



SANAYİ SEKTÖRÜ BAĞLAMINDA ÖĞRENME ORANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: AB-27 ÜLKELERİ-BİRLEŞİK KRALLIK ve TÜRKİYE ÖRNEKLEMİNDE AMPİRİK BİR ÇALIŞMA (2004-2020)¹

Zeynep SUNGUR²

Öz

Bu çalışmada amaç, 2004-2020 dönemi için AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde sanayi sektörünün öğrenme etkisini incelemektir. Araştırma sürecinin ilk aşamasında panel veri analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yatay kesit bağımlılığı testi, panel birim kök testi, homojenlik testi ve eş bütünleşme ön testleri yapılmış, uzun dönem katsayı tahmini için Ortak İlişkili Etkiler testi kullanılmış ve örneklem grubu içerisindeki her ülke bazında öğrenme esnekliği katsayısı tahmin edilmiştir. Araştırma sürecinin ikinci aşamasında hesaplanan öğrenme esnekliği katsayısı, öğrenme oranı formülünde yerine koyularak, sanayi sektörü için her ülke örnekleminde öğrenme oranları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda sanayi sektörü için öğrenme oranının en düşük olduğu ülkelerin Almanya, Bulgaristan ve Avusturya; en yüksek olduğu ülkelerin ise İspanya, Yunanistan ve Birleşik Krallık ülkeleri olduğu tespit edilmiştir. Sanayi sektöründe Türkiye'nin öğrenme oranları AB ülkelerinin ortalama öğrenme oranlarından daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğrenme, Öğrenme Eğrisi, Öğrenme Esnekliği Katsayısı, Öğrenme Oranı
JEL Sınıflandırması: D24, D83, L60

COMPARISON OF LEARNING RATES IN THE CONTEXT OF INDUSTRIAL SECTOR: AN EMPIRICAL STUDY ON THE SAMPLE OF EU-27 COUNTRIES-UNITED KINGDOM AND TÜRKİYE (2004-2020)

Abstract

The aim of this study is to examine the learning effect of industry sector in EU-27 countries, United Kingdom, and Turkey for the period 2004-2020. In the first stage of the research process, panel data analysis was carried out. In this context, cross-section dependency test, panel unit root test, homogeneity test and cointegration tests were carried out, the Common Associated Effects (CCE) test was used for long-term coefficient estimation, and so the learning flexibility coefficient was estimated on the basis of each country in the sample group. In the second stage of the research process, the learning flexibility coefficient was put in the learning rate formula, and learning rates were calculated for industry sector of each country. As a result of the study, it has been determined that 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. Turkey's learning rates in industry sector are calculated to be higher than the average learning rates in each sector of EU countries.

Keywords: Learning, Learning Curve, Learning Flexibility Coefficient, Learning Rate
JEL Classification: D24, D83, L60

¹ Bu çalışma, yazarın Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı'nda savunmuş olduğu doktora tezinden türetilmiştir.

² Dr., zeynep_bnk@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-5108-0416

Araştırma Makalesi

Makalenin Geliş Tarihi (Received Date): 17.07.2023
Yayına Kabul Tarihi (Acceptance Date): 28.09.2023

Sungur, Z. (2023). Sanayi Sektörü Bağlamında Öğrenme Oranlarının Karşılaştırılması: AB-27 Ülkeleri-Birleşik Krallık ve Türkiye Örnekleminde Ampirik Bir Çalışma (2004-2020). *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 41, 146-165. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.1328374>

1. Giriş

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 aşına 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 T.P. Wright’a (1936) 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 ulaşmıştır. Erik Lundberg (1961), verimlilik ve kârlılık üzerine yaptığı çalışmasında “Horndal Etkisi” adı verilen bir ifade kullanılmış ve bunu saf verimlilik olarak tanımlamıştır. Bunu takiben Kenneth 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), I I. 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. Pek çok uzman, bir organizasyonun gelecekte sahip olacağı tek sürdürülebilir avantajın rakiplerinden daha hızlı öğrenme 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. Bireysel, grup veya organizasyonel bağlamda öğrenmenin önemi yapılan birçok çalışmada ele alınmıştır. Öğrenme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların çoğunlukla endüstriyel bazda yapıldığı görülmüştür. Örneğin uçak imalatında (Wright, 1936: 124; Baloff, 1971: 329; Yelle, 1979: 303; Argote, 1990: 920), kimya alanında (Lieberman, 1984), imalat alanında (Heng ve Low, 1995; Promongkit vd., 2000; Asgari ve Yen, 2009), inşaat alanında (Ukpai ve Akerbor, 2007), yarı iletken alanında (Chung, 2001; Macher ve Mowery, 2003), savunma alanında (Moore, 2015) ve elektronik alanda (Attia vd., 2016) yapılan çalışmalar bunlardan bazılarıdır.

Öğrenme eğrileri üzerine literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların sınırlı sayıda ülke örneğinde endüstri dalları özelinde öğrenmenin etkilerini incelediği görülmektedir. Türkiye örneğinde öğrenme eğrileri üzerine yapılan ampirik çalışmalar incelendiğinde ise sınırlı sayıda çalışma dikkati çekmektedir. Bu çalışmalardan Albeni (2004), 1989-2000 döneminde Türkiye’de imalat sanayiinde iller ve bölgeler bazında teknolojik öğrenme düzeyini karşılaştırarak bölgesel gelişmişlik farklılıkları açıklamaya çalışmıştır. Karaöz (2004), Türkiye örneğinde imalat sanayii alt sektör düzeyinde 1981-2000 dönemi için sektörel teknolojik değişim sürecini analiz etmiştir. Bu çalışma AB-27 ülkeleri, Birleşik Krallık ve Türkiye örneğinde 2004-2020 dönemi için sanayi sektörü bağlamında öğrenme oranlarının karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Bu yönüyle bu çalışma Türkiye örneğinde bir sektörün farklı ülke sektörleri ile karşılaştırılmasında ilk ampirik çalışma olarak dikkat çekmekte ve çalışmanın özgünlüğünü ve motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Ayrıca Türkçe literatürde bu araştırma konusu üzerine araştırma yapan çalışmaların yöntemleri incelendiğinde öğrenme esneklik katsayısının hesaplanmasında En Küçük Kareler yönteminin tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmanın analiz sürecinde Türkçe ve yabancı literatüre yöntem açısından da özgünlük katılmış ve öğrenme esnekliği panel veri analiz süreci ile örneklem içerisinde yer alan her ülke için tahmin edilmiştir. Çalışmanın en önemli kısmı araştırmanın zaman boyutundan kaynaklanmaktadır. Tercih edilmiş örneklem grubundaki ülkeler için model kapsamındaki serilere ulaşabilmek araştırmanın kısmını belirleyici bir argümandır. Zaman boyutunun 17 yıllık bir süreyi içermesi zaman serisi analizinde ortaya çıkabilecek muhtemel bilimsel geçerlilik ve güvenilirlik kaygıları nedeniyle araştırma sürecinde panel veri analizinin tercih edilmesinde belirleyici olmuştur. Çalışmanın planlanan kurgusunda giriş bölümünü takiben teori ve literatür bölümleri yer alacaktır. Veri seti ve yöntem tanıtımının yapılacağı bölümden sonra ise çalışma bulgular, sonuç ve değerlendirme bölümü ile son bulacaktır.

2. Teori

Öğrenme eğrileri, bireylerin zaman içerisinde öğrenerek elde ettikleri deneyimle yaptıkları işi daha kısa sürede ve daha az maliyetle gerçekleştirmeleri ile ilişkili bir konudur. Bireysel olarak öğrenme kavramı ilk olarak psikoloji literatüründe Ebbinghaus (1885) tarafından ortaya atılmış olmakla birlikte organizasyonel düzeyde öğrenme fikrinin ortaya çıkması daha uzun sürmüştür (Thompson, 2012: 1885). 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 (Billion, 1966: 65). Öğrenme eğrisi teorisi, bir ürünün miktarı iki katına çıktıkça, birim başına doğrudan işçilik saatinin sabit bir yüzde oranında azaldığı hipotezine dayanır.

Öğrenme eğrileri 1930’lu yıllarda ortaya çıkmasına rağmen ilk yıllarda küçük ölçekli şirketlerde kullanılmış olup zamanla yönetim tekniklerinin geliştirilmesi ve 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 sonuçlara öğrenme eğrileri temelinde maliyetlerle kümülatif üretim miktarı arasındaki ilişkileri gözlemleyerek üç açıklama getirmiştir. Birinci açıklamaya 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.

T.P.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 α (öğrenme esnekliğinin) parametresinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Literatürde öğrenme fonksiyonunu farklı örneklem üzerinde kullanan çalışmalar (Morishima,

1982; Johnson, 1982; Cohen, 1987; Kang, 1987; Vogel, 1987; Lincoln, 1988; Heng ve Low, 1995; Pramongkit, Shawyun ve Sirinaovakul, 2000) mevcuttur. Bu çalışmalardan da faydalanılarak öğrenme eğrisi fonksiyonu (1) ve öğrenme eğrisi fonksiyonunun logaritmik formu (2) aşağıdaki gibi gösterilebilir. Bu denklemlerin geliştirilmesi ile öğrenme esnekliğinin tahmin edileceği ve bu çalışmanın da tahmin modelini oluşturan denklem formuna ulaşılacaktır.

$$c_t = c_{11} X_t^{-\alpha} \quad (1)$$

$$\ln c_t = \ln c_{11} - \alpha \ln X_t \quad (2)$$

(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. ($\alpha > 0$)

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) numaralı eşitlikte gösterilen Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda Q_t , üretim miktarını; A_t , veri teknoloji düzeyindeki çoklu faktör verimliliğini; K_t , kullanılan sermaye miktarını; L_t , 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 (4) numaralı denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ln Q_t = \ln A_t + \gamma \ln K_t + \beta \ln L_t \quad (4)$$

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

$$A_t = H X_t^a \quad (5)$$

Bu eşitlikteki X_t değeri, t dönemine kadarki kümülatif üretim miktarını; H ise kümülatif üretim miktarı ve t dönemindeki teknoloji düzeyi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. (5) numaralı eşitlik logaritmik düzeyde gösterilirse, yeni gösterim (6) numaralı denklemdeki gibi olacaktır:

$$\ln A_t = \ln H + a \ln X_t \quad (6)$$

(6) numaralı eşitlik, (4) numaralı logaritmik düzeydeki Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda yerine koyulursa, yeni eşitlik (7) numaralı denklemdeki şekle dönüşecektir:

$$\ln Q_t = \ln H + a \ln X_t + \gamma \ln K_t + \beta \ln L_t \quad (7)$$

(7) numaralı denklem, bir birim üretim için kullanılan emek miktarı cinsinden (L/Q) logaritmik düzeyde yeniden yazılacak olursa, yeni eşitlik (8) numaralı denklemde elde edilecektir.

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - a \ln X_t - \gamma \ln K_t + (1 - \beta) \ln L_t \quad (8)$$

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). μ katsayısı üretim arttıkça kullanılan sermaye ve emek üretim faktörleri arasındaki oransal ilişkiyi göstermektedir. Teknoloji düzeyinin sabit olduğu varsayımında üretim miktarındaki artış, kullanılan sermaye ve emek üretim faktörleri tarafından

belirlenmektedir. Sermaye ve emek üretim faktörleri arasındaki üstel fonksiyon (8) numaralı denkleme ilave edilirse (9) numaralı denklem ortaya çıkacaktır.

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - \alpha \ln X_t + (1 - \beta - \gamma\lambda) \ln L_t \quad (9)$$

(9) numaralı nihai denklemde $\ln L_t$ değerinin katsayısı $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ sıfıra eşit olduğu durumda (9) numaralı denklem (1) numaralı denklemde gösterilen öğrenme eğrisi fonksiyonu ve (2) numaralı denklemde gösterilen logaritmik düzeydeki denklemle aynı olacaktır.

$\ln L_t$ değerinin katsayısı $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ sıfıra eşit olduğu durumdaki (9) numaralı denklem, yeni öğrenme eğrisi formu ile (10) numaralı denklemdeki gibi ifade edilmektedir:

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - \alpha \ln X_t \quad (10)$$

Logaritmik düzeyde gösterilen öğrenme eğrisi fonksiyonu (2) numaralı denklemde şöyle gösterilmiştir:

$$\ln c_t = \ln c_{11} - \alpha \ln X_t \quad (2)$$

Bu denklem setlerinde gösterimsel olarak sadece iki farklılık söz konusudur. (10) numaralı denklemdeki bağımlı değişken olan $\ln(L/Q)_t$, t önemindeki bir birim için kullanılan emek miktarının logaritmik düzeydeki gösterimidir. (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 (2) numaralı denklemdeki öğrenme eğrisi fonksiyonunda yer alan bağımlı değişken $\ln(L/Q)_t$ ile Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun türevi niteliğini taşıyan logaritmik düzeydeki (10) numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln c_t$, aynı tanım ve değerleri temsil etmektedir.

(2) ve (10) numaralı denklem setindeki ikinci gösterimsel farklılık, sabit katsayı değerlerinin gösteriminden kaynaklanmaktadır. (2) numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln c_t$ ve (10) numaralı denklemdeki bağımlı değişken $\ln(L/Q)_t$ birbirlerine eşitse ve her iki denklemde de $\alpha \ln X_t$ değeri ortak olduğuna göre (2) numaralı denklemdeki $\ln c_{11}$ sabit katsayı değeri ile (10) numaralı denklemdeki $(-\ln H - \gamma \ln \mu)$ sabit katsayı değeri de birbirine eşit olacaktır.

(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 (11) ve logaritmik düzeydeki üretim fonksiyonu (12) aşağıdaki gibi olacaktır:

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

$$\ln(L/Q)_t = -\ln H - \gamma \ln \mu - \alpha \ln X_t + (1 - \beta - \gamma\lambda) \ln L_t + u_t \quad (12)$$

(11) numaralı denklemdeki nihai öğrenme eğrisi fonksiyonu ve (12) numaralı denklemdeki nihai üretim fonksiyonu birbirine denk fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar basitleştirilip tek bir fonksiyon haline dönüştürülmek istenirse (13) numaralı denklem ortaya çıkacaktır:

$$\ln c_t = \phi_0 + \phi_1 \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t \quad (13)$$

(13) numaralı nihai fonksiyon denkleminde c_t , $(L/Q)_t$ ' yi; ϕ_0 sabit katsayısı $\ln c_{11}$ (11 modeli için) ve $-\ln H - \gamma \ln \mu$ ' yi (12 modeli için); ϕ_1 parametresi $-\alpha$ katsayısını; ϕ_2 parametresi $(1 - \beta - \gamma\lambda)$ katsayısını ve u_t de hata terimini temsil etmektedir.

Bu aşamaların sonucunda çalışmanın panel veri analizi yöntemi ile tahmin edilecek modeline (14) ulaşılmaktadır.

$$\ln c_t = \phi_0 - \alpha \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t \quad (14)$$

Öğrenme oranlarının hesaplanabilmesi için bu modeldeki α katsayısı, yani öğrenme esnekliği, ϕ_1 parametresinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu modelde ayrıca 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 olarak da bilinen α yardımıyla hesaplanan 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 (15) numaralı denklemin geliştirilmesi ile elde edilir (Badiru, 1992: 176):

$$y_{x_1} = y_1 (x_1)^{-\alpha} \quad (15)$$

$$y_{x_2} = y_1 (2x_1)^{-\alpha}$$

$$d = y_1 (2x_1)^{-\alpha} \setminus y_1 (x_1)^{-\alpha} = 2^{-\alpha}$$

α 'nın değeri genellikle negatif değildir. α 'nın değeri ne kadar büyükse, öğrenme etkisi de 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 $d = 2^{-\alpha}$ 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.

3. Literatür Özeti

Bilimsel olarak “öğrenme” kavramını inceleyen ilk kişi Alman psikolog Hermann Ebbinghaus (1885)'dur. Ebbinghaus, bireysel deneklerin davranışlarına odaklanarak, deneklerin bir görevi yerine getirmek için harcadıkları zaman ve deneyim kazandıkça yapılan hataların azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Öğrenme eğrileriyle ilgili organizasyonel düzeyde yayınlanmış ilk çalışma ise T.P.Wright'a (1936) 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 ulaşmıştır. Uçak gövdesi üretim endüstrisinde montaj işçilerinin karmaşık bir görevin tekrarından öğrenmesi, birim başına işçilik maliyetlerinin azalmasının nedeni olarak kabul edilmiş ve bu nedenle “öğrenme eğrileri” terimi benimsenmiştir.

Eric Lundberg (1961), verimlilik ve kârlılık üzerine yaptığı çalışmasında “Horndal Etkisi” adı verilen bir ifade kullanmış ve bunu saf verimlilik olarak tanımlamıştır. Bunu takiben Kenneth Arrow (1962), öğrenme üzerine yaptığı çalışmalarla sermaye mallarındaki teknolojik değişimle “yaparak öğrenme” kavramını öğrenme literatürüne dahil etmiştir. Arrow'un “yaparak öğrenme” kavramını öne çıkardığı çalışmasında, Horndal'ın öne sürdüğü verimlilik artışının yalnızca öğrenmeden kaynaklanan deneyimle elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Rapping (1965), I. Dünya Savaşı sırasında Liberty gemilerinin üretiminin öğrenme eğrisi modellerine dayandığını göstermiştir. Rapping, yaptığı analizde kümülatif çıktıyla ilişkili verimlilik artışlarının artan emek ve sermaye girdilerinde, ölçek ekonomilerinden veya zamanla ilgili teknik ilerlemelerden kaynaklandığını ifade etmiştir.

Lieberman (1984,1989) kimya endüstrisinde yaptığı çalışmalarında, öğrenme eğrileri ve fiyat davranışları hakkında bir dizi hipotez test etmiştir. Elde edilen ampirik sonuçlar öğrenme eğrilerinin kimya endüstrisi üzerinde etkili olduğunu, maliyetler ve kümülatif çıktı arasında ters yönlü bir ilişki olmakla birlikte kümülatif çıktıda farklılıkların firmalar arasındaki maliyetleri karşılaştırmak için zayıf bir kısıt olduğunu göstermiştir. Argote ve Epple (1990) ise organizasyonel öğrenme eğrilerini

etkileyebilecek potansiyel faktörleri tanımlayarak, organizasyonel öğrenme eğrilerine odaklanan deneysel çalışmaların nitel bir analizini yapmışlardır. Organizasyonel öğrenme oranlarında gözlemlenen farklılıkların özellikle organizasyonel unutmaya veya bilginin azalması ve bilgi aktarımından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Adler ve Clark (1991), Amerika'da bir ekipman şirketinde yaptıkları yaklaşık 100 görüşme yoluyla öğrenme ve üretim süreçlerini eylem halindeyken gözleme fırsatı yakalamıştır. Çalışmada üç temel sonuca ulaşılmıştır. Birincisi, emek yoğun süreçler kadar makine yoğun süreçler de öğrenmeye önemli ölçüde izin vermektedir. İkincisi, öğrenme sürecinin karmaşık bir süreç olduğu ve bu karmaşıklığın üretim sürecinde ortaya çıkan sorunların ortadan kaldırılması için performans üzerinde olumsuz etkilere sahip eylemlerin gerçekleştirilmesi olabileceğidir. Üçüncü sonuç ise, birincil ve ikincil öğrenmenin rollerinin süreçler arasında büyük ölçüde değiştiğidir.

Heng ve Low (1995), Singapur'daki 20 imalat endüstrisindeki öğrenme etkisini test etmek için neoklasik iktisatta kullanılan geleneksel Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile öğrenme eğrilerinin birleştirilmesiyle elde edilen logaritmik denklemi en küçük kareler yöntemiyle tahmin etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar Singapur, Güney Kore ve Japonya için karşılaştırılmış ve Singapur'daki öğrenme eğrisi etkilerinin Güney Kore'ye göre Japonya'ya daha çok benzediği tespit edilmiştir.

Klenow (1998), 1960-1980 dönem aralığında ABD imalat sanayinde teknolojiyle biriken deneyim sonucunda oluşan yaparak öğrenmeden hareketle bir firmanın kullandığı teknolojiyi ne zaman güncellemesi gerektiğini belirlemeye çalışmıştır. Sonuçlar, deneyimin bir teknoloji yardımıyla artması durumunda yaparak öğrenmeden elde edilen verimlilik kazanımlarının azaldığını ve öğrenmenin büyük ölçüde üretim teknolojisine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Promongkit vd. (2000), Tayland imalat endüstrisinde öğrenme eğrilerinin tahmin yeteneğinden faydalanarak teknolojik öğrenmenin bir analizini yapmıştır. Yapılan analiz sonucunda, Tayland imalat endüstrisi öğrenme eğrilerinin, ortalama öğrenme potansiyeline sahip olduğu ve ağır imalat sanayinin hafif imalat sanayilerden daha yüksek bir öğrenme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Chung (2001), Kore ekonomisinin kısa süredeki gelişimini analiz etmek için Kore yarı iletken endüstrisindeki öğrenme etkilerini incelemiştir. 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.

Asgari ve Yen (2009), Malezya'da imalat ve hizmet endüstrilerinde 1975-2003 dönem aralığındaki verileri kullanarak öğrenme oranlarını tahmin etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, imalat endüstrilerinin çoğunun öğrenme oranlarının ilk yıllarda arttığı ve daha sonra azalarak minimum dışbükey öğrenme kategorisine girdiğini göstermiştir. Hizmet sektörlerinin ise teknolojik öğrenmede hızlanma eğilimleri göstermekle birlikte bu eğilimi analiz etmek için daha uzun bir analiz süresinin tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Asgari ve Gonzalez-Cortez (2012), Meksika'daki 21 imalat alt sektörü için 2003-2008 dönem aralığındaki verileri kullanarak Meksika'nın emek yoğun endüstrilerden sermaye yoğun endüstrilere geçip geçmediği, hangi imalat sanayilere odaklanacağı, ileri teknolojik sanayilerin Meksika'da ilerleme gösterip göstermeyeceği ve endüstriyel imalat stratejisindeki hangi değişikliklerin Meksika'nın büyümesini arttırabileceği sorularına cevap aramışlardır. Sonuç olarak Meksika imalat endüstrisinin zaman içerisinde unutmamanın yüksek seviyelerde olduğu ve ekonomik büyümeyi sürdürebilmek için öğrenme potansiyeli orta-düşük ve orta-yüksek teknolojiye sahip endüstrilere yer verilebileceği önerilmiştir.

Türkçe literatüre bakıldığında Albeni (2004), Türkiye imalat sanayinde meydana gelen sektörel teknolojik öğrenme oranlarını tahmin etmeye çalışmıştır. Bunun için Cobb-Douglas üretim fonksiyonuyla genişletilmiş bir öğrenme eğrisi modeli kullanmıştır. 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. Bunun yanı sıra gelişmişlik düzeyinin yüksek olduğu illerde öğrenme hızının da yüksek olduğu ve öğrenme oranıyla bölgelerin büyüme hızı arasında ters yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Albeni (2005), aynı yöntemle kamu ve özel sektöre ilişkin teknolojik değişim performanslarını analiz etmiş ve incelenen dönem boyunca imalat sektörünün başarılı bir öğrenme geçirdiğini, özel sektörün kamu sektörüne göre daha iyi bir öğrenme sürecine sahip olduğu görülmüştür.

Karaöz (2004), 1981-2000 dönem aralığında Cobb-Douglas üretim fonksiyonuyla genişletilmiş öğrenme eğrisi fonksiyonu yardımıyla Türkiye'de imalat sanayinin 28 alt sektörü için sektörel teknolojik değişim sürecini analiz etmiştir. Elde edilen sonuçlar, imalat sanayinde teknolojik öğrenme oranlarının 0.72-1.05 aralığında değiştiğini göstermiştir. Ayrıca Türkiye'nin gelecekte rekabet gücünü arttırabilmesi için, teknoloji yoğunluğu yüksek sektörlerin üretim payının arttırılması ve teknolojik öğrenme hızını arttıracak yöntemler uygulanması önerilmiştir.

Çalmaşur vd. (2020), 2003-2017 dönem aralığında Türk Bilgi Yoğun Hizmetler alt sektörlerine ait öğrenme eğrilerini analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre, ortalama öğrenme seviyeleri dikkate alındığında 37 alt sektörden 23'ünde öğrenmenin görüldüğü, diğer 14 alt sektörde unutkanın yaşandığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte sektörler arasında öğrenme eğrilerinde görülen farklılıkların olası nedenleri arasında teknolojik faaliyetler, Ar-Ge harcamaları seviyesindeki ve üretim sürecindeki farklılıklar gibi nedenler gösterilmiştir.

Türkçe ve yabancı literatür incelendiğinde öğrenme etkisinin daha çok organizasyonlar dahilinde veya belirli endüstri dalları örneklemelerinde incelendiği görülmüştür. Bu çalışmalardan Wright (1936) öğrenme etkisini uçak üretim sektörü için incelerken Rapping (1965) aynı etkiyi Liberty gemileri üretimi, Lieberman (1984, 1989) kimya endüstrisi, Chung (2001) yarı iletken endüstri dalı, Asgari ve Yen (2009) imalat ve hizmet endüstrisi, Albeni (2004) imalat endüstrisi, Karaöz (2004) imalat alt sektörleri ve Çalmaşur vd. (2020) bilgi yoğun hizmetler alt sektörleri için araştırmıştır. Literatürde öğrenme etkisini ülke örneklemeleri üzerinden karşılaştıran ampirik çalışma sayısı ise son derece sınırlıdır. İlgili literatür incelendiğinde Heng ve Low (1995)'un imalat endüstrisi için Singapur örneklemini Güney Kore ve Japonya örneklemeleri ile karşılaştırdığı görülmüştür. Ayrıca öğrenme eğrilerinin genel olarak sektörel bazda incelendiği ve sektörler arasında öğrenme oranları temelinde bir karşılaştırmaya gidilmediği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, öğrenme etkisini araştıran ampirik çalışmaların öğrenme esnekliğini hesaplamak için yoğun olarak en küçük kareler yöntemini kullandıkları gözlemlenmiştir. Yapılan literatür incelemesinde öğrenme esnekliği katsayılarının farklı yöntemlerle tahmin edilmesi noktasında literatürde önemli bir boşluğun olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde öğrenme oranlarının hesaplanmasında farklı yöntemlerin kullanılmadığı, öğrenme oranları konusunda çoklu ülke karşılaştırmasına gidilmediği ve genel olarak sektörlerin öğrenme yetenekleri üzerine değerlendirme yapılamadığı görülmüştür. Bu motivasyon güdüsü ışığında amaç AB-27 ülkeleri, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönem aralığında sanayi sektörü özelinde öğrenme esneklik katsayılarını panel veri analiz yöntemi ile tahmin etmek ve hesaplanan öğrenme oranlarının ülke bazlı karşılaştırmasını yapmaktır.

4. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışmada AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örnekleminde 2004-2020 dönemi için sanayi sektöründe öğrenmenin ülkeler bazında analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda araştırmamızın modeli teorik bölümde de açıklandığı üzere aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\ln c_t = \phi_0 - \alpha \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t \quad (14)$$

Araştırmamızın modelini tahmin etmek için kullanılacak veri seti ve kaynak bilgisi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir:

Tablo 1: Veri Seti ve Kaynaklar

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)

Çalışmanın araştırma döneminin 2004-2020 dönemi ile sınırlandırılması veri seti erişim kısıdından kaynaklanmaktadır. Araştırmanın yatay kesit boyutu 29 ülke ve zaman boyutu 17 yıldan oluşmaktadır. Zaman serisi analizi için 17 yıllık gözlemin bilimsel geçerlilik ve güvenilirlik açısından yetersiz kalacağı düşüncesi bu araştırmanın analizinin panel veri analizi olarak tercih edilmesinde belirleyici olmuştur. Araştırma modelinde kullanılan değişkenlerin basamak değerlerinin fazla olması nedeniyle değişkenlerin logaritmaları alınarak model tahmin edilmiştir. Modelin tahmin aşamasında E-views, Stata ve Gauss ekonometrik paket programlar kullanılarak panel veri analizi gerçekleştirilmiştir. Modelin tahmin sonucunda ulaşılan $(-\alpha)$ katsayısı öğrenme oranı formülünde $(d = 2^{-\alpha})$ yerine koyularak çalışmanın örneklem grubu için sanayi sektörü özelinde hesaplanan öğrenme oranları yorumlanacaktır.

Çalışmanın analiz süresinde panel veri analiz aşaması sırasıyla yatay kesit bağımlılık testi, panel birim kök testi, homojenlik testi, eş bütünleşme testi ve uzun dönem katsayı tahmin aşamalarından oluşmaktadır. 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 (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testi tarafından sınanmış ve son olarak uzun dönem katsayı tahmin aşamasında Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE uzun dönem katsayı tahmincisi tercih edilmiştir.

4.1. 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 çalışmada yatay kesit bağımlılığının tespiti için Pesaran (2004) Cross-Section Dependence (CD) testi kullanılmıştır. 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 etkin sonuçlar vermektedir.

Pesaran, dengeli panelde yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasındaki korelasyonu test etmek için (16) numaralı model denklemini geliştirmiştir:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (16)$$

(16) numaralı model denkleminde $\hat{\rho}_{ij}$, i ve j birimlerinin hata terimleri arasındaki korelasyonu ifade etmek için kullanılmakta ve aşağıda yer alan (17) numaralı denklemdeki gibi hesaplanmaktadır:

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it} e_{jt}}{(\sum_{t=1}^T e_{it}^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{t=1}^T e_{jt}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (17)$$

Yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasındaki korelasyonun hesaplanmasında 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 olasılık değerinin yüzde 10 seviyesinde anlamlı olması yatay kesit boyutunda yer alan birimlerin hata terimleri arasında yatay kesit bağımlılığının bulunduğu anlamına gelmektedir (Baltagi, 2003: 284).

4.2. 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 (Yerdelen Tatoğlu, 2017; 3-4). Bu çalışmanın panel veri analiz sürecinde yatay kesit boyutunda yer alan birimler arasında korelasyon problemine rastlanıldığından literatüre de uygun olarak CADF (*Cross-sectionally Augmented Dickey Fuller*) panel birim kök testinden hareketle hesaplanan CIPS (*Cross Sectionally IPS -Im, Pesaran, Shin-*) test istatistiğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Yatay kesit genişletilmiş Dickey Fuller olarak adlandırılan CADF testi otokorelasyonun olmadığı durumlarda dinamik heterojen panel veri modeli aşağıdaki (18) numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir:

$$Y_{it} = (1 - \phi_i)\mu_i + \phi_i Y_{i,t-1} + u_{it} \quad (18)$$

(18) numaralı model denklemi kapsamında u_{it} , her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkileri (f_t) ve bireysel spesifik hata değer (ε_{it}) bileşiminden oluşmaktadır. Her ülkenin gözlemlenemeyen ortak etkileri ve bireysel spesifik hata değeri de modele dahil edildiğinde yeni eşitlik aşağıdaki (19) numaralı denklem gibi gösterilecektir:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i Y_{i,t-1} + \gamma_i f_t + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

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.

Pesaran'ın (2007:288) 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 (20) numaralı denklem gibi modellenmektedir:

$$CIPS(N, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \text{ ya da } CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (20)$$

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.

4.3. 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. Bu çalışmada, Pesaran ve Yamagata (2008), tarafından geliştirilen Delta homojenlik testi kullanılmıştır. Bu test N ve T'nin farklı değerler alma durumlarını dikkate almaktadır. Böylelikle büyük ve küçük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan homojenlik test modelleri aşağıdaki gibidir:

Büyük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan delta homojenlik testi modellemesi:

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{\xi} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (21)$$

Küçük örneklem içeren panel veri analizlerinde kullanılan düzeltilmiş delta homojenlik testi modellemesi:

$$\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1}\hat{S}-k}{V(T,k)} \right) \quad (22)$$

Bu modellemelerde 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 örnekte eş bütünleşme denkleminde β_{it} gibi bir eğim katsayısı üzerine oluşturulan delta ve düzeltilmiş delta homojenlik testleri için oluşturulan hipotezlerden H_0 hipotezi $\beta_i = \beta$ ise eğim katsayısı homojendir ve H_1 hipotezi $\beta_i \neq \beta$ ise eğim katsayısı homojen değildir şeklinde tanımlanmaktadır. Hesaplanan homojenlik test istatistiklerinin olasılık değerlerinin yüzde 10'dan büyük olduğu durumlarda H_0 hipotezi kabul edilerek eğim katsayısının homojen olduğu sonucuna varılır. Bu sonuç, seriler arasındaki ilişkinin yorumlanmasında grup istatistikleri yerine panel istatistiklerinin kullanılabilceğini göstermektedir.

4.4. Eşbütünleşme Testi

Eşbütünleşme testi, analize tabi tutulacak seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığını tespiti için kullanılan bir testtir. Bu çalışmada seriler arasında yatay kesit bağımlılığını ve yatay kesit eğim parametrelerinin heterojenliğini dikkate alması nedeniyle Westerlund (2008) tarafından geliştirilen Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin kullanılması tercih edilmiştir. Durbin-Hausman eş bütünleşme testi, bağımlı değişkenin birinci devresel farkında, bağımsız değişkenlerin ise farklı derecelerde (seviyesinde ve birinci seviyede) durağan olma durumlarını dikkate almaktadır.

Eş bütünleşmenin olmadığını ileri süren H_0 hipotezi $\hat{\varepsilon}_{it} = \phi_i \hat{\varepsilon}_{it-1} + \text{hata terimi}$ denklemi yoluyla $\phi_i = 1$ olup olmadığını test edilmesiyle asimtotik eşdeğerdir. Durbin-Hausman testi için çekirdek tahminci (23) numaralı denklemlerle gösterilmektedir:

$$\hat{\omega}_i = \frac{1}{T-1} \sum_{j=M_i}^{M_i} \left(1 - \frac{j}{M_i+1} \right) \sum_{t=j+1}^T \hat{v}_{it} \hat{v}_{it-j} \quad (23)$$

(23) numaralı denklemde \hat{v}_{it} , $\hat{\varepsilon}_{it} = \phi_i \hat{\varepsilon}_{it-1} + \text{hata terimi}$ 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 (24) numaralı denklemdeki gibi formüle edilmektedir.

$$\hat{S}_i = \hat{\omega}_i^2 / \hat{\sigma}_i^4 ; \quad \hat{S}_i = \hat{\omega}_i^2 / (\hat{\sigma}_i^2)^2 \quad (24)$$

(24) 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 (Westerlund, 2008; 203).

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinde panel (25) ve panel içerisindeki örneklem grupları (26) için eş bütünleşme istatistiği aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$DH_p = \hat{S}_n (\tilde{\phi} - \hat{\phi})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^T \hat{\varepsilon}_{it-1}^2 \quad (25)$$

$$DH_g = \sum_{i=1}^n \hat{S}_i (\tilde{\phi}_i - \hat{\phi}_i)^2 \sum_{t=2}^T \hat{\varepsilon}_{it-1}^2 \quad (26)$$

Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin panel istatistiği için hipotezler; $H_0^p: \phi_i = 1$ ($i = 1, 2, 3, \dots$ n); eş bütünleşme ilişkisi yoktur, $H_1^p: \phi_i = \phi$ ve $\phi < 1$ (bütün i 'ler için); eş bütünleşme ilişkisi

vardır, şeklinde tanımlanmaktadır. Durbin-Hausman eş bütünleşme testinin örneklem grupları istatistiği için hipotezler; $H_0^g: \phi_i = 1$; ($i=1,2,3, \dots n$); eş bütünleşme ilişkisi yoktur, $H_1^g: \phi_i = < 1$ (en az bir i için); eş bütünleşme ilişkisi vardır şeklinde tanımlanmaktadır. Panel ve örneklem grupları için hesaplanan istatistik değerinin tablo kritik değerinden büyük ve test istatistiklerinin yüzde 10 seviyesinde anlamlı olması durumunda H_0 hipotezi reddedilmekte ve hem panel hem de örneklem grupları için eş bütünleşme ilişkisinin bulunduğu istatistiki olarak 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).

4.5. Uzun Dönem Katsayı Tahminci Testi

Bu çalışmada uzun dönemli ilişkinin yönü ve büyüklüğünün tahmini için Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE (Ortak İlişkili Etkiler) uzun dönem katsayı tahminci testi kullanılmıştır. CCE uzun dönem katsayı tahminci testi, yatay kesit bağımlılığı altında eğitim katsayılarının heterojen olması durumunda tercih edilmektedir. Ayrıca bu test N ile T 'nin nispi olarak küçük ve $N > T$ olması durumunda da güvenilir sonuçlar vermektedir. CCE uzun dönem katsayı tahminci testi, 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 sağlamaktadır. 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 tahminci testi için oluşturulan doğrusal heterojen panel veri regresyon modeli (27) numaralı denklemde gösterilmektedir:

$$Y_{it} = \alpha'_i d_t + \beta'_i x_{it} + e_{it} \quad (i = 1,2,3, \dots N \text{ ve } t = 1,2,3, \dots T) \quad (27)$$

(27) 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 (28) numaralı eşitlikteki gibi gösterilmektedir:

$$e_{it} = \gamma'_i f_t + \varepsilon_{it} \quad (28)$$

(28) 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 tahminci testi 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 (29) numaralı eşitlikteki gibi elde edilmektedir (Pesaran, 2006: 982).

$$\hat{b}_{CCEMG} = N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{b}_{CCE,i} \quad (29)$$

Panel veri analiz sürecinde gerçekleştirilen CCE uzun dönem katsayı tahminci testi sonuçlarının istatistiki olarak geçerli olabilmesi için tahmin testi sonuçlarının yüzde 10 seviyesinde anlamlı çıkması gerekmektedir.

5. Ampirik Bulgular

Çalışmanın bu başlığı altında ilk önce panel veri analiz sürecinin sonucunda her ülke için sanayi sektörü özelinde öğrenme esnekliği katsayısı ($-\alpha$) tahmin edilecektir. Sonraki aşamada öğrenme esnekliği katsayısı $d=2^{-\alpha}$ formülünde yerine koyularak her bir ülke için öğrenme oranı hesaplanacaktır.

Panel veri analiz sürecinde sırasıyla yatay kesit bağımlılık testi, birim kök testi, homojenlik testi, eş bütünleşme testi ve uzun dönem katsayı tahmin aşamaları takip edilecektir.

Çalışmada yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olması nedeniyle ($N>T$), yatay kesit bağımlılığını test etmek için Pesaran tarafından geliştirilmiş olan CD testi kullanılmıştır.

Tablo 2: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Değişkenler	Pesaran CD Testi	
	Sanayi Sektörü Test İstatistiği ve Olasılık Değeri	
C	43.774***	(0.000)
X	82.987***	(0.000)
L	39.409***	(0.000)
Model Denklemi	78.900***	(0.000)

Not: 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 2’de sanayi sektörü için Pesaran CD test istatistik ve olasılık değerleri gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre sanayi sektöründe emek cinsinden birim üretim maliyeti (c), kümülatif üretim miktarı (X), kullanılan emek üretim miktarı (L) değişkenleri ve model denklemi için test istatistiklerinin yüzde 1 seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir. Böylelikle Pesaran CD testi için geliştirilen H_0 hipotezi reddedilerek değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığı olduğunu 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 çalışmanın panel veri analiz sürecinde seriler arasında yatay kesit bağımlılığı ilişkisinin bulunması nedeniyle birim kök ilişkisinin tespiti için ikinci kuşak panel birim kök testleri arasından ve $N>T$ durumunu dikkate alan testlerin seçilmesi gerekmektedir. 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 3: Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	CIPS Birim Kök Testi	
	Sanayi Sektörü CIPS Test İstatistiği	
c (düzeyinde)	-1.450	
c (1.farkında)	-3.119***	
X (düzeyinde)	-2.415***	
L (düzeyinde)	-2.436***	

Not: Tablo kritik değerleri %1, %5 ve %10 seviyeleri için sırasıyla [-2.380;-2.200 ve 2.110] değerlerini almaktadır. Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 3’te CADF test istatistikleri kullanılarak sanayi 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, sanayi sektörü için c değişkeninin düzeyinde yüzde 10 anlamlılık seviyesinde durağan olmadığı; ancak birinci farkı alındıktan sonra serinin yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağanlaştığı görülmektedir. X ve L değişkenlerinin ise düzey değerleri için hesaplanan CIPS test istatistiklerinin yüzde 1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu görülmektedir.

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

Tablo 4’te sanayi sektörü için delta homojenlik test sonuçları gösterilmektedir. Delta test istatistikleri yüzde 1 anlamlılık seviyesinde sanayi sektörü için oluşturulan modeldeki eğim

parametrelerinin yatay kesit boylamındaki birimler için heterojen bir yapıya sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu sonuçlara göre hesaplanacak eğitim parametrelerinin ilgili yatay kesit birimler için istatistiki olarak güvenilir bir biçimde yorumlanabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4: Homojenlik Test Sonuçları

Delta Homojenlik Testi		Sanayi Sektörü Test İstatistik ve Olasılık Değerleri	
Delta Testi			
$\hat{\Delta}$		16.258***	(0.000)
$\hat{\Delta}_{adj}$		18.434***	(0.000)

Not: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

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. Çalışmanın panel veri analiz sürecinde sanayi sektörü için yatay kesit bağımlılığı, serilerin eğitim 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 yüzde 10 seviyesinde 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.

Tablo 5: Durbin-Hausman Panel Eş Bütünleşme Test Sonuçları

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

Not: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Durbin-Hausman panel eş bütünleşme test sonuçlarının gösterildiği Tablo 5'e 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 c , X ve L değişkenleri arasında eş bütünleşme ilişkisinin var olduğu anlamına gelmektedir.

Çalışmanın amacı kapsamında 2004-2020 dönemi için örneklem grubunda yer alan her ülkenin sanayi sektörü için öğrenme oranı hesaplanması ve yorumlanması amaçlanmaktadır. Öğrenme oranının hesaplanabilmesi için çalışmanın modelinde yer alan öğrenme esnekliği ($-\alpha$) katsayısının tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda uzun dönem katsayı tahmini için Pesaran (2006) tarafından geliştirilen CCE testi kullanılmaktadır. CCE testi, paneli oluşturan yatay kesitler arasında yatay kesit bağımlılığını ve eğitim parametrelerinin heterojen olma durumlarını dikkate alan bir testtir. Genellikle N ve T 'nin küçük değerler aldığı durumlar için kullanılan CCE testi 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 testinin tercih edilmesi açısından belirleyici olmuştur.

29 ülke örnekleme için sanayi sektöründe bağımsız değişkenler kümülatif üretim miktarı (X) ve kullanılan emek üretim faktörünün (L) bağımlı değişken emek cinsinden birim üretim maliyeti (c) üzerindeki etkisi Tablo 6'da gösterilmektedir. CCE testi uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, bağımsız X değişkeninin bağımlı c değişkeni üzerindeki etkisi 22 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlı sonuç vermiştir. Bu ülke grubu içerisinde sadece Kıbrıs'ın sanayi sektörü için bağımsız

X değişkenindeki yüzde 1 birimlik artış bağımlı c değişkenini pozitif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuç bulunan diğer ülkelerin sanayi sektörü için bağımsız X değişkenindeki yüzde 1 birimlik artış bağımlı c değişkenini negatif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilemiştir.

Tablo 6'da bulunan diğer bağımsız değişken L 'nin bağımlı değişken c üzerindeki uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre, L değişkeninin c değişkeni üzerindeki etkisi örnekleme oluşturan 17 ülke grubu için istatistiki olarak anlamlıdır. Bu ülke grubu içerisinde sadece Kıbrıs'ın sanayi sektörü için bağımsız L değişkenindeki yüzde 1 birimlik artış bağımlı c değişkenini negatif yönde etkilerken, istatistiki olarak anlamlı sonuçlara ulaşılan diğer ülkelerin sanayi sektöründe bağımsız L değişkenindeki yüzde bir birimlik artış bağımlı c değişkenini pozitif olarak farklı yüzdelik katsayılarla etkilediği görülmektedir.

Tablo 6: Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Ülkeler	$-\alpha$	Sanayi Sektörü		Olasılık Değeri
		Olasılık Değeri	ϕ_2	
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
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

Not: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Araştırma modeli $lnc_t = \phi_0 - \alpha \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t$ çerçevesinde panel veri analizi ile tahmini gerçekleştirilen öğrenme esnekliği ($-\alpha$) katsayısı öğrenme oranı formülünde ($d=2^{-\alpha}$) yerine koyularak örneklem grubunda yer alan her ülke için öğrenme oranı katsayısı hesaplanmıştır.

Tablo 7'de görüldüğü üzere, Almanya (0.01), Bulgaristan (0.04) ve Avusturya (0.06) öğrenme oranının en düşük olduğu üç ülke konumundadır. Öğrenme oranının en yüksek olduğu üç ülke 10.17 puan ile Kıbrıs, 0.56 puan ile İspanya ve 0.54 puan ile Yunanistan'dır. Sonuçlardan hareketle İspanya ve Yunanistan'da öğrenmenin düşük olduğu söylenebilirken; Kıbrıs'ta ise üretim sürecinde bilgilerin unutulduğu ya da bilgilerin güncelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır. Türkiye hariç AB-27 ve Birleşik Krallık örnekleme içerisinde 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.

Tablo 7: Öğrenme Oranları Sonuçları

Ülkeler	Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları			Ülkeler	Sanayi Sektörü Öğrenme Oranları		
	- α	Olasılık Değeri	d=2 ^{-α}		- α	Olasılık Değeri	d=2 ^{-α}
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
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

Not: Tabloda yer alan ***, **, * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesindeki anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

6. Sonuç

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'ın (1936) endüstriyel bir ortamda öğrenmeye ilişkin gözlemlerini yayınlamasıyla birlikte öğrenmenin hem bireysel hem de organizasyonel bağlamda var olduğu kabul edilmiştir. Wright'ın (1936) uçak endüstrisinde yaptığı çalışmasında üretilen çıktı iki katına çıktıkça, bir birim üretmek için gereken sürenin sabit bir yüzde oranında azaldığını ileri süren görüşü öğrenme eğrilerinin temelini oluşturmuştur. İlgili Türkçe ve yabancı literatür incelendiğinde, öğrenme eğrilerinin sanayi sektörlerindeki etkilerini kapsamlı bir örneklem grubu üzerinde inceleyen bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar genellikle alt sektörler için daha küçük örneklem 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 ile iki veya üç ülke arasında karşılaştırmaya gidilmiştir.

Ülke ve ülke grupları arasında öğrenme oranlarını karşılaştırabilmek amacıyla bu çalışmada, AB-27 ülkesi, Birleşik Krallık ve Türkiye örneğinde 2004-2020 dönemi için sanayi sektörü özelinde öğrenme oranları hesaplanmıştır. Panel veri analizi sonucunda ulaşılan uzun dönem katsayı tahmin değerleri kullanılarak hesaplanan öğrenme oranları ile ilgili sanayi sektöründe ülke bazlı olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Sanayi sektörü için öğrenme düzeyinin en yüksek olduğu ülkeler Almanya, Bulgaristan ve Avusturya olurken; öğrenme düzeyinin en düşük olduğu ülkeler İspanya ve Yunanistan'dır.

Kıbrıs için hesaplanan öğrenme oranı bu ülkede sanayi sektörü için üretim sürecinde unutma 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 Avrupa Birliği ülkelerinde sanayi sektöründe 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, 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.

Türkçe ve yabancı literatür incelediğinde öğrenme oranlarının sektör düzeyinde incelenip ülke karşılaştırmasının yapıldığı tek ampirik çalışma olarak Heng ve Low (1995)'un çalışması dikkat çekmiştir. Bu çalışmada Singapur'daki imalat endüstrisi öğrenme oranının Güney Kore'den daha çok Japonya ülke örneğine benzediği sonucu tespit bulunmuştur. Literatürde yer alan bu çalışma ile sonuçlar kıyaslanacak olursa Türkiye'deki sanayi sektörü öğrenme oranı düzeyi araştırma örneklemini içerisinde Lüksemburg ve Finlandiya ülke örnekleri ile benzerlik göstermektedir. Öğrenme düzeyinin yüksek ve düşük olduğu ülkeler karşılaştırılacak olursa öğrenme düzeyinin farklılaşmasında teknolojik gelişimin, inovasyon yatırımlarının, ar-ge harcamalarının ve eğitim, bilim alanındaki çalışmaların etkili olduğu düşünülmektedir.

Türkiye gibi özellikle sanayi sektöründe düşük öğrenme düzeyine sahip olan ülkelerin gelişmiş ülkeler arasında yer alabilmesi için öğrenmenin gerçekleşmesi ve bu öğrenmenin de üretim sürecindeki çıktı seviyesi üzerine etki etmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yaparak öğrenmenin ortaya çıkardığı sınırlı etkinin üzerine çıkarak öğrenme-ekonomik performans etkileşiminde amaca yönelik eğitim sistemleri kapsamında eğitim programlarını geliştirmesi; eğitim, bilim ve teknolojiye daha fazla önem vererek ar-ge ve inovasyon yatırımlarını artırması gerekmektedir. Ayrıca ekonomik uygulanabilirlik kapsamında mali ve ticari teşvik kapsamının genişletilmesi, otomasyon seviyesinin yükseltilmesinin yanı sıra sanayi sektöründe ürün çeşitliliğinin artırılması önerilmektedir.

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.
- Albeni, M. (2004). Türkiye'de Teknolojik Öğrenmenin Alansal Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22, 19-37.
- Albeni, M. (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.
- 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. ve Epple, D. (1990). Learning Curves in Manufacturing. *Science*, 247(4945), 920-924.
- 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.
- Badiru, A. B. (1992). Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models. *IEE Transaction on Engineering Management*, 39(2), 176-188.
- Baloff, N. (1966). The Learning Curve – Some Controversial Issues. *The Journal of Industrial Economics*, 14(3), 275-282.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, Linda (1995). Estimating and Comparing Learning Curves in Three Asian Economies. *Asia Pacific Journal of Management*, 12, 21-35.
- Jaber, M. Y. (Ed.) (2011). Learning Curves: Theory, Models and Applications. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, FL.
- 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 Medicare Beneficiaries and Short-term Mortality. *New England Journal of Medicine*, 331(24), 1625-1629.
- Karaöz, M. (2003). İmalat Sanayiinde Teknolojik Öğrenme. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(3), 97-112.
- 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.
- Lieberman, M. B. (1984). The Learning Curve and Pricing in the Chemical Processing Industries. *Rand Journal of Economics*, 15(2), 213-228.
- Lieberman, M. B. (1989). The Learning Curve, Technology Barriers to Entry, and Competitive Survival in the Chemical Processing Industries. *Strategic Management Journal*, 10(5), 431-447.

- Lundberg, E. (1961). Productivity and Profitability: Studies in the Importance of Capital in Swedish Change Life. Stockholm: Norstedt & Söner.
- Pramongkit, P., Shawyun, T. ve Sirinaovakul, B. (2000). Analysis of Technological Learning for the Thai Manufacturing Industry. *Technovation*, 20(4), 189-195.
- Rapping, L. (1965). Learning and World War Production Functions. *The Review of Economics and Statistics*, 47(1), 81-86.
- 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.
- Stevenson, W. J. (1996). Production / Operation Management (5th Edition). Irvin Publishing.
- 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. (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.
- Wright, T. P. (1936). Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3(2), 122-128.

**COMPARISON OF LEARNING RATES IN THE CONTEXT OF INDUSTRIAL SECTOR:
AN EMPIRICAL STUDY ON THE SAMPLE OF EU-27 COUNTRIES-UNITED
KINGDOM AND TÜRKİYE (2004-2020)**

Extended Abstract

Aim: The aim of this study is to examine the learning effect of industry sector in EU-27 countries, United Kingdom and Turkey for the period 2004-2020.

Method(s): In the first stage of the research process, panel data analysis was carried out. In this context, cross-section dependency test, panel unit root test, homogeneity test and cointegration tests were carried out, the Common Associated Effects (CCE) test was used for long-term coefficient estimation, and so the learning flexibility coefficient was estimated on the basis of each country in the sample group. In the second stage of the research process, the learning flexibility coefficient was put in the learning rate formula, and learning rates were calculated for each country and sector. For this purpose, the effect of cumulative production and labor force, which are the independent variables of the model, on the unit labor cost, which is the dependent variable, was investigated.

Findings: In the first stage of the panel data analysis process, the cross-sectional dependency test results show that there is a cross-sectional dependency problem between the variables of the model, the unit production cost in terms of labor, the cumulative production amount and the labor production amount. The CIPS test results used for unit root analysis show that the unit production cost series is stationary at the first difference, while the cumulative production amount and labor production amount series are stationary at level. In another pretest in the panel data analysis process, the delta homogeneity test results show that the slope parameters in the model have a heterogeneous structure for the units of cross-section. Durbin – Hausman cointegration test statistics explain that there is a long-term cointegration relationship between the variables in the model. In the study, the Common Associated Effects (CCE) test was preferred for long-term coefficient estimation. According to the CCE test results, the effect of the independent variable cumulative production amount on the dependent variable unit production cost was found to be statistically significant for 22 countries in the sample group. The other independent variable of the model, the effect of the amount of labor production on the dependent variable unit production cost, is statistically significant for the sample of 17 countries.

$$\text{Research model: } \ln c_t = \phi_0 - \alpha \ln X_t + \phi_2 \ln L_t + u_t$$

Learning rates were calculated for each country in the sample group with the learning rate formula ($d=2^{-\alpha}$) by using the learning flexibility (α) coefficient in the estimated research model of the study. The findings show that Turkey's learning rate is above the average learning rate of EU countries.

Conclusion: The countries with the highest level of learning for the industrial sector are Germany, Bulgaria and Austria; the countries with the lowest learning levels are Spain and Greece. The learning rate calculated for Cyprus shows that forgetting occurs in the production process for the industrial sector in this country or that knowledge and experience begin to lose their currency. The average learning rate level of countries with statistically significant long-term coefficient values in the sample group was calculated as 0.20. This value shows that the learning level in the industrial sector in European Union countries is lower than the learning level in Turkey (0.26). In order for Turkey to be among the developed countries, learning must take place and this learning must have an impact on the output level in the production process. In this context, overcoming the limited effect of learning by doing, Turkey should develop education programs within the scope of purpose-oriented education systems in the interaction of learning-economic performance; it needs to increase its R&D and innovation investments by giving more importance to education, science and technology.
