Natural Gas", **Econometrica**, 34(3), 585-612.
- Baltagi, B. H. (2003) *Econometric Analysis of Panel Data*, Third Edition, John Wiley & Sons.
- Baloff, N. (1966), "The Learning Curve – Some Controversial Issues", **The Journal of Industrial Economics**, 14(3), 275-282.

- _____ (1970), "Start-up Management", **IEEE Transactions on Engineering Management**, 17(4), 132-141.
- _____ (1971), "Extension of the Learning Curve-Some Empirical Results", **Operational Research Society Review**, 35(2), 142-160.
- Baloff, N. ve McKersie, R. (1966), "Motivating Start-ups", **The Journal of Business**, 39(4), 473-484.
- Barron, L. A. (1958), "Learner Curves Boost Teams Output", **American Machinist**, 102(25), 100-101.
- Begg, C. B., Cramer, L. D., Hoskins, W.J. ve Brennan, M. F. (1998), "Impact of Hospital Volume on Operative Mortality for Cancer Surgery", **JAMA**, 280(20), 1747-1751.
- Benkard, C. L. (2000), "Learning and Forgetting: The Dynamics of Aircraft Production", **The American Economic Review**, 90(4), 1034-1054.
- Bernstein, P. (1988), "The Learning Curve at Volvo", **Columbia Journal of World Business**, 23(4), 87-95.
- Billon, S.A. (1966), "Industrial Learning Curves and Forecasting", **Management International Review**, 1(6), 65-79.
- Birkmeyer, J. D., Finlayson, S.R. Tosteson, A.N., Sharp, S.M., Warshaw, A.L. ve Fisher, E.S. (1998), "Effect of Hospital Volume on in-Hospital Mortality with Pancreaticoduodenectomy", **Surgery**, 125(3), 250-256.
- Brenneck, R. (1959), "Breakeven Charts Reflecting Learning", **N. A. A. Bulletin**, 40(10), 34.
- Breusch, T.S. ve Pagan, A.R. (1980), "The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification Tests in Econometrics", **Review of Economic Studies**, 47(1), 239-53.
- Broadstone, J. A. (1968), "Learning Curve Wage Incentives", **Management Accounting**, 49(12), 15-23.
- Bruns, J. H. (1970), "Forecasting the Cost of Redesign", **Machine Redesign**, 42(6), 113-115.
- Bohn, R. E., (1994), "Measuring and Managing Technological Knowledge", **Sloan Management Review**, 36(1), 61-73.
- Boren, W. H. (1964), "Some Applications of the Learning Curve to Government Contracts", **N. A. A. Bulletin**, 46(2), 21-22.
- Cannon, M. D. ve Edmondson, A. C. (2005), "Failing to Learn and Learning to Fail (Intelligently): How Great Organizations Put Failure to Work to Innovate and Improve", **Long Range Planning**, 38(3), 299-319.

- Chung, S. (2001), "The Learning Curve and the Yield Factor: the Case of Korea's Semiconductor Industry", **Applied Economics**, 33(4), 473-483.
- Clark, R.E. (1996), "Outcome as a Function of Annual Coronary Artery Bypass Graft Volume", **Annals of Thoracic**, 6(1), 21-26.
- Cochran, E. B. (1969), "Learning: New Dimension in Labor Standards", **Industrial Engineering**, 1(1), 38-47.
- Conley, P. (1970), "Experience Curves as a Planning Tool", **IEEE Spectrum**, 7(6), 63-68.
- Cole, R. (1958), "Increasing Utilization of the Cost Quantity Relationship in Manufacturing", **Journal of Industrial Engineering**, 9(3), 173-177.
- Coulomb, L. ve Neuhoﬀ, K. (2006), "Learning Curves and Changing Product Attributes: The Case of Wind Turbines", **Cambridge Working Papers in Economics**, Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Çalmaşur, G., Daştan H. ve Karaca, Z. (2020), "Bilgi Yoğun Hizmetler Alt Sektörlerinde Öğrenme Eğrileri", **Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 13(3), 477-491.
- Dar-El, E.M., Ayas, K. ve Gilad, I. ((1995), "A Dual-Phase Model for the Individual Learning Process", **IIE Transaction**, 27(3), 265-271.
- Dutton, J.M. ve Thomes, A. (1984), "Treating Progress Functions as a Managerial Opportunity", **The Academy of Management Review**, 9(2), 235-247.
- Epple, D., Argote, L. ve Devadas, R. (1991), "Organizational Learning Curves: A Method for Investigation Intra-Plant Transfer of Knowledge Acquired Through Learning by Doing", **Organizational Science**, 2(1), 58-70.
- Epple, D., Argote, L. ve Murphy, K. (1996), "An Empirical Investigation of the Microstructure of Knowledge Acquisition and Transfer Through Learning by Doing", **Operations Research**, 44(1), 77-86.
- Ferlie, E.B. ve Shortell, S.M. (2001), "Improving the Quality of Health Care in the United Kingdom and the United States: A Framework for Change", **Milbank Quarterly**, 79(2), 281-315.
- Field, J. M. ve Sinha, K. K. (2005), "Applying Process Knowledge for Yield Variation Reduction: A Longitudinal Field Study", **Decision Sciences**, 36(1), 159-186.
- Glasgow, R. E. ve Mulvihill, S. J. (1996), "Hospital Volume Influences Outcome in Patients Undergoing Pancreatic Resection for Cancer", **West Journal of Medicine**, 165(5), 294-300.
- Glock, C. H. ve Jaber, M. Y. (2013), "A Learning Curve for Tasks with Cognitive and Motor Elements", **Computers & Industrial Engineering**, 64(3), 866-871.

- _____ (2014), “A Group Learning Curve Model with and Without Worker Turnover”, **Journal of Modelling in Management**, 9(2), 179-199.
- Globerson, S. ve Gold, D. (1997), “Statistical Attributes of the Power Learning Curve Model”, **Int. J. Prod. Res.**, 35(3), 699-711.
- Grosse, Eric H., Glock, C.H. Müller, S. (2015), “Production Economics and the Learning Curve: A Meta-Analysis”, **Int. J. Production Economics**, 170, 401-402.
- Goddard, C. T. (1982), “Debunking the Learning Curve” **IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology**, 5(4), 328-335.
- Gopal, A., Goyal, M., Netessine, S. ve Reindorp, M. (2013), “The Impact of New Product Introduction in Plant Productivity in the North American Automotive Industry”, **Management Science**, 59(10), 2217-2236.
- Gujarati, D. G. (2003), Basic Econometrics, Fourth Edition, McGrawHill.
- Günday, G. G. (2012), **Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisini Benzetim Modeliyle Araştırılması**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hall, L. H. (1957), “Experience with Experience Curves for Aircraft Design Changes”, **N.A.A. Bulletin**, 39(4), 59-66.
- Haunschild, P.R. ve Rhee, M. (2004), “The Role of Volition in Organizational Learning: The Case of Automotive Product Recalls”, **Management Science**, 50(11), 1545-1560.
- Hayashi, D., Huenteler, J. ve Lewis, J. I. (2018), “Gone with the Wind: A Learning Curve Analysis of China’s Wind Power Industry”, **Energy Policy**, 120, 38-51.
- Hayes, R. H. ve Clark, K. B. (1985), “In the Uneasy Alliance: Managing the Productivity-Technology Dilemma”, **Exploring the Sources of Productivity Differences at the Factory Level**, (151-188), Harvard Business School Press, Boston.
- Heng, T. M. (2010), “Learning Curves & Productivity in Singapore Manufacturing Industries”, **Second Annual Conference of the Academic Network for Development in Asia (ANDA)**, Phnom Penh, Cambodia.
- Heng, T. M. ve Low, L. (1995), “Estimating and Comparing Learning Curves in Three Asian Economies”, **Asia Pacific Journal of Management**, 12, 21-35.
- Hildreth, C. (1950), “Combining Cross-Section Data and Time Series”, **Cowles Commission Discussion Paper: Statistics**, No:347.
- Hillner, B. E. ve Smith, T. J. (1998), “Hospital Volume and Patient Outcomes in Major Cancer Surgery: A Catalyst for Quality Assessment and Concentration of Cancer Service”, **JAMA**, 280(20), 1783-1784.

- Hirsch, W.Z (1952), "Manufacturing Progress Functions", **The Review of Economics and Statistics**, 34(2), 143-155.
- _____ (1956), "Firm Progress Ratios", **Econometrica**, 24(2), 136-143.
- Hirschmann, W.B. (1964), "Profit From the Learning Curve", **Harvard Business Review**, 42(1), 125-139.
- Hirschmann, W. B. (1964), "Learning Curve", **Chemical Engineering**, 71(7), 95-100.
- Hsiao, C. (2003), *Analysis of Panel Data*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Ibenholt, K. (2002), "Explaining Learning Curves for Wind Power", **Energy Policy**, 30(1), 1181-1189.
- Jaber, M. Y. ve Glock, C. H. (2014), "A Group Learning Curve Model with and Without Worker Turnover", **Journal of Modelling in Management**, 9(2), 179-199.
- Jaber, M. Y. ve Guiffrida, A. L. (2004), "Learning Curves for Processes Generating Defects Requiring Reworks", **European Journal of Operational Research**, 159(3), 663-672.
- Jaber, M. Y. (Ed.) (2011), **"Learning Curves: Theory, Models and Applications"**, CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, FL.
- Jaber, M. Y. ve Bonney, M. (1997), "A Comparative Study of Learning Curves with Forgetting", **Applied Mathematical Modelling**, 21(8), 523-531.
- Jaber, M. Y. (2006), "Learning and Forgetting Models and Their Applications", **Industrial and Systems Engineering**, 1. Baskı içinde (1-28), CRC Press.
- Jackson, D. (1998), **Technological Change, the Learning Curve and Profitability**, Edward Elgar Publishing.
- Jarkas, A. ve Horner, M. (2011), "Revisiting the Applicability of Learning Curve Theory to Formwork Labour Productivity", **Construction Management and Economics**, 29, 483-493.
- Jaikumar, R. ve Bohn, R. E. (1992), "A Dynamic Approach to Operations Management: An Alternative to Static Optimization", **International Journal of Production Economics**, 27(3), 265-282.
- Jain, A. (2010), "Learning by Doing and Learning Curve in Innovation. An Examination of Biotechnology Patenting", IEEE, **International Conference on Management of Innovation & Technology**, Singapore, 952-957.
- Jollis, J.G., Peterson, E.D., DeLong, E.R., Mark, D.B. Collins, S.R., Muhlbaier, L.H., Pryor, D.B. (1994), "The Relation Between the Volume of Coronary Angioplasty Procedures at Hospitals Treating Medicaare Beneficiaries and Short-term Mortality", **New England Journal of Medicine**, 331(24), 1625-1629.

- Jordan, R. B. (1958), "Learning How to Use the Learning Curve", **N. A. A. Bulletin**, 39(5), 27-39.
- Kao, C. (1999), "Spurious Regression and Residual-Based Tests for Cointegration in Panel Data", **Journal of Econometrics**, 90(1), 1-44.
- Kao, C. ve Chiang, M. (2000), "On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data", içerisinde Baltagi, B. (edit.) **Nonstationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels, Advances in Econometrics**, 15, 179-222.
- Karaöz, M. (2003), "İmalat Sanayiinde Teknolojik Öğrenme", **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 6(3), 97-112.
- Kastrati, A., Neumann F.J., Schömig, A. (1998), "Operator Volume and Outcome of Patients Undergoing Coronary Stent Placement", **Journal of the American College of Cardiology**, 32(4), 970-976.
- Kim, I. ve Seo, H.L. (2009), "Depreciation and Transfer of Knowledge: An Empirical Exploration of a Shipbuilding Process", **International Journal of Production Research**, 47(7), 1857-1876.
- Kim, J.H. ve Lee Y.L. (2017), "Analyzing the Learning Path of US Shale Players by Using the Learning Curve Method", **Sustainability**, 9(12), 2-8.
- Klein, L.W., Schaer, G.L., Calvin, J.E. Palvas, B., Allen, J. Loew J. Uretz, E. Parrillo, J.E. (1997), "Does Low Individual Operator Coronary Interventional Procedural Volume Correlate with Worse Institutional Procedural Outcome?", **Journal of the American College of Cardiology**, 30(4), 870-877.
- Klenow, P. J. (1998), "Learning Curves and the Cyclical Behaviour of Manufacturing Industries", **Review of Economic Dynamics**, 1(2), 531-550.
- Knecht, G. (1974), "Costing, Technological Growth and Generalized Learning Curves", **Operations Research Quarterly**, 25(3), 487-491.
- Konvolinka, C.W., Copes, W.S. ve Sacco, W.J. (1995), "Institution and Per-Surgeon Volume Costing, Versus Survival Outcome in Pennsylvania's Trauma Centers", **American Journal of Surgery**, 170(4), 333-340.
- Kuh, E. (1959), "The Validity of Cross-Sectionally Estimated Behaviour Equations in Time Series Applications", **Econometrica**, 27, 197-214.
- Lapre, M. A. ve Wassenhove, L.N.V. (2001), "Creating and Transferring Knowledge for Productivity Improvement in Factories", **Management Science**, 42(10), 1311-1325.
- Lapre, M. A. ve Nembhard, I. M. (2010), "Inside the Organizational Learning Curve: Understanding the Organizational Learning Process", **Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management**, 4(1), 1-103.

- Lazonick, W. ve Brush, T. (1985), "The 'Horndal Effect' in Early U.S. Manufacturing", **Explorations in Economic History**, 22(1), 53-96.
- Lee, J., Veloso, F.M., Hounshell, D.A. ve Rubin, E.S. (2010), "Forcing Technological Change: A Case of Automobile Emissions Control Technology Development in the US", **Technovation**, 30(4), 249-264.
- Levin, D. Z. (2000), "Organizational Learning and the Transfer of Knowledge: An Investigation of Quality Improvement", **Organization Science**, 11(6), 630-647.
- Levitt, B. ve March, J.G. (1988), "Organizational Learning", **Annual Review of Sociology**, 14(1), 319-340.
- Levitt, S.D., List, J.A. ve Syverson, C. (2013), "Toward on Understanding of Learning by Doing: Evidence From an Automobile Assembly Plant", **Journal of Political Economy**, 121(4), 643-681.
- Levy, F.K. (1965), "Adaptation in the Production Process", **Management Science**, 11(6), 136-154.
- Li, G. ve Rajagopalan, S. (1998), "The Impact of Quality on Learning", **Journal of Operations Management**, 15(3), 181-191.
- Lieberman, M. B. (1984), "The Learning Curve and Pricing in the Chemical Processing Industries", **Rand Journal of Economics**, 15(2), 213-228.
- _____ (1989), "The Learning Curve, Technology Barriers to Entry, and Competitive Survival in the Chemical Processing Industries", **Strategic Management Journal**, 10(5), 431-447.
- Lindman, A. ve Söderholm, P. (2012), "Wind Power Learning Rates: A Conceptual Review and Meta-Analysis", **Energy Economics**, 34(3), 754-761.
- Lloyd, R. A. (1979), "Experience Curve Analysis", **Applied Economics**, 11(2), 221-234.
- Lundberg, R. H. (1956), "Learning Curve Theory as Applied to Production Costs", **S.A.E. Journal**, 64(6), 48-49.
- Lundberg, E. (1961), "**Productivity and Profitability: Studies in the Importance of Capital in Swedish Change Life**", Stockholm: Norstedt & Söner.
- Macher, J.T. ve Mowery, D.C. (2003), "Managing" Learning by Doing: An Empirical Study in Semiconductor Manufacturing", **The Journal of Product Innovation Management**, 20(5), 391-410.
- Maki, D. (2012), "Tests for Cointegration Allowing for an Unknown Number of Breaks", **Economic Modelling**, 29(5), 2011-2015.

- Malyusz, L. ve Pem, A. (2014), "Predicting Future Performance by Learning Curves", **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 119, 368-376.
- Markovitch, S. ve Scott, P. D. (1988), "The Role of Forgetting in Learning", **Center or Machine Intelligence**, 456-465.
- Mazur, J. E. ve Hastie, R. (1974), "Learning as Accumulation: A Reexamination of the Learning Curve", **Psychological Bulletin**, 85(6), 1256-1274.
- McCoskey, S. ve Kao, C. (1998), "A Residual-Based of the Null Hypothesis of Cointegration in Panel Data", **Econometrics Reviews**, 17, 57-84.
- Montgomery, D. B. ve Day, G. S. (1985), "Experience Curves: Evidence, Empirical Issues and Applications", **Strategic Marketing and Management**, 85-101.
- Moore, J. R. (2015), **A Comparative Study of Learning Curve Models in Defense Airframe Cost Estimating**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Air Universty – Air Force Institute of Technology.
- Moses, O. D. (1992), "Learning Curve and Rate Adjustment Models: An Investigation of Bias", **Cost Estimating and Analysis**, 3-38.
- Nembhard, D. A. ve Uzumeri, O. (1998), "A Population of Learners: A New Way to Measure Organizational Learning", **Journal of Operations Management**, 16(5), 515-528.
- Nembhard, D. A. ve Uzumeri, O. (2002), "Task Complexity Effects on Between-Individual Learning/Forgetting Variability", **International Journal of Industrial Ergonomics**, 29, 297-306.
- Nembhard, D. A. ve Uzumeri, M. V. (2000), "Experiential Learning and Forgetting for Manuel and Cognitive Tasks", **International Journal of Industrial Ergonomics**, 25, 315-326.
- Nembhard, D. A. ve Uzumeri, M. V. (2000a), "An Individual-Based Description of Learning within an Organization", **IEEE Transactions on Engineering Management**, 47(3), 370-378.
- Nykvist, B. ve Nilsson, M. (2015), "Rapidly Falling Costs of Battery Packs for Electric Vehicles", **Nature, Climate Change**, (5), 329-332.
- Ören, K. ve Erol, M. (2009), "Learning Curves, Usega of Learning Curves in Reducing Workforce Costs as a Tool and an Emprical Study", **Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 19(1), 133-141.
- Pan, H. ve Jonathan, K. (2007), "Technological Change in Energy Systems: Learning Curves and Input-Output Coefficients", **Ecological Economics**, 63(4), 749-758.
- Pedroni, P. (1999), Critical Values for Cointegrating Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors, **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, 61 (1): 653-570.

- _____ (2000), “Fully Modified OLS for Heterogenous Cointegrated Panels” içerisinde Baltagi, B. (edit.) **Non stationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels, Advances in Econometrics**, 15, 93-130.
- _____ (2004), Panel Cointegration, Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the Purchasing Power Parity Hypothesis, **Econometric Theory**, 20 (3): 597-625.
- Pentland, B.T. (1992), “Organizing Moves in Software Support Hot Lines”, **Administrative Science Quarterly**, 37(4), 527-548.
- Pentland, B.T. ve Rueter, H.H., (1994), “Organizational Routines as Grammars of Action”, **Administrative Science Quarterly**, 39(3), 484-510.
- Pesaran, M. H. (2004), “General Diagnostic Test for Cross Section Dependence in Panels”, **University of Cambridge, Working Paper**, 0435.
- _____ (2006), “Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panel with a Multifactor Error Structure”, **Econometrica**, 74(4), 967-1012.
- _____ (2007), “A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence”, **Journal of Applied Econometrics**, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H. ve Takashi Y. (2008), “Testing Slope Homogeneity in Large Panel”, **Journal of Econometrics**, 142(1), 50-93.
- Pesaran, M. H. ve Tosetti, E. (2011), “Large Panels with Common Factors and Spatial Correlation”, **Journal of Econometrics**, 161, 182-202.
- Pfeffer, J. (1994), “Competitive Advantage Through People”, **MA: Harward Business School Press**, Cambridge.
- Phibbs, C.S., Bronstein, J.M., Buxton, E. ve Phibbs, R.H. (1996), “The Effects of Patinet Volume and Level of Care at the Hospital of Birth on Neonatal Mortality”, **JAMA**, 276(13), 1054-1059.
- Pramongkit, P., Shawyun, T. ve Sirinaovakul, B. (2000), “Analysis of Technological Learning for the Thai Manufacturing Industry”, **Technovation**, 20(4), 189-195.
- _____ (2002), “Productivity Growth and Learning Potentials of Thai Industry”, **Technological Forecasting and Social Change**, 69(1), 89-101.
- Ranasinghe, T. ve Chanaka, D.S. (2016), “Empirical Analysis and Modeling of Learning Curve in the Apparel Manufacturing Industry”, **Proceedings of 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, Kuala Lumpur, Malaysia, 691-703.
- Raman, A. ve Varghese, A. (2014), “Study on Labour Productivity by Learning Curve Effect”, **International Journal of Scientific Engineering and Research**, 4(3), 11-13.

- Rapping, L. (1965), "Learning and World War II Production Functions", **The Review of Economics and Statistics**, 47(1), 81-86.
- Rehman, J. ve Wizarat, S. (2010), "Cost and Productivity Experiences of Pakistan with Aggregate Learning Curve", **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, 4(3), 280-287.
- Rice, J. W. (1970), "Throw Prices A Curve", **Purchasing**, 69(1), 47-49.
- Rubin, E.S., Taylor, M., Yeh, S. ve Hounshell, D. (2004), "Learning Curves for Environmental Technology and Their Importance for Climate Policy Analysis", **Energy**, 29(9), 1551-1559.
- Schilling, M. A., Vidal, P., Ployhart, R. ve Marangoni, A. (2003), "Learning by Doing Something Else: Variation, Realtdness, and the Learning Curve", **Management Science**, 49(1), 39-56.
- Senge, P.M. (1990), "The Fifth Discipline – The Art and Practice of the Learning Organization", **New York: Currency Doubleday**.
- Shinoda, Y., Tanaka, H., Akisawa, A., ve Kashiwagi, T. (2009), "Evaluation of the Plug-in Hybrid Electric Vehicle Considering Learning Curve on Battery and Power Generation Best Mix", **IEEEJ Transactions on Power and Energy**, 129(1), 84-91.
- Schoots, K., Kramer, G.J. ve Zwaan, B.C.C. (2010), "Technology Learning for Fuel Cells: An Assesment of Past and Potential Cost Reduction", **Energy Policy**, 38(6), 2887-2897.
- Skinner, W., (1974), "The Focused Factory", **Harvard Business Review**, 52(3), 113-121.
- Smunt, T. L. (1999), "Lo-linear and Non-log-linear Learning Curve Models for Production Research and Cost Estimation", **International Journal of Production Research**, 37(17), 3901-3911.
- Sollano, J.A., Josephine A. Sollano, Annetine C. Gelijns, Alan J. Moskowitz, Daniel F. Heitjan, Suzanne Cullinane, Ted Saha, Jonathan M. Chen, Patrick J. Roohan, Keith Reemtsma, Eileen P. Shields, (1999), "Volume-Outcome Relationships in Cardiovascular Operations: New York State, 1990-1995", **Journal of Thoracic & Cardiovascular Surgery**, 117(3), 419-430.
- Sowden, A.J., Deeks, J. J. ve Sheldon, T. A. (1995), "Volume and Outcome in Coronary Artery Bypass Graft Surgery: True Association or Artifact?", **British Medical Journal**, 311(6998), 151-155.
- Söderholm, P. ve Sundqvist T. (2007), "Empirical Challenges in the use of Learning Curves for Assessing the Economic Prospects of Renewable Energy Technologies", **Renewable Energy**, 32, 2559-2578.
- Srour, F. J., Kiomjian, D. ve Srour, I. (2016), "Learning Curves: A Critical Review and New Model", **Journal of Construction Engineering and Management**, 142(4), 1-5.
- Stevenson, W. J. (1996), **Production / Operation Management**, Irvin Publishing, 5th Edition.

- Strauss, J. ve Yiğit, T. M. (2003), “Short falls of Panel Unit Root Testing”, **Economics Letters**, 81, 309-313.
- Swamy, P. (1970), “Efficient Inference in a Random Coefficient Regression Model”, **Econometrica**, 38(2), 311-323.
- _____ (1971) **Statistical Inference in Random Coefficient Regression Models**, Springer-Verlag, Berlin.
- Teplitz, C.J. (1991), “The Learning Curve Deskbook: A Reference Guide to Theory, Calculations and Applications”, **Quorum Books, New York**.
- Thiemann, D.R., Coresh, J., Oetgen, W. J., Powe N.R. (1999), “The Association Between Hospital Volume and Survival After Acute Myocardial Infarction in Elderly Patients”, **New England Journal of Medicine**, 340(21), 1640-1648.
- Thompson, P. (2001), “How Much did the Liberty Shipbuilders Learn? New Evidence for an Old Case Study”, **Journal of Political Economy**, 109(1), 103-137.
- _____ (2007), “How Much did the Liberty Shipbuilders Forget?”, **Management Science**, 53(6), 908-918.
- _____ (2012), “The Relationship Between Unit Cost and Cumulative Quantity and the Evidence for Organizational Learning-by-Doing”, **Journal of Economic Perspectives**, 26(3), 203-224.
- Thornton, R.A. ve Thompson, P. (2001), “Learning From Experience and Learning From Others: An Exploration of Learning and Spillovers in Wartime Shipbuilding”, **American Economic Review**, 91(5), 1350-1368.
- Towill, D. R. (1990), “Forecasting Learning Curves”, **International Journal of Forecasting**, 6(1), 25-38.
- Turban, E. (1968), “Incentives During Learning – An Application of the Learning Curve Theory and a Survey of Other Methods”, **Journal of Industrial Engineering**, 19(12), 600-607.
- Ukpai, N. A. ve Akenbor, C. O. (2007), “Application of the Learning Curve Theory in the Construction Industry in Nigeria”, **Benin Journal of Social Sciences**, 251-259.
- Waldman, J. D. ve Yourstone, S. A. (2007), “Learning –The Only Way to Improve Health- Care Outcomes”, **Health Services Management Research**, 20, 227-237.
- Weick, K. E. (1993), “The Collapse of Sensemaking in Organizations: The Mann Gulch Disaster”, **Administrative Science Quarterly**, 38(4), 628-652.
- Westerlund, J. (2007), “Testing for Error Correction in Panel Data”, **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, 69(6), 709-748.

- _____ (2008), “Panel Cointegration Tests of the Fisher Effect”, **Journal of Applied Econometrics**, 23(2), 193-233.
- Westerlund, J. ve Edgerton, D. (2007), A Panel Bootstrap Cointegration Test, **Economics Letters**, 97, 185-190.
- Wright, T. P. (1936), “Factors Affecting the Cost of Airplanes”, **Journal of Aeronautical Sciences**, 3(2), 122-128.
- Womer, N. K. ve Patterson, J. W. (1983), “Estimating and Testing of Learning Curves”, **Journal of Business & Economic Statistics**, 1(4), 265-272.
- Wong, P. S. (2007), “Embodying Learning Effect in Performance Prediction”, **Journal of Construction Engineering Management**, 6(474), 474-482).
- Wyer, R. (1953), “Learning Curve Helps Figure Profits, Control Costs”, **National Association of Costs Accountants Bulletin**, 35(4), 490-502.
- Vigil, D. P. ve Sarper, H. (1994), “Estimating the Effects of Parameter Variability on Learning Curve Model Predictions”, **International Journal of Production Economics**, 34(2), 187-200.
- Vits, J. ve Gelders, L. (2002), “Performance Improvement Theory”, **Int. J. Production Economics**, 77(3), 285-298.
- Yelle, L. E. (1979), “The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey”, **Decision Sciences**, 10(2), 302-328.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2017), **Panel Zaman Serileri Analizi -Stata Uygulamalı-** İstanbul: Beta Yayınevi.
- Zellner, A. (1962), “An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias”, **Journal of American Statistical Association**, 57, 348-368.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Vakfıkebir Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik bölümünü kazandı. 2008 yılında öğrenimini tamamlayarak mezun olan SUNGUR, aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı'nda doktora programına başladı.

SUNGUR, evli olup, İngilizce bilmektedir.