



## Research Article/Araştırma Makalesi

### Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar

#### Technology and Unemployment: Empirical Evidence from System GMM Estimates

Nadide GÜLBAY YİĞİTELİ<sup>1</sup>

#### Öz

Çalışmada, teknolojik ilerlemenin iş kayıplarına ve işsizliğe neden olup olmadığı sorusuna odaklanılmaktadır. Ürün ve süreç yenilikle ortaya çıkan teknolojik ilerleme, bir yandan yeni iş alanları ortaya çıkarırken diğer yandan da mevcut işlerde ihtiyaç duyulan nitelikleri değiştirmektedir. Bu durum ise makinelerin insan emeğini ikame etmesiyle sonuçlanabilmektedir. Ortaya çıkan yeni iş alanları ve verimlilik artışları önemli birer fırsat olsa da bu fırsatların kaybolan meslekleri ve açığa çıkan işgücü arzını telafi etmekte yeterli olup olmadığı konusu gerek kuramsal gerekse ampirik olarak üzerinde fikir birliğine varılmış bir konu değildir. Nihai etkinin belirsizliği, yönetsel gelişmeler ve veri setlerinin çeşitlenmesi konunun farklı boyutlarıyla ele alınması için önemli bir motivasyon kaynağıdır. Çalışmada, 1995-2021 dönemi ve 91 ülke kapsamında, işsizlik oranının geçmiş değerinin gelecek değerini etkilemesi eğiliminden hareket edilerek dinamik bir panel model çerçevesinde analizler yapılmıştır. Modeller iki aşamalı sistem Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (2SGMM) kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmanın bulguları, işsizliğin kalıcılığını doğrulamakta ve sabit sermaye yatırımına dahil edilen somutlaştırılmış süreç yeniliğin emek tasarruf edici niteliğine işaret etmektedir. Ürün yeniliğin bir ölçüsü olarak modele dahil edilen ekonomik karmaşıklık endeksinin ise alternatif modeller kapsamında işsizlik oranını azaltıcı etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer model kapsamında ürün yeniliği temsil etmek üzere analize dahil edilen patent sayısının gecikmeli olarak işsizliği etkilediği bulunmuştur. Buna göre patent sayılarındaki artış, gecikmeli olarak azalan işsizlik oranlarıyla ilişkilidir.

Jel Kodları: E24, O31, O33

Anahtar Kelimeler: İşsizlik, Yenilik, Teknoloji

<sup>1</sup>Dr., Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, nadidegulbay@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0632-7253.



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar.  
*Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

---

#### **Abstract**

The study concentrates on whether technological progress causes job losses and unemployment. While technological progress, embodied in product and process innovation, creates new jobs, it also changes the qualifications required by existing jobs and causes machines to substitute human labour. The emergence of new jobs and productivity gains are opportunities, but whether these opportunities are sufficient to compensate for jobs lost and the resulting labour surplus is disputable. The uncertainty of the ultimate impact, methodological developments, and diversification of data sets are essential motivations for addressing the issue with different dimensions. In this study, analyses are conducted within the framework of a dynamic panel model considering the effect of the past value of the unemployment rate on its future value for the period 1995-2021 and 91 countries. The models are estimated using the two-step system Generalised Method of Moments (2SGMM). The findings of the study confirm the persistence of unemployment. Moreover, the embodied process included in gross fixed capital formation points to the labour-saving nature of innovation. Under alternative models, the economic complexity index, a measure of product innovation, is found to reduce unemployment. The number of patents included in the analysis to represent product innovation within the scope of another model affects unemployment in lagged terms. Accordingly, the increased number of patents results in a lagged decrease in unemployment rates.

**Jel Codes:** E24, O31, O33

**Keywords:** Unemployment, Innovation, Technology



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

## 1. Giriş

Dünya ekonomileri, sosyoekonomik ve teknolojik değişimleri beraberinde getiren birçok sanayi devrimi yaşamıştır. İlk endüstri devriminde el emeğine dayalı üretim süreçlerinden buhar veya su ile çalışan makinelere geçilmiş, ikinci endüstri devrimiyle elektrik enerjisi seri üretimde kullanılmaya başlayarak fabrikalar modern üretim hatlarına dönüşmüştür (Xu vd., 2021). Endüstri 3.0 devrimi, ileri bilgisayar teknolojisi, bilgi ve teknoloji sistemleri ve otomatik üretimle birlikte verimlilik artışlarına imkân sunmuş, endüstri 4.0 ise beraberinde nesnelerin interneti, robotik üretim süreçleri ve bulut bilişim gibi dijital yenilikleri getirmiştir. Bu süreçte üretim ve iletişim kanalları yeniden biçimlenmiş, üretimde ihtiyaç duyulan beceri setleri değişmiştir (Chourasia vd., 2022). İçinde bulunduğumuz endüstri 5.0 devrimi ise yapay zekanın üretim süreçlerine girmesi, insan ve makine işgücünün birlikte çalışmasıyla karakterizedir (Duggal vd., 2021).

Sosyoekonomik yapının her alanına her geçen gün yeni teknolojiler girmekte ve bu teknolojiler bazen işgücünü tamamlayıcı bazen de ikame edici şekilde üretimi ve istihdamı etkilemektedir. Teknolojik ilerleme, ürün yenilik, süreç yenilik veya bunların birleşimi şeklinde gerçekleşmektedir. Süreç yeniliğinin emek tasarrufu sağlayan boyutu, ürün yeniliğinin ise yeni pazar imkânları sunması nedeniyle istihdam yaratan boyutu ön plandadır. Bununla birlikte, bu iki yenilik birbiriyle ilişkili olup aralarında ampirik açıdan keskin bir ayrım bulunmamaktadır (Vivarelli, 2013). Kaynağı veya çıktısı ne olursa olsun teknolojiye bağlı değişimle birlikte işgücü talebi yeniden şekillenmekte, bu da işgücünün istihdam edilebilirliğinin sağlanması için bir dönüşümü gerekli kılmaktadır. Bu süreçte bir yandan işçiler teknolojinin ikame edici etkisiyle işsiz kalırken bir yandan da yeni endüstriler ve yeni meslekler gelişmektedir (Walden, 2018). Geleneksel olarak nitelik gerektirmeyen işler teknolojik değişim sonrasında farklı nitelikler gerektiren yeni işlere dönüşmekte ve çoğunlukla teknolojinin emek tasarruf edici özelliği, tekrarlanan süreçleri içeren rutin işlerde ortaya çıkmaktadır. Ancak, robot teknolojisinin ve yapay zekanın gelişimiyle birlikte analitik görevler de dahil olmak üzere rutin olmayan işlerde de teknoloji işgücünü ikame edebilir duruma gelmiştir (Vivarelli, 2013; Walden, 2018). İşgücü maliyetlerindeki artışlar, özellikle bazı mesleklerde görülen işgücü kıtlığı ve işgücünün nitelik uyumsuzluğu gibi nedenler teknolojinin işgücünü ikamesi konusunda firmaların motivasyonunu artırmaktadır (Du & Wei, 2022).

Teknolojik değişimin farklı boyutlarıyla analiz edilmesi, sosyal ve ekonomik yapının tüm taraflarının teknolojik değişimle öngörülen fırsatları değerlendirmesi ve risklere karşı hazırlıklı olması açısından önem taşımaktadır. Çalışma, teknolojik değişimi, işsizlik üzerindeki etkisi açısından ele almakta olup analiz edilen ülke ve dönem ile ele alınan değişkenler açısından diğer çalışmalardan farklılaşmakta ve mevcut literatüre katkı sunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünü takip eden bölümde, teknolojik değişimin istihdam etkisini açıklamak üzere kuramsal yaklaşımlara odaklanılmıştır. Sonraki bölümde ise konuyla ilgili ampirik literatüre yer verilmiştir. Takip eden bölümler sırasıyla metodoloji, veri seti ve model ile ampirik bulguları içermektedir. Son bölümde çalışmanın sonuçları özetlenmekte ve politika önerileri tartışılmaktadır.



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

## 2. Teorik Çerçeve

Teknolojideki değişimle birlikte üretim biçimlerinde yaşanan dönüşüm makinenin ilk ortaya çıkışından başlamak üzere, işgücü piyasasını çok boyutlu bir şekilde etkilemiştir. Bunun sonucudur ki, manifaktrde geçimlerini emeğiyle kazanan işçiler, örneğin 17. yüzyılın Almanya'sında kurdele dokuma tezgahına, 18. yüzyılın İngiltere'sinde su ve rzgr gücüyle işleyen bıçkıhaneye, 19. yüzyılın İngiltere'sinde buharla işleyen dokuma tezgahlarına yönelik makine yıkıcılığı eylemleri yneltilmişlerdir (Marx, 2018: 408-409). Süreç yenilikler genellikle emek tasarruf edici olarak nitelendirilse de çalışan sayısındaki azalmayı telafi edici bazı mekanizmalar da kuramsal olarak tanımlanmaktadır (Piva & Vivarelli, 2018). Bu tartışma, iktisat biliminin başlangıcından bu yana kuramsal yaklaşımların temel konuları arasında yer almıştır.

Klasik okulun çoğu temsilcisi, süreç yeniliğe yönelik teknolojik ilerlemenin, başlangıçtaki işgücü tasarruf etkisini telafi edici çeşitli mekanizmalar da ortaya çıkardığına işaret etmektedir (Feldmann, 2013; Vivarelli, 2013). Bununla birlikte, bu kuramsal çerçevede teknolojik ilerlemenin istihdam etkisine ilişkin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Smith (1977), daha iyi makinelerin, daha fazla beceri ve iş bölümüyle birlikte daha az miktarda emeği gerektireceği görüşündedir. İşçinin verimliliğinin, emeğin işini hafifleten ya da emeği azaltan makine ve araçlara yapılan eklemeler ve iyileştirmelerle ya da daha uygun bir iş bölümüyle artırılabilceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, bu durumu ekonomik gelişmenin doğal etkileri olarak tanımlamaktadır (Smith 1977: 338). Say (1964) ise aletleri basit makineler, makineleri de karmaşık aletler olarak tanımlamakta olup ona göre makineler sayesinde insanın sınırlı gçleri genişletilmektedir. Makinelerin en aşıkr etkisi daha az emekle aynı miktar ürünün üretilmesi veya aynı miktar insan emeğiyle daha fazla ürüne ulaşılmasıdır. Say bu durumu "endüstrinin en büyük amacı ve zirvesi" olarak tanımlamaktadır. Yeni makinelerin insan emeğinin bir kısmının yerini almasına rağmen, makinelerin üretim sürecine girmesine eşlik eden bazı koşullar, bu olumsuzluğu azaltmakta ve yeniliğin faydalarından tam olarak yararlanmayı mümkün kılmaktadır. Say, makinelerin yavaş yavaş kullanıma sunulduğuna vurgu yapmaktadır. Bu süreç, tedbirlerin alınmasına zaman tanımaktadır. Diğer yandan, makinelerin emek gücüyle inşa edilmesi, makineleşme nedeniyle işten çıkarılanlara meslek kazandırmakta ve yeni makinelerin retildeği sektörlerde yeni işler yaratmaktadır. Ayrıca, teknolojik ilerleme ile birlikte ortaya çıkan ürün bolluğu ve üretim maliyetinin daha düşük gerçekleşmesi, malların fiyatını düşürerek tüketiciler için harcama tasarrufu ortaya çıkarmaktadır. Say'a göre bu gelir etkisi toplumun geneli için avantaj sağlamaktadır (Say, 1964: 85-90). Dolayısıyla makinelerin kullanılmaya başlanmasının nihai etkisinin olumlu olduğu görüşündedir.

Ricardo ise makinelerin herhangi bir üretim dalında kullanılmasının emekten tasarruf etme etkisini genel bir iyilik hali olarak değerlendirmiştir. Makine kullanımından dolayı metalar ucuzlayacak, elde edilen bu avantajdan kapitalist ve emek eşit ölçüde yararlanacaktır. Bu durum, makineleşmeyle birlikte bir miktar sermayenin serbest kalmasından ve kapitalistin eski miktarda emek çalıştırma gücüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Serbest kalan sermaye, toplum için yararlı olan ve talebin eksik olmayacağı başka bir metanın üretiminde kullanılacaktır (Ricardo, 1951: 263-265). Bu mekanizmanın çalışması yeni yatırım kararına



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

bağlıdır. Böylece, ücretlerde de herhangi bir düşüş olmayacaktır<sup>2</sup>. Bu mekanizma, kötümser beklentilerin varlığında Keynes'in analizi ile çelişecektir. Ancak Ricardo, bu analizde emeğe ilişkin görüşünü değiştirmiş<sup>3</sup>, insan emeğinin yerine makinenin ikame edilmesinin genellikle emek sınıfının çıkarlarına çok zarar verdiğiğine ikna olduğunu belirtmiştir. Bu görüşe göre emek ve makineler sürekli rekabet halinde olup makineleşmeyle birlikte emeğe olan talep azalacaktır. Makine kullanımının net ürünü artırması, kapitalistin makine kullanma güdüsü için yeterlidir. Ricardo, ülkede makine kullanımının sağlayacağı gelir engellenirse, sermayenin yurtdışına çıkacağı görüşündedir. Bu husus, emek talebi için makinelerin en yaygın şekilde kullanılmasından çok daha ciddi bir caydırıcı etkiye sahiptir. Sermayenin bir kısmının gelişmiş makinelerle yatırılması durumunda emek talebinde bir azalma olacaktır. Ancak sermaye başka bir ülkeye ihraç edildiğinde emek talebi tamamen ortadan kalkacaktır<sup>4</sup> (Ricardo, 1951: 263-271). Bu nedenle Ricardo, diğer tüm ülkeler makine kullanımını teşvik ederken, makine kullanımının reddedilmesinin avantajlı olmadığını belirtmektedir. Maltus'un görüşü ise makinelerin, ülkenin üretiminin artmasını ve fiyatların azalmasını sağlayacağı yönündedir. Ancak yine de bu fiyat düşüşü, emek tasarrufu sağlayan icatlar nedeniyle işten çıkarılan işçilerin talebindeki azalmadan dolayı nihai talebi artırmaz. Bu nedenle üretilen mallar tüketilemeyecek ve emeğe olan talepte açık bir şekilde durgunluk ortaya çıkacaktır. Maltus, makinelerin işçiler üzerinde sıklıkla olumsuz bir etkisi olacağını savunmaktadır (Feldmann, 2013; Hollander, 2019).

Marx ise makineyi maddeleşmiş emek olarak tarif etmektedir. Makinenin sağladığı verimlilik, makinenin işinden ettiği emek gücüyle ölçülecektir. Makinedeki maddeleşmiş emek, işinden ettiği emekten küçüktür. Bu nedenle emek makine biçimini alınca işçinin rakibi olmaktadır (Marx, 2018: 357-378). İşçinin alet kullanarak yaptığı iş makine ile yapılmaya başlayınca, işçi gerekli olmayan bir nüfusa dönüşmektedir. Bu emek fazlası, makineli işletmelerle eşitsiz koşullarda mücadele eden eski zanaat ve manifaktür işletmelerinde yok olmakta veya diğer sanayi kollarına kaymaktadır. Bu şekilde diğer kollar da emek fazlası ortaya çıkmakta ve ücretler emek gücünün değerinin altına düşmektedir. Bir sanayi kolunda işsiz kalan işçiler diğer birkaç sanayi kolunda iş bulabilirler ancak kendi eski işlerinin dışında buralarda çok daha düşük değerlidirler. Kaldı ki bu işçiler, ilave sermaye sayesinde iş bulurlar. Bu durum, daha önce çalıştıkları ve makine nedeniyle işten çıkarıldıkları sermayenin bir ürünü değildir (Marx, 2018: 418-425).

Keynes, 1929 ekonomik buhranının yaşandığı dönem için bir ekonomik dönemden diğerine uyum sağlamanın zorluklarını belirterek, teknik verimlilikteki artışın hızına ve emek üzerindeki

<sup>2</sup> Bu mekanizma Marx tarafından daha sonra telafi teorisi olarak adlandırılmıştır.

<sup>3</sup> Ricardo "Ekonomi Politik ve Vergilendirme İlkeleri Üzerine" eserinin üçüncü baskısına "Makineler Üzerine" başlıklı yeni bir bölüm ekleyerek bu görüş değişikliğini ifade etmektedir (Ricardo, 1951). Marx, Kapital'de bu görüş değişikliğini, Ricardo'nun bilimsel tarafsızlığının ve gerçek severliğinin bir gereği olduğunu vurgulamaktadır (Marx, 2018: 418).

<sup>4</sup> Bu açıklamaya göre, gelişmiş makinelerin kullanımı, malların üretim maliyetini ve fiyatını azaltarak dış pazarlarda daha ucuza satılabilmesini sağlamaktadır. Diğer tüm ülkeler makine kullanımını teşvik ederken bir ülkede makine kullanımı reddedilirse, malların doğal fiyatları diğer ülkelerin fiyatlarına ininceye kadar yabancı mallar karşılığında para dış dünyaya ihraç edilmek zorunda kalmaktadır (Ricardo, 1951: 263-271).



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

etkisine vurgu yapmaktadır (Keynes, 1931: 321). Ona göre, yalnızca birkaç yıl içinde<sup>5</sup> tarım, madencilik ve imalat sektöründeki işler, halihazırdaki insan emeğinin dörtte biri kadarıyla gerçekleştirilebilecektir. Keynes teknolojik işsizliği yeni bir hastalık olarak nitelendirmekte ve bu kavramın ileriki yıllarda çok daha sık duyulacağı öngörüsünde bulunmaktadır. Keynes'e göre bu işsizlik, emek tasarruf edici yeniliklerin hızının emek için yeni kullanım alanları bulma hızından yüksek olmasına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak, bunun kalıcı bir sorun olmadığına, uyumsuzluğun geçici bir aşaması olduğuna ve uzun vadede bu ekonomik sorunun çözüleceğine inanmaktadır. Keynes'in bu görüşünü, geleceğin daha yüksek gelir, tüketim artışından kaynaklanan refah ve boş zaman çağı olacağına ilişkin beklentisiyle birlikte değerlendirmek gerekir. Ona göre, gelecekte çok daha farklı bir yaşam planı oluşacak ve işçiler mevcuttakinden daha küçük iş, görev ve rutinlere sahip olmaktan fazlasıyla memnun olacaktır (Keynes, 1931: 325-327). Keynes'in bu analizi, teknolojik ilerlemeyle ortaya çıkan gelir ve buna eşlik eden talep artışının istihdamı artırması sayesinde başlangıçta ortaya çıkan teknolojik işsizliği telafi edici bir mekanizma sunmaktadır. Bununla birlikte, gelir dağılımının verimlilik kazanımlarından kopuk olması ve işgücü piyasalarının rekabetçi yapısı nedeniyle bu mekanizmanın geçerli olup olmayacağı bir diğer tartışma konusudur (Vivarelli, 2013).

Schumpeter ise yeniliklere daha farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Ona göre yenilikler kapitalizmin temel gerçeği olup bir yaratıcı yıkım süreci başlatarak ekonominin de dinamizmini sağlamaktadır. Kapitalizmi hareket halinde tutan temel dürtü, yeni tüketim mallarından, yeni üretim veya ulaşım yöntemlerinden, yeni pazarlardan, yeni endüstriyel örgütlenme biçimlerinden gelmektedir (Schumpeter, 1976). Böylece ürün ve süreç yenilik arasındaki önemli ayrımı da ortaya koymuştur (Simonetti vd., 2000). Ona göre, kapitalizmde gerçek rekabet, fiyat rekabeti değildir<sup>6</sup>. Gerçek rekabet, belirleyici bir maliyet veya kalite avantajı sağlayan yeni ürün, yeni teknoloji, yeni arz kaynağı, yeni tip organizasyon üzerinden ilerlemektedir. Uzun vadede üretimi artıran ve fiyatları düşüren de bu rekabettir. Normalüstü işsizlik, her bir "refah aşamasını" takip eden uyum dönemlerinin özelliklerinden biri olup esasen geçicidir (Schumpeter, 1976).

Solow (1956, 1957) ise teknolojiyi büyümenin temel kaynağı olarak görmektedir. Ekonomik büyümeyi devam ettirmek için yegâne faktör teknolojidir. Teknolojik ilerleme sağlanamazsa azalan verimlere bağlı olarak büyüme durağan duruma girmektedir. Teknolojik ilerlemeyle birlikte sermayenin azalan verimlere girmesi engellenmektedir. Dolayısıyla, Solow (1956, 1957) çalışmalarına dayanan Neoklasik İktisat Okulunda uzun dönemde ekonomik büyümenin devamı teknolojideki sürekli gelişmelerle sağlanmaktadır (Aguar vd., 2017; Jones, 2001). Yeni Klasik İktisadi Düşünce Okulunda ise teknoloji içsel büyüme teorileri çerçevesiyle analiz edilmekte olup Neoklasik İktisadi Düşünce Okulunda analiz dışında bırakılan teknolojik gelişmenin kaynağı araştırılmaktadır (Mankiw vd., 1995). Neoklasik ve Yeni Klasik iktisadi düşünce okullarında teknolojiye, dışsal veya içsel olmasından bağımsız olarak, ekonomik büyüme açısından hayati önem atfedilmektedir. Tam bilgi, ücret ve fiyatların esnekliği

<sup>5</sup> Keynes'in bu makalesi Haziran 1930'da Madrid'de "Torunlarımız İçin Ekonomik Olanaklar" konulu bir konferansın notlarından oluşmaktadır.

<sup>6</sup> Tam rekabetin hiçbir zaman var olmadığına/olmayacağına, olsa bile ekonomiye zarar vereceğine inanmaktadır. Tekelci uygulamalar araştırma harcamalarını kolaylaştırmakta ve yaşam standardının da yükselmesini sağlamaktadır (Schumpeter, 1976).



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

varsayımları, bu iktisadi düşünce okullarında ekonominin uzun vadede doğal işsizlik oranında dengeye gelmesiyle sonuçlanmaktadır.

Bugünü değerlendirip yarın için öngörü ortaya koyabilmek bu kuramsal yaklaşımların birlikte ele alınmasını gerektirir. Teorik yaklaşımlar birlikte ele alındığında ise nihai etki belirsizdir. Bu nedenle, teknolojik değişimin işsizlik üzerindeki nihai etkisinin ampirik olarak analiz edilmesi önem taşımaktadır.

### 3. Ampirik Literatür

Teknolojik değişimin emeği ikame edici veya tamamlayıcı boyutu, dolayısıyla istihdam üzerindeki net etkisi, ülkeden ülkeye ve zamandan zamana değişmektedir (Acemoğlu & Autor, 2011). Ampirik çalışmaların bulguları, analiz edilen veri setleri, modele dahil edilen teknoloji değişkeni veya kullanılan metodolojiye göre farklılaşmaktadır. Çalışma kapsamındaki literatür teknolojik ilerlemeyi temsil etmek üzere kullanılan değişkenler esas alınarak sunulmuştur.

Pini (1995), Kaldorian kümülatif büyüme şemasının teorik çerçevesini kullanarak 9 OECD ülkesinde istihdamın dinamiklerini 1960-1990 dönemi kapsamında ele almıştır. Çalışmanın bulguları, fiziksel sermaye birikimi yoluyla süreç yeniliğin endüstriyel istihdam üzerinde önemli olumsuz etkilerinin olduğunu göstermektedir. İşsizlikteki bozulmayı telafi edecek önemde bir ihracat büyümesinin ortaya çıkmadığı da tespit edilmiştir. Berman & Machin (2000) ise 1970-1990 yıllarının verilerini kullanarak, bilgisayar kullanımı ve Ar-Ge yoğunluğunun istihdam ve ücret etkilerini analiz etmiştir. Bulgular, 37 yüksek, orta ve düşük gelirli ülkenin imalat sanayinde vasıflı işçi talebinin arttığını göstermektedir. Orta gelirli ülkelerde artan bu talebin kaynağının beceri temelli teknoloji transferi olduğu sunucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, orta gelirli ülkelerin muhtemelen gelişmiş ülkelerle aynı beceriye ihtiyaç duyulan teknolojileri benimsemesinin bir sonucudur. Prat (2007) ise arama-eşleştirme modeli çerçevesini kullanarak içerilmemiş teknolojik ilerleme ile işsizlik arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bulgular içerilmemiş teknolojik ilerlemenin işsizlik oranını artırdığını göstermektedir.

Feldmann (2013), 1985-2009 dönemi verileriyle 21 sanayi ülkesi için yaptığı çalışmada, teknolojik değişimdeki bir artışın 3 yıl içinde işsizliği önemli ölçüde artıracak ancak uzun vadeli bir etkinin söz konusu olmadığını tespit etmiştir. Çalışmada teknolojik ilerlemenin vekil değişkeni olarak ABD, Avrupa ve Japonya patent ofislerinde (üçlü patent ailesi) aynı buluş için verilen patent sayıları kullanılmıştır. Patent sayılarının bu şekilde kullanılmasıyla, yenilik ve fikri mülkiyet açısından yüksek düzeyde uluslararası koruma analize yansıtılmış olmaktadır. Bu açıdan çalışma diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Analiz, farklı kontrol değişkenlerini içeren dokuz alternatif model kapsamında yapılmıştır. Tüm modellerde patent değişkeni %1 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olup daha yüksek nüfus başına patent sayısının daha yüksek işsizlik oranıyla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bennett (2016), 20 Avrupa ülkesi için 2008 yılı işgücü anketlerini incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, daha katı istihdam koruma mevzuatı, sadece teknolojik ilerleme düzeyi çok ileriye beceri grupları arasında işsizlik risklerini güçlendirmektedir. Daha katı istihdamı koruma mevzuatı düşük vasıflı işçiler için daha düşük işsizlik riskiyle ilişkilidir. Yüksek vasıflı işçiler için ise daha yüksek işsizlik oranlarına yol açmaktadır. İşgücünün niteliği dikkate alınarak yapılan bir diğer çalışmayı ise



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

Cords & Prettnner (2022), Avustralya, Avusturya, Almanya ve ABD ekonomileri için yapmıştır. Çalışmada, robotların emeği ikame gücünün düşük vasıflı işçilerde daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre robotların benimsenmesi, düşük vasıflı işçilerde işsizliğin artmasına ve ücretlerin düşmesine, yüksek vasıflı işçilerde ise işsizliğin azalmasına ve ücretlerin artmasına neden olmaktadır. Avusturya ve Almanya'da robotların benimsenmesi, yarattığı yüksek vasıflı iş sayısından daha az sayıda düşük vasıflı işi yok etmektedir. Ancak, Avustralya ve ABD için bu durumun tersi geçerlidir.

Aguilera & Barrera (2016), 1996-2011 dönemi için 7 Latin Amerika ülkesinde yaptıkları çalışmada, bilim ve teknolojiye yapılan yatırımın istihdamı azaltma etkisine ilişkin bir bulguya ulaşmamıştır. Bu ülkelerde teknoloji ve otomasyonun daha ileri etkileri henüz görülmemiştir. Matuzeviciute vd. (2017), 25 Avrupa ekonomisinin 2000-2012 dönemi verilerini ve sistem GMM tahmincisini kullanarak teknolojik değişimin işsizlik etkisini analiz etmişlerdir. Teknolojik değişimi temsil etmek üzere üçlü patent ailesi patent sayıları ile ARGE harcamalarını kullanmışlardır. Elde edilen bulgular, teknolojik yeniliklerin işsizlik üzerinde bir etkisi olduğunu doğrulamamıştır. Krousie (2018), 2002-2013 dönemini ve ABD'nin her bir eyaletini kapsayan çalışmasında, iki aşamalı en küçük kareler regresyonu yöntemini kullanarak teknolojik değişiminin işsizlik etkisini analiz etmiştir. Gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH), asgari ücret, eğitim harcamaları ve diğer kontrol değişkenlerinin kullanıldığı çalışmada, etki büyüklüğü küçük olmakla birlikte, teknolojik değişimin işgücünü yerinden ettiğine dair kanıtlar bulunmuştur. Walden (2018) ise Kuzey Karolina için yaptığı çalışmada, 2002-2015 döneminde istihdamı artan ve istihdamı azalan mesleklerin sayısındaki değişimi yıllık ortalama %3,5 olarak bulmuştur. Büyük durgunluk yıllarında ise bu değişim %10'a ulaşmıştır. Çalışmanın bir diğer bulgusuna göre durgunluk dönemlerinde istihdamı artan mesleklerin sayısı istihdamı azalan mesleklerin dörtte üçü kadardır.

Simonetti vd. (2000), 1965-1993 dönemi ve 4 OECD ülkesi (ABD, İtalya, Fransa ve Japonya) için teknolojinin istihdam etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları analizde, ARGE harcamaları ve patent sayıları yeniliğin bir göstergesi olarak kullanılmış olup patent sayıları ürün ve süreç yeniliklere göre gruplandırılmıştır. Patent sayılarını içeren modellerde genellikle bir kısıt olarak kabul edilen ürün ve süreç yeniliklerin birlikte bulunması sorunu, çalışmada bu şekilde aşılına çalışılmıştır. Ürün yeniliğin, teknoloji ve istihdam arasındaki ilişkide çok önemli olmadığı tespit edilmiştir. Yenilik sonucu ortaya çıkması beklenen fiyat düşüş mekanizmasının talep miktarını ve sonrasında istihdamı artırıcı etkisi ise sadece İtalya ve ABD'de ortaya çıkmıştır. Yeni yatırımlar yoluyla istihdamın artacağına ilişkin belirgin bir etki tespit edilmemiştir. Piva & Vivarelli (2018), 11 Avrupa ülkesinin 1998-2011 dönemi verileriyle yaptıkları çalışmada, sistem GMM tahmincisi kullanarak imalat ve hizmet sektörlerinde teknolojik değişimin istihdam etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, ürün yeniliğiyle ilişkilendirilen ARGE harcamalarının orta ve yüksek teknoloji sektörlerinde istihdamı artırıcı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, düşük teknoloji sektörlerinde bu yönde bir etki bulunamamıştır. Diğer yandan, süreç yenilikle ilişkili olarak analize dahil edilen brüt sermaye yatırımının istihdamı olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Du & Wei (2022), 2010-2017 dönemine ilişkin olarak Çin'in 283 ili için yaptıkları çalışmada süreç ve ürün yeniliğe ilişkin kullanılan vekil değişkenlerle teknolojik değişimin işsizlik üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sistem GMM metodolojisi kullanılarak yapılan çalışmanın bulgularına göre





Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

süreç yeniliğinin bir göstergesi olarak robotların kitlesel olarak benimsenmesi işsizlik oranını artırmaktadır. Ancak daha uzun bir sürede, işsizliği artırıcı etki tersine dönmektedir. Ürün yeniliğinin bir göstergesi olarak patent sayıları ve işsizlik arasında ise zayıf ve kalıcı olmayan ilişki tespit edilmiştir. Lydeka & Karaliute (2021), 1992-2016 dönemini içeren veri setiyle, 28 Avrupa Birliği ülkesi için, teknolojik yeniliklerin işsizlik oranı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmada teknolojik yeniliği temsil etmeye ARGE harcamaları ve patent başvuru sayısı kullanılmış olup metodoloji olarak da iki aşamalı sistem GMM tahmincisi benimsenmiştir. ARGE harcamaları ürün yenilik, patent başvuruları ise süreç yeniliği temsil etmeye kullanılmıştır. GSYH, doğrudan yabancı yatırım, tüketici fiyat endeksi, gayrisafi sabit sermaye oluşumu, ithalat ve ihracat analizde kullanılan diğer önemli kontrol değişkenleridir. Çalışmada, AR-GE ve patent değişkenlerinin işsizlik üzerindeki etkisi 2 model dışında istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla, işsizlik üzerinde, süreç yeniliklerin pozitif ve ürün yeniliklerin negatif etkisi olduğuna ilişkin kurulan hipotezler reddedilmiştir. Çalışmadaki bir diğer bulguya göre, gayrisafi sabit sermaye oluşumunun işsizlik üzerindeki etkisi negatiftir. Bu çalışmalar ürün ve süreç yeniliğini ayırıştırma çabası açısından literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

Konuya farklı bakış açılarıyla yaklaşan bir diğer grup çalışmada ise teknoloji ve işsizlik arasındaki ilişki, yeşil dönüşüm ve toplumsal cinsiyet gibi değişkenler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Focacci (2021), robotların artan kullanımını ve teknolojik işsizliği yeşil dönüşüm ile birlikte ele almıştır. Teknolojik işsizlik, 2008-2018 dönemi verileriyle Çin ve Güney Kore örneğinde, endüstriyel robot kullanımı, CO2 emisyonları ve yenilenebilir enerji tüketimi dikkate alınarak analiz edilmiştir. Diferansiyel denklemlere dayalı bir rekabet modeli çerçevesinde robotların işsizliği her zaman artırmadığı gösterilmiştir. Ayrıca çalışmanın bulguları işsizlik ve sürdürülebilir enerji kullanımı arasındaki ilişkinin zaman içinde değiştiğini göstermektedir. Görkey (2022) ise teknolojik değişim ve işsizlik arasındaki ilişkiye toplumsal cinsiyet perspektifiyle yaklaşmıştır. 1985-2019 dönemi ve 20 OECD ekonomisini konu edinen çalışmada teknolojik değişimin vekil değişkeni olarak çok faktörlü verimlilik kullanılmıştır. Uzun dönemde verimlilik ile tüm panel ve erkek işsizliği arasında anlamlı ve negatif bir ilişki söz konusudur. Kadın işsizliğine ilişkin olarak tüm panel için anlamlı bir etki tespit edilememiştir. Ancak, ülke özelinde kadınlar için teknolojik işsizliğin bulunduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışmanın bulgularına göre uzun dönemli verimlilik ve işsizlik ilişkisi cinsiyet farklılıklarından etkilenmektedir.

Irandoost (2023), dokuz Avrupa ülkesinde teknolojik şokların işsizlik üzerinde ne ölçüde asimetric bir etkiye sahip olduğunu incelemektedir. Çalışmada, teknoloji ve yeniliği temsilen çok faktörlü verimlilik artışı kullanılmış olup pozitif ve negatif teknoloji şokları birbirinden ayırıştırılmıştır. Teknolojik değişikliklerin işsizlik üzerinde asimetric etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın bulguları, teknolojik ilerlemenin dört ülkede yaratıcı yıkım, beş ülkede ise yaratıcı yaratım ile sonuçlandığını göstermektedir. Ayrıca çalışmanın bir diğer bulgusuna göre teknolojik şoklardan en olumsuz etkilenen grup kadınlardır. Crowley & Hudgins (2023), ABD'nin 1948-2020 dönemi verilerini ve zaman frekansı metodolojisini kullanarak işsizlik oranı ve verimlilik arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları, işsizlik oranının verimlilik artışlarıyla kısa vadede pozitif, daha uzun aralıklarda ise negatif ilişkili olduğunu göstermektedir. Shen (2024), Çin'in 30 eyaleti için 2006-2022 dönemi verilerini kullanarak

yapay zekanın imalat sanayi istihdamı üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışmada endüstriyel robotların kurulum yoğunluğu (endüstrilerde kurulu robot sayısı) yapay zekanın vekil değişkenidir. Analiz sonuçları, yapay zekâ teknolojisinin piyasadaki toplam iş sayısının artmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yapay zekanın, işgücü verimliliği, uzmanlaşma ve sermaye derinleşmesi yoluyla, robotların istihdam üzerindeki olumsuz etkisini dengelediği sonucuna ulaşılmıştır. Daha güçlü dijital altyapıya sahip bölgeler, daha güçlü iş yaratma etkileri göstermektedir.

Literatürdeki ampirik çalışmalar değerlendirildiğinde, çalışmaların bir bölümünde süreç veya ürün yeniliğe ilişkin herhangi bir ayırım yapılmadan teknolojiyi temsil etme kabiliyetine sahip değişkenler çerçevesinde analizlerin yapıldığı görülmektedir. Diğer bir kısım çalışmada ise süreç ve ürün yenilik ayrıştırılarak analize devam edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ürün ve süreç yenilik ayrımı dikkate alınarak analizlerin yapılması yöntemi benimsenmiştir. Ürün yenilik, ekonomik karmaşıklık endeksi ve toplam patent sayıları değişkenleri kullanılarak modele dahil edilmiştir. Çalışma, ekonomik karmaşıklık endeksini kullanarak teknoloji ve işsizlik ilişkisini araştırması bakımından literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Süreç yenilik ise gayrisafi sabit sermaye oluşumuyla analize dahil edilmiştir.

#### 4. Metodoloji

Çalışma kapsamında işsizlik oranının geçmiş değerinin gelecek değerini etkilemesi eğiliminden hareket edilerek dinamik bir panel model çerçevesinde analizler yapılmıştır. Model, Blundell & Bond (1998) tarafından geliştirilen iki aşamalı sistem Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (2SGMM) kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu tahminci zaman boyutu birim boyutundan küçük olan panel veri setleri için uygundur. GMM tahmincisi ile bağımlı değişkenin geçmiş değerlerini içeren dinamik modellerde ve bağımsız değişkenlerin katı dışsal olmadığı yani hata teriminin geçmiş ve muhtemel bugünkü değerleriyle korele olduğu durumlarda etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca tahminci, gözlemlenemeyen ülkeye özgü-sabit etkilerin varlığı ve birim içi değişen varyans ile otokorelasyonun olması durumlarıyla da başa çıkmaktadır (Roodman, 2009). Modelin indirgenmiş formu Denklem 1'de yer almaktadır.

$$y_{it} = \lambda y_{it-1} + \beta x_{it} + \gamma z_{it} + \eta_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$u_{it} = \eta_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\eta_i \square IID(0, \sigma_\eta^2), \varepsilon_{it} \square IID(0, \sigma_\varepsilon^2), E[\eta_i \varepsilon_{it}] = 0$$

$y_{it}$  bağımlı değişken,  $y_{it-1}$  gecikmeli bağımlı değişken,  $x_{it}$  açıklayıcı değişken vektörü,  $z_{it}$  kontrol değişkeni vektörü ve  $u_{it}$  hata terimidir.  $u_{it}$ ,  $\varepsilon_{it}$  rastgele hata teriminin ve  $\eta_{it}$  gözlemlenemeyen ülkeye özgü etkilerin toplamıdır (Konstantakopoulou, 2022). Arellano & Bond (1991),  $\eta_{it}$ , yani  $y_{it-1}$  ile korele olan sabit etkileri, Denklem 2'nin birinci fark dönüşümü yoluyla ortadan kaldırmıştır. Birinci fark işlemi, farkı alınan hata terimi gecikmeli bağımlı değişkenle ilişkilendirilebileceği için yeni bir yanlılığa neden olmaktadır. Blundell & Bond (1998), eğer  $y$  rassal yürüyüşe yakınsa, o zaman fark GMM tahmincisinin kötü performansa

sahip olacağını, dolayısıyla dönüştürülmemiş gecikmelerin dönüştürülmüş değişkenler için zayıf araçlar olacağını göstermiştir. Bu durumda, Blundell & Bond (1998), sistem GMM tahmincisini önermiştir. Sistem GMM tahmincisinde iki denklem kullanılmaktadır. İlki açıklayıcı değişkenlerin gecikmeli düzeyleri tarafından belirlendiği birinci fark denklemdir. Diğeri ise değişkenlerin kendi gecikmeli birinci farkları tarafından belirlenen düzey denklemdir. Farklardaki değişkenler kendi düzeylerinin gecikmeleriyle, düzeydeki değişkenler ise kendi farklarının gecikmeleriyle ölçülerek sistem tahmincisi çözülmektedir (Roodman, 2009)<sup>7</sup>.

## 5. Veri Seti ve Model

Analiz 91 ülkeyi ve 1995-2021 dönemini içermektedir. Modeldeki açıklanan değişken işsizlik oranı ( $ur$ ); açıklayıcı değişkenler ise GSYH büyümesi ( $g$ ), brüt sabit sermaye oluşumunun GSYH içindeki payı ( $gfcf$ ), patent sayısı ( $tp$ ), ekonomik karmaşıklık endeksi ( $eci$ ), GSYH deflatörü olarak ölçülen enflasyon oranı ( $p$ ) ve aylık ortalama ücret ( $w$ ) olarak tanımlanmıştır. Değişkenler teorik ve ampirik literatür takip edilerek belirlenmiş olup Tablo 1'de sunulmaktadır.

**Tablo 1: Değişkenler**

Değişken	Tanım	Birim	Kaynak
$ur$	İşsizlik Oranı	% Oran	Dünya Kalkınma Göstergeleri Veri Tabanı-WDI
$gfcf$	Gayrisafi Sabit Sermaye Oluşumu	% GSYH Payı	Dünya Kalkınma Göstergeleri Veri Tabanı-WDI
$g$	GSYH Büyümesi	%-Yıllık	Dünya Kalkınma Göstergeleri Veri Tabanı-WDI
$p$	Enflasyon-GSYH Deflatörü	% Değişim-Yıllık	Dünya Kalkınma Göstergeleri Veri Tabanı-WDI
$w$	Ortalama Aylık Ücret	ABD Doları	ILO Ücret İstatistikleri-ILOSTAT
$tp$	Patent Sayısı	Onaylanan Patent Sayısı	Dünya Fikri Mülkiyet İstatistikleri-WIPO
$eci$	Ekonomik Karmaşıklık Endeksi	Endeks Değeri	Harvard Üniversitesi- Growth Lab

Dünya Bankası Kalkınma Göstergeleri veri tabanından elde edilen işsizlik oranı verisi, işsiz olup iş arayan ve çalışmaya hazır olan işgücü payını ifade etmektedir. Gayrisafi sabit sermaye oluşumu tesis, makine ve ekipman alımlarını, arazi iyileştirmelerini, ticari ve endüstriyel binaların ve yolların, ofislerin, özel konutların vb. inşasını içermektedir (WDI, 2024). GSYH büyümesi ülkelerin ABD doları cinsinden 2015 yılı sabit fiyatlarıyla ifade edilen GSYH verisine dayanmaktadır. Enflasyon verisi, bir bütün olarak ekonomideki fiyat değişimini içermesi bakımından GSYH deflatörünün yıllık büyüme oranı cinsinden analize dahil edilmiştir. Ortalama aylık ücret verisi ILO istatistik veri tabanından elde edilmiş olup ekonomik faaliyet gruplarına göre çalışanların kazançlarının aylık ortalamasını göstermektedir. Patent sayısı

<sup>7</sup> Ayrıntılı denklemler ve ilgili tanı testleri için bakınız: Roodman (2009)

Dünya Fikri Mülkiyet İstatistiklerinden elde edilmiştir. İstihdamla daha yakın ilişkili olduğu değerlendirildiği için tüm patent başvuruları değil yalnızca patent ofisleri tarafından onaylanan patentler dikkate alınmıştır. Yine, istihdamla bağlantısının daha güçlü olduğu değerlendirildiği için patent başvurusu yapanın ikamet ettiği ülke değil, başvurunun yapıldığı patent ofisinin bulunduğu ülke dikkate alınarak patent sayıları derlenmiştir. Analizde kullanılan bir diğer değişken olan ekonomik karmaşıklık endeksi ise ülkenin ürettiği ihrac ürünlerinin çeşitliliğine, yaygınlığına ve bunları üretebilen ülke sayısına dayalı olarak hesaplanmaktadır. Bu endeks, ihrac sepetinin ne kadar çeşitli ve karmaşık olduğuna bağlı olarak hesaplandığı için ülkenin sofistike ürün üretebilme kapasitesini de temsil etmektedir (Harvard Growth Lab, 2024).

Çalışma kapsamında teknolojik ilerlemenin işsizlik üzerindeki etkisi araştırılmakta olup teknolojik ilerleme ürün ve süreç yeniliği temsil edecek vekil değişkenler aracılığıyla analize dahil edilmektedir. Ampirik literatürde ürün, süreç veya her ikisi için patent sayıları ve ARGE harcamaları sıklıkla kullanılmaktadır. ARGE faaliyetleri ürün veya süreç yenilikle sonuçlanması durumunda, bu sektörün kendisi dışındaki diğer sektörlerde net istihdam etkilerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Patent sayıları ise başvuru sahibine yasal olarak sağlanan hakları takiben yatırım ve istihdam faaliyetleriyle sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla ARGE harcamaları teknolojik ilerlemeyle sonuçlanmayabilmektedir. Ayrıca patent sayılarının ise istihdamı gecikmeli bir şekilde etkilemesi muhtemel gözükmektedir. Bu nedenle, çalışmada ürün yeniliği temsil etmek üzere farklı alternatif modeller çerçevesinde ekonomik karmaşıklık endeksi ve toplam patent sayıları kullanılmıştır. Süreç yenilik, yeni sabit sermaye yatırımlarına dahil edilen somutlaştırılmış süreçlerle ortaya çıktığı için gayrisafi sabit sermaye oluşumuyla analize dahil edilmiştir. Analizde, tüm değişkenler doğal logaritmik formlarına dönüştürülmüş şekilde reel olarak kullanılmıştır. Verilerdeki yıllık sapmalardan kaynaklı etkileri netleştirmek amacıyla tüm değişkenler, 1995 ila 2021 arasındaki 5'er yıllık dönemler üzerinden ortalaması alınarak analize dahil edilmiştir. Bu prosedür ekonomik büyüme literatüründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Caselli vd., 1996; Islam, 1995). Ayrıca bu yöntem, birim boyutunun zaman boyutundan büyük olmasına imkân verdiği için GMM tahmincisinin kullanılabilmesine de olanak sağlamıştır.  $t$  zaman boyutunu ve  $i$  91 ülkeyi temsil etmekte üzere, çalışmada tahmin edilen modellerin temel formları şöyledir:

$$\ln(ur)_{it} = \alpha + \lambda \ln(ur)_{it-1} + \beta_1 \ln(g)_{it} + \beta_2 \ln(gfcf)_{it} + \beta_2 \ln(gfcf)_{it-1} \quad (3)$$

$$+ \beta_3 \ln(p)_{it} + \beta_4 \ln(w)_{it} + \beta_5 \ln(eci)_{it} + \gamma' T + u_{it}$$

$$\ln(ur)_{it} = \alpha + \lambda \ln(ur)_{it-1} + \beta_1 \ln(g)_{it} + \beta_2 \ln(gfcf)_{it} + \beta_2 \ln(gfcf)_{it-1} \quad (4)$$

$$+ \beta_3 \ln(p)_{it} + \beta_4 \ln(w)_{it} + \beta_5 \ln(tp)_{it} + \beta_5 \ln(tp)_{it-1} + \gamma' T + u_{it}$$

$$u_{it} = \varepsilon_{it} + \eta_{it} \quad (5)$$

Parametreler iki aşamalı sistem GMM tahmincisi ile tahmin edilmiştir. Denklem 1 ve Denklem 2 arasındaki temel fark ürün yeniliği temsilen kullanılan değişkenlerden kaynaklanmaktadır. Denklem 1'de ekonomik karmaşıklık endeksi, Denklem 2'de toplam patent sayısı ürün yenilik olarak kullanılmıştır. Denklemlerde yer alan  $u_{it}$  hata terimi olup rastgele hata terimi  $\varepsilon_{it}$  ve

$\ln(ur)_{it-1}$  ile korele olan sabit etkilerin toplamından oluşmaktadır.  $T$  ise zaman kukla değişken setini göstermektedir.

Çalışma kapsamındaki analiz, gayrisafi sabit sermaye oluşumu ( $gfcf$ ) ve toplam patent sayısının ( $tp$ ) gecikmeli değişkenlerinin modele dahil edilip edilmemesine göre farklılaşan 4 temel alternatifi içermektedir.  $\lambda$  ve  $\beta_1$  katsayılarının teorik olarak pozitif değer alması beklenmektedir. Diğer katsayıların farklı kuramsal yaklaşımlar çerçevesinde pozitif veya negatif değerler alması mümkündür.

## 6. Ampirik Bulgular

Teknolojinin istihdam üzerindeki nihai etkisini analiz etmek amacıyla kurulan modele dahil edilen değişkenlere ilişkin en iyi ve en kötü performans sergileyen 15 ülke Tablo 2’de yer almaktadır. Tablo analiz döneminin en güncel yılı olan 2021 yılına ilişkin verileri kapsamakta olup ilgili değişkenlere ilişkin en iyi performans gösteren ülkeler birinci sırada yer almaktadır. En alt sırada yer alan ülkeler ise ilgili değişken bakımından en kötü performansı göstermişlerdir.

**Tablo 2: Temel İstatistikler (2021 Yılı)**

Sıra	$ur$	$g$	$gfcf$	$P$	$w$	$eci$	$tp$
1	Katar	Panama	Çin	Japonya	Belçika	Japonya	Çin
2	Kamboçya	İrlanda	Tanzanya	Birleşik Kral.	Norveç	İsviçre	ABD
3	Moldova	Moldova	Cezayir	İrlanda	Hollanda	Güney Kore	Japonya
4	Tayland	Hırvatistan	Özbekistan	İsviçre	Finlandiya	Almanya	Kore
5	Guatemala	Peru	G. Kore	İtalya	Almanya	Singapur	Hindistan
6	Çekya	Honduras	Bangladeş	Kamboçya	İrlanda	Çekya	Brezilya
7	Japonya	Dominik	Dominik	Fransa	Avusturya	Avusturya	Rusça
8	Polonya	Şili	Endonezya	Yunanistan	ABD	Birleşik Kral.	Kanada
9	Filipinler	Türkiye	Hindistan	Hırvatistan	Fransa	Slovenya	Almanya
10	Almanya	El Salvador	Estonya	Tayland	Avustralya	İsveç	Avustralya
11	Güney Kore	Kolombiya	Türkiye	Portekiz	Y. Zelanda	Macaristan	Fransa
12	Yeni Zelanda	Arjantin	Macaristan	Panama	Kanada	Slovakya	Birleşik Kral.
13	Endonezya	Gürcistan	İran	Avusturya	İtalya	İrlanda	Meksika
14	Meksika	Nikaragua	Moğolistan	İsrail	Birleşik Kral.	ABD	İtalya
15	Macaristan	Kıbrıs	İsviçre	Ürdün	Singapur	Finlandiya	Malezya
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
77	İtalya	Sri Lanka	Arjantin	Özbekistan	Peru	Kazakistan	El Salvador
78	Ukrayna	Ukrayna	Uruguay	Kazakistan	Paraguay	Honduras	K. Makedonya
79	Ermenistan	Mauritius	Kosta Rika	S. Arabistan	Meksika	Ermenistan	İrlanda
80	Panama	Cezayir	Polonya	Moğolistan	Guatemala	Avustralya	Kırgızistan
81	Türkiye	Malezya	Bolivya	Cezayir	Dominik	Pakistan	Guatemala
82	Fas	Mısır	Bulgaristan	Kırgızistan	Kolombiya	Cezayir	Paraguay
83	Brezilya	Almanya	Azerbaycan	Rusya	Filipinler	Bangladeş	Tanzanya
84	Kolombiya	Kamboçya	Guatemala	Norveç	Özbekistan	Peru	Ermenistan
85	Yunanistan	Finlandiya	Tunus	Azerbaycan	Kamboçya	Tanzanya	Ekvador

Sıra	$ur$	$g$	$gfcf$	$p$	$w$	$eci$	$tp$
86	İspanya	Japonya	Yunanistan	Katar	Ermenistan	Nikaragua	Estonya
87	Bosna-Hersek	Avustralya	Mısır	Ukrayna	Hindistan	Bolivya	Hırvatistan
88	Kosta Rika	Moğolistan	Ukrayna	Türkiye	Sri Lanka	Azerbaycan	Jamaika
89	K. Makedonya	Katar	Güney Afrika	Arjantin	Mısır	Küba	Bosna-Hersek
90	Ürdün	Tayland	Pakistan	İran	Endonezya	Ekvador	Mauritius
91	Güney Afrika	Küba	Küba	Küba	Pakistan	Moğolistan	Bolivya

**Not:** Veri seti dengesiz panel yapısındadır. Tablo, ilgili değişkene ilişkin verisi bulunan ülkeler dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Analiz edilen ülkeler ve 2021 yılı kapsamında, işsizlik oranı ( $ur$ ) en yüksek olan ülke Güney Afrika olup en düşük olan ülke ise Katar'dır. Süreç yeniliğinin vekil değişkeni olarak modele dahil edilen gayrisafi sabit sermaye oluşumunun GSYH içindeki payı ( $gfcf$ ) en yüksek olan ülke Çin, en düşük olan ülke ise Küba'dır. Ürün yeniliğinin vekil değişkeni olarak analizde yer alan ekonomik karmaşıklık endeksi ( $eci$ ) açısından en yüksek performans gösteren ülke Japonya olup bu ülkeyi İsviçre takip etmektedir. Benzer şekilde, toplam patent sayısı açısından Çin en iyi performansa sahiptir. Bu ülkeyi sırasıyla ABD ve Japonya takip etmektedir. Tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 3'te rapor edilmiştir.

**Tablo 3: Özet İstatistikler**

Değişken	Birim	Gözlem	Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Minimum	Maksimum
$ur$	%	2.215	8,2	5,5	0,7	0,04	38,8
$g$	%	2.417	3,5	4,5	1,3	- 17,7	89,0
$gfcf$	%	2.344	22,9	5,7	0,3	4,0	57,7
$p$	%	2.417	7,7	28,2	3,6	- 27,6	913,2
$w$	US Dolar	1.513	1.238,0	1.416,0	1,1	14,2	7.976,9
$eci$	Endeks	2.430	0,4	0,9	2,3	- 1,9	2,9
$tp$	Adet	2.111	10.691,1	44.667,9	4,2	1,0	695.946,0

İşsizlik oranı analiz edilen ülke ve dönem kapsamında ortalama %8,2 olarak gerçekleşmiş ve %0,04 ile %38,8 aralığında değişen değerler almıştır. Gayrisafi sabit sermaye oluşumunun GSYH içindeki payı ortalama %22,9, patent sayısı ortalama 10.691 adettir. Analiz döneminde değişim katsayısı en yüksek değişken patent sayısıdır. Gayrisafi sabit sermaye oluşumunun GSYH içindeki payı ise en düşük değişim katsayısı değeriyle tüm değişkenler arasında daha homojen bir dağılım sergilemiştir. Patent sayısı ise tersi bir durum göstererek ortalama etrafında en geniş yayılıma sahip değişken olmuştur. Modelde yer alan değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisi analiz edilmiş olup sonuçlar, açıklayıcı değişkenler arasında önemli bir çoklu bağlantıya işaret etmemektedir (Ek 1). Bununla birlikte regresyon sonuçları dikkate alınarak ayrıca VIF değerleri de hesaplanmıştır (Tablo 4).

İşe alma ve işten çıkarma maliyetleri, istihdamın ücret, çıktı ve sermaye gibi faktörlerdeki değişimlere gecikmeli uyum sağlaması ile sonuçlanmaktadır (Roodman, 2009). Sabit sermaye

yatırımları toplam harcamalar kanalıyla cari dönemde istihdamı etkilese de, tesis, makine ve ekipman alımları, ticari ve endüstriyel binaların yapımı gibi sabit sermaye yatırımlarına istihdamın uyumu gecikmeli olarak devam etmektedir. Benzer şekilde ilgili fikri mülkiyet haklarının elde edilmesini takiben istihdamın patent sayılarına da gecikmeli bir uyumu beklenir. Bu uyum süreci, açıklayıcı değişkenlerin gecikmeli versiyonlarının ve bağımlı değişkenin gecikmelerinin modele dahil edilmesiyle analize yansıtılmaktadır. İşsizlik oranının geçmiş değerinin gelecek değerini etkilemesinden ve istihdamın bazı açıklayıcı değişkenlere gecikmeli uyum sağlamasından hareketle dinamik panel model çerçevesinde analizler yapılmış olup iki aşamalı sistem GMM bulguları Tablo 4'te sunulmaktadır.

**Tablo 4. İki Aşamalı Sistem GMM Sonuçları**

Değişkenler	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4
<i>L.ln ur</i>	0,923*** (0,147)	0,913*** (0,134)	0,830*** (0,0849)	0,789*** (0,0928)
<i>ln g</i>	-0,121** (0,0554)	-0,0859** (0,0420)	-0,0769** (0,0370)	-0,0815** (0,0387)
<i>ln gfcf</i>	0,320** (0,138)	-0,502*** (0,158)	-0,697*** (0,142)	-0,682*** (0,133)
<i>L.ln gfcf</i>		0,621*** (0,152)	0,765*** (0,153)	0,656*** (0,152)
<i>ln p</i>	-0,0841*** (0,0305)	-0,0830*** (0,0278)	-0,0346 (0,0271)	-0,0483* (0,0279)
<i>ln w</i>	-0,0121 (0,0203)	-0,0152 (0,0163)	-0,0247 (0,0149)	-0,0253 (0,0160)
<i>ln eci</i>	-0,0845** (0,0379)	-0,0696* (0,0359)		
<i>ln tp</i>			0,00199 (0,00775)	0,0499 (0,0306)
<i>L.ln tp</i>				-0,0557* (0,0318)
Sabit	-0,518 (0,571)	0,0796 (0,529)	0,335 (0,424)	0,714 (0,483)
Gözlem Sayısı	306	306	288	279
Grup Sayısı	84	84	83	81
Araç Sayısı	15	16	16	17
Sargan Test [P Değeri]	5,35 [0,253]	4,48 [0,346]	4,77 [0,312]	8,09 [0,088]
Hansen Test [P Değeri]	6,29 [0,178]	5,46 [0,244]	4,55 [0,337]	7,05 [0,133]
AR (1) [P Değeri]	-3,07 [0,002]	-2,75 [0,006]	-2,45 [0,014]	-2,38 [0,017]
AR (2)	-0,49	0,01	0,08	-0,00



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

Değişkenler	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4
[P Değeri]	[0,626]	[0,993]	[0,936]	[0,999]
F Test İstatistiği	1194,86	952,80	944,42	829,06
[P Değeri]	[0,000]	[0,000]	[0,000]	[0,000]
VIF	1,74	1,96	1,90	4,66

**Not:** “L.” değişkenlerin gecikmeli değerlerini göstermektedir. Parantez içindeki değerler robust standart hataları göstermektedir. \*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$ . Tüm modellerde zaman kukla değişken kullanılmış olup tahminler raporlanmamıştır. Hansen ve Sargan testi için  $H_0$  hipotezi, “ $H_0$ : Aşırı kısıtlamalar geçerlidir” şeklindedir. Tüm GMM tahminlerinde robust standart hatalar hesaplanmıştır. AR(1)-birinci dereceden otokorelasyon ve AR(2)-birinci farklarda ikinci dereceden otokorelasyon için Arellano Bond testinin test istatistiğidir. Tüm değişkenler 1995 ila 2021 arasındaki 5’er yıllık dönemler üzerinden ortalaması alınarak analize dahil edilmiştir.

Analiz 4 temel modelden oluşmaktadır. Tüm modellerde işsizlik oranı modelin bağımlı değişkeni olup modeller işsizlik oranının kalıcılığı dikkate alınarak yani gecikmeli bağımlı değişken ( $L.\ln ur$ ) analize dahil edilerek içsel bir şekilde kurgulanmıştır. Yine tüm modellerde diğer açıklayıcı değişkenler dışsal olarak modele dahil edilmiştir. Model 1 ve Model 2’de ürün yeniliği temsil etmek üzere  $eci$  değişkeni kullanılmış olup süreç yenilik  $gfcf$  değişkeni ile analizde yer almıştır. Süreç yeniliği temsil eden sabit sermaye oluşumuna istihdamın ve işsizliğin gecikmeli uyum sağlayacağı varsayımıyla Model 2’de,  $gfcf$  değişkeninin bir dönem gecikmesi olan  $L.\ln gfcf$  de açıklayıcı değişken olarak yer almaktadır. Model 3 ve Model 4’te ürün yenilik toplam patent sayısı değişkeni ile temsil edilmektedir. Patent ile sağlanan hakların yatırım ve istihdamla somutlaşmasının belli bir zaman gerektirmesi dikkate alınarak toplam patent sayısının bir dönem gecikmesi olan  $L.\ln tp$  değişkeni de Model 4’e dahil edilmiştir. Dolayısıyla, Model 3 ile Model 4 arasındaki farklılık da  $L.\ln tp$  değişkeninden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Roodman (2009) takip edilerek, hata teriminden zamanla ilişkili genel şokları uzaklaştırmak için, tüm modellere zaman kuklalar eklenmiştir<sup>8</sup>.

F test istatistikleri modellerin genel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Sargan ve Hansen testi sonuçlarına göre  $H_0$  hipotezi reddedilememektedir. Bu nedenle modeldeki aşırı kısıtlamalar geçerlidir. Yani modele dahil edilen araç değişkenler uygundur. Tüm modellerde, olması gerektiği şekilde, araç sayısı birim sayısından düşüktür. AR(2), Arellano Bond test istatistiği ikinci dereceden seri korelasyon olmadığını göstermektedir. Bu tanısal testler, iki aşamalı sistem GMM’den elde edilen tahminlerin güvenilir olduğunu göstermektedir. Alternatif modeller ise birbiriyle tutarlıdır.

Tüm modellerde gecikmeli bağımlı değişken anlamlı ve katsayısı 1’in altındadır. Sürecin dengeye yakınsaması açısından bu değer 1’in altında olması önemlidir. Bond (2002), bunun teorik olarak önemli bir kontrol olduğunu belirtmektedir. Gecikmeli işsizlik oranının katsayısının pozitif ve anlamlı olması işsizliğin kalıcılığını doğrulamaktadır.

Süreç yeniliği temsil eden gayrisafi sabit sermaye oluşumunun GSYH payı ( $gfcf$ ) Model 1 dışında negatif ve anlamlıdır. Bu değişkenin gecikmesinin de dahil edildiği Model 2, Model 3

<sup>8</sup> Otokorelasyon testi ve katsayı standart hatalarının robust tahminlerinde, birimler arasında korelasyon olmadığı varsayılmaktadır. Zaman kuklalarıyla bu varsayımın geçerli olma ihtimali yükselmektedir (Roodman, 2009).





Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

ve Model 4 sonuçlarına göre, gayrisafi sabit sermaye oluşumunun GSYH payı arttıkça ilk dönemde işsizlik azalmaktadır. Takip eden dönemde ise işsizlik artmaktadır. Bu sonucun, sabit sermaye yatırımına dahil edilen somutlaştırılmış süreç yeniliğinin bir yansıması olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, süreç yeniliğinin emek tasarruf edici niteliğine de işaret etmektedir. Daha spesifik olarak, *gfcf* 'deki %1'lik artış, işsizlik oranını bu değişkenin gecikmelerinin dahil olduğu alternatif modellerde %0,50 ile %0,69 arasında azaltmaktadır. *gfcf* değişkeninin bir dönem gecikmesindeki %1'lik artış ise işsizlik oranını %0,62 ile %0,77 arasında artırmaktadır. Çalışmanın bu bulgusu Crowley & Hudgins (2023), Du & Wei (2022), Krousie (2018), Lydeka & Karaliute (2021), Pini (1995) ve Piva & Vivarelli (2018) çalışmalarıyla tutarlıdır.

Ürün yeniliğinin bir ölçüsü olarak modele dahil edilen ekonomik karmaşıklık endeksi (*eci*), üretilen ve piyasaya sürülen ihraç mallarını içerdiği için çıktı değişimini doğrudan göstermektedir. Bu nedenle de patent sayısına kıyasla yeniliği ölçmenin daha doğrudan bir yöntemi gibi durmaktadır. Gerek Model 1 gerekse Model 2'de *eci* 'deki bir artış anlamlı bir şekilde işsizlikteki azalmayla ilişkilidir. *eci* 'deki %1'lik artış, işsizlik oranını alternatif modellere göre %0,07 ile %0,09 arasında azaltmaktadır. Bu bulgu Piva & Vivarelli (2018) çalışması bulgularıyla benzer eğilimdedir.

Model 3 ve Model 4'te ise ürün yeniliğinin bir ölçüsü olarak patent sayıları (*tp*) analize dahil edilmiştir. *eci* değişkeninin aksine patent sayılarıyla yeni bir mal veya hizmetin üretilmesi ve piyasaya sürülmesi arasında belirli bir zaman gecikmesi olması olasıdır. Ayrıca patent sayıları, daha çok ürün yenilikle ilgili gibi görülse de süreç yeniliği de yansıtabilmektedir. Bu nedenle, *eci* değişkeninde olduğu kadar yönü net değildir. Model 3'te, bu değişkenin işsizlik üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Model 4'te, bir dönem gecikmesi dikkate alınarak  $L \cdot \ln tp$  değişkeni de analize dahil edilmiştir. Bu durumda da patent sayıları ile işsizlik arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Ancak ikinci dönemde patent sayılarındaki artışın azalan işsizlik oranlarıyla ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Patent sayılarındaki artış, gecikmeli olarak azalan işsizlikle ilişkilidir. Bu bulgu, Du & Wei (2022), Lydeka & Karaliute (2021), Matuzeviciute vd. (2017) ve Simonetti vd. (2000) çalışmalarının bulgularıyla tutarlıdır.

GSYH büyüme oranı değişkenine ilişkin katsayı teorik olarak beklendiği gibi işsizlikle negatif ilişkili ve anlamlıdır. *g* 'deki %1'lik artış, işsizlik oranını alternatif modellere göre %0,08 ile %0,12 arasında azaltmaktadır. Enflasyon oranına ilişkin katsayı tahmini Model 3 dışında işsizlik oranı ile enflasyon arasında negatif ilişkiye işaret etmekte olup Philips Eğrisine ilişkin kuramsal çerçeveyi doğrulamaktadır. Enflasyon değişkeni ile karşılaştırıldığında, büyümenin işsizlik üzerindeki negatif ve anlamlı etkisi daha büyüktür. Ücret değişkenine ilişkin olarak ise herhangi bir modelde işsizlik üzerinde anlamlı bir etki tespit edilememiştir.

## 7. Sonuç

Çalışmada, 1995-2021 dönemine ilişkin olarak 91 ülkenin 5'er yıllık ortalamalarını içeren panel verileriyle teknolojik ilerleme ve işsizlik arasındaki ilişki iki aşamalı sistem GMM tahmincisi kullanılarak analiz edilmiştir. İşsizlik oranının geçmiş değerinin gelecek değerini etkilemesi eğiliminden hareket edilerek dinamik bir panel model çerçevesinde analizler yapılmıştır.



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

Çalışmanın bulguları işsizliğin kalıcılığını doğrulamaktadır. Bu durum işgücü piyasasındaki herhangi bir bozulmanın gelecek dönemlere de yayılacağını göstermektedir. İşgücü piyasası açısından katılıklara neden olan yasal düzenlemeler, işe alma veya işten çıkarma maliyetlerini yükselterek işsizliğin kalıcı hale gelmesiyle sonuçlanabilmektedir. Şöyle ki, işgücü piyasasında işi, işçiyi veya istihdamı korumak amacıyla yapılan yasal düzenlemeler amaçlananın tam tersi bir duruma da neden olabilmektedir. Diğer yandan, esnek çalışma modellerinin yaygınlaşması, uzaktan çalışma veya proje bazlı çalışma gibi uygulamalar istihdamın desteklenmesi için gündemde olan stratejiler olsa da, bu modellerin güvencesiz bir şekilde kurgulanması durumunda farklı sosyoekonomik sorunların ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Çalışmanın bir diğer bulgusu ise sabit sermaye yatırıma dahil edilen somutlaştırılmış süreç yeniliğinin emek tasarruf edici niteliğine işaret etmektedir. Bu durum bir yandan süreç yeniliğinin emek tasarruf edici doğasından, diğer yandan da yeni üretim sürecinin gerektirdiği işgücü niteliklerine uyum sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Üretim süreçleri sabit sermaye yatırımlarıyla dönüşürken, işgücünün de bu dönüşüme hazır olması önemlidir. Bu ise değişen dünyada informel veya işbaşı eğitimin önemini artırmaktadır. Teknoloji hızla değişirken işgücünün uyumu için dinamik işbaşı eğitim programları önem arz etmektedir. Bu programlara ve teknolojik dönüşüme adaptasyon ise nitelikli işgücünü gerektirmektedir. Dolayısıyla işgücüne yönelik beceri temelli yetişkin eğitimleri kadar temel eğitim programlarının da önemi açıktır.

Diğer yandan, süreç yenilikle birlikte kazanılan verimlilik artışlarının gelir dağılımı bağlamında da yeniden değerlendirilmesi önemli bir politika alanıdır. Bu konu aynı zamanda yeni bir araştırma konusu olarak durmaktadır. Keynesyen ekol çerçevesinde, teknolojik ilerleme sonucu ortaya çıkan gelir artışı ve buna eşlik eden talep artışı yoluyla istihdamın artması mekanizmasının çalışması, verimlilik kazanımlarının gelir grupları arasında nasıl dağıldığıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, işgücü piyasasının ve dolayısıyla çalışma hayatının dönüşümü sosyal güvenlik sistemlerinin de dönüşümüne zemin hazırlamaktadır. Bu konu da araştırmacıların ilgisini beklemektedir.

Çalışmanın bir diğer bulgusu ise, ürün yeniliğinin bir ölçüsü olarak modele dahil edilen ekonomik karmaşıklık endeksinin işsizlik oranını azaltıcı etkisinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca patent sayılarındaki artış da gecikmeli olarak azalan işsizlik oranlarıyla ilişkilidir. Bu iki sonuç birlikte, ürün yeniliğinin yeni istihdam olanakları açısından bir fırsat olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bilgi temelli ve yüksek teknoloji ürünler ile ihracat yapısının çeşitlendirilmesi gelir artışı kadar istihdam artışı açısından da önemli gözükmektedir.

## 8. Ekler

**Ek 1: Korelasyon Tablosu**

Değişken	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1) $\ln ur$	1									
(2) $L.\ln ur$	0,861***	1								
		0,000								
(3) $\ln g$	-0,123***	-0,055	1							

	0,006	0,271							
(4) $\ln gfcf$	-0,130***	-0,070	0,187***	1					
	0,003	0,145	0,000						
(5) $L. \ln gfcf$	-0,013	-0,105**	0,047	0,780***	1				
	0,782	0,028	0,343	0					
(6) $\ln p$	-0,018	-0,001	0,155***	-0,041	-0,089*	1			
	0,686	0,989	0,001	0,352	0,062				
(7) $\ln w$	-0,022	-0,027	-0,332***	0,068	0,098*	-0,468***	1		
	0,654	0,606	0,000	0,168	0,063	0,000			
(8) $\ln tp$	-0,033	-0,041	-0,139***	0,128***	0,155***	-0,114**	0,314***	1	
	0,464	0,402	0,002	0,004	0,001	0,010	0		
(9) $L. \ln tp$	-0,061	-0,052	-0,163***	0,098**	0,117**	-0,117**	0,338***	0,955***	1
	0,214	0,286	0,001	0,046	0,016	0,016	0	0	
(10) $\ln eci$	0,031	0,043	-0,231***	0,129***	0,139***	-0,426***	0,569***	0,518***	0,531***
	0,472	0,364	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000

Not: \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1.

## Ek 2: Analiz Kapsamında Bulunan Ülkeler

Ülke Adları			
Almanya	Estonya	Katar	Paraguay
Arjantin	Fas	Kazakistan	Peru
Avustralya	Filipinler	Kıbrıs	Polonya
Avusturya	Finlandiya	Kırgız Cumhuriyeti	Portekiz
Azerbaycan	Fransa	Kolombiya	Romanya
Bangladeş	Guatemala	Kore Cumhuriyeti	Rusya Federasyonu
Belarus	Güney Afrika	Kosta Rika	Singapur
Belçika	Gürcistan	Kuzey Makedonya	Slovak Cumhuriyeti
Birleşik Devletler	Hırvatistan	Küba	Slovenya
Birleşik Krallık	Hindistan	Letonya	Sri Lanka
Bolivya	Hollanda	Litvanya	Suudi Arabistan
Bosna Hersek	Honduras	Macaristan	Şili
Brezilya	İran	Malezya	Tanzanya
Bulgaristan	İrlanda	Mauritius	Tayland
Cezayir	İspanya	Meksika	Trinidad ve Tobago
Çekya	İsrail	Mısır	Tunus
Çin	İsveç	Moğolistan	Türkiye
Danimarka	İsviçre	Moldova	Ukrayna
Dominik	İtalya	Nikaragua	Uruguay
Ekvador	Jamaika	Norveç	Ürdün
El Salvador	Japonya	Özbekistan	Yeni Zelanda
Endonezya	Kamboçya	Pakistan	Yunanistan
Ermenistan	Kanada	Panama	

## Kaynakça

Acemoglu, D. & Autor, D. (2011). Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In Ashenfelter, O. and card, D., editors, Handbook of Labor Economics, 4, 1043–1171. North Holland, Amsterdam.



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscaoconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

- Aguiar, D., Costa, L., & Silva, E. (2017). An attempt to explain differences in economic growth: An stochastic frontier approach. *Bulletin of Economic Research*, 4, 42-65. <https://doi.org/10.1111/boer.12102>
- Aguilera, A., & Barrera, M. G. R. (2016). Technological unemployment: An approximation to the Latin American case. *Ad-Minister* 29, 59-78. <https://doi.org/10.17230/administer.29.3>
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies* 58, 277–297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Bennett, J. (2016). Skill-specific unemployment risks: Employment protection and technological progress - A cross-national comparison. *Journal of European Social Policy*, 26(5), 402-416. <https://doi.org/10.1177/0958928716664294>
- Berman, E., & Machin, S. (2000). Skill-biased technology transfer around the world. *Oxford review of economic policy*, 16(3), 12-22. <https://doi.org/10.1093/oxrep/16.3.12>
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics* 87, 115–143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Bond, S. (2002). Dynamic panel data models: A guide to micro data methods and practice. Working Paper CWP09/02, Cemmap, Institute for Fiscal Studies. Available at <http://cemmap.ifs.org.uk/wps/cwp0209.pdf>.
- Caselli, F., Esquivel, G., & Lefort, F. (1996). Reopening the convergence debate: A new look at cross-country growth empirics. *J. Econ. Growth* 1(3), 363–389. <https://doi.org/10.1007/BF00141044>
- Chourasia, S., Tyagi, A., Pandey, S. M., Walia, R. S., & Murtaza, Q. (2022). Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and challenges. *MAPAN* 37, 443–452. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00541-w>
- Cords, D., & Prettnner, K. (2022). Technological unemployment revisited: Automation in a search and matching framework. *Oxford Economic Papers-New Series*, 74(1), 115-135. <https://doi.org/10.1093/oep/gpab022>
- Crowley, P. M., & Hudgins, D. (2023). The impact of US productivity growth on unemployment in the time-frequency domain: Is AI causing a change in the relationship? *Empirical Economics*, 66, 2169–2190. <https://doi.org/10.1007/s00181-023-02510-x>
- Du, Y., & Wei, X. (2022). Technological change and unemployment: Evidence from China. *Applied Economics Letters*, 29(9), 851–854. <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1896666>
- Duggal, A.S., Malik, P.K., Gehlot, A., Singh, R., Gaba, G.S., Masud, M. & Al-Amri, J.F. (2022). A sequential roadmap to industry 6.0: Exploring future manufacturing trends. *IET Commun.* 16, 521–531. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12284>



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

- Feldmann, H. (2013). Technological unemployment in industrial countries. *Journal of Evolutionary Economics*, 23(5), 1099–1126. <https://doi.org/10.1007/s00191-013-0308-6>
- Focacci, C. N. (2021). Technological unemployment, robotisation, and green deal: A story of unstable spillovers in China and South Korea (2008-2018). *Technology in Society*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101504>
- Görkey, S. (2022). Technological change and unemployment nexus from a gender perspective: Empirical evidence from a panel cointegration approach. *Gender Technology & Development*, 26(2), 159-180. <https://doi.org/10.1080/09718524.2022.2043986>
- Harvard University Growth Lab at. Growth Projections and Complexity Rankings, V2 [Data set]. <https://doi.org/10.7910/dvn/xtaqmc> (Erişim 1/1/2024).
- Hollander, S. (2019). Retrospectives: Ricardo on machinery. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2): 229-42. <https://doi.org/10.1257/jep.33.2.229>
- International Labour Organization-ILOSTAT, Wages and Working Time Statistics Database. <https://ilostat.ilo.org/data/> (Erişim 11/3/2024).
- Irandoust, M. (2023). Employment and technology: Creative creation or creative destruction? An asymmetric analysis. *Australian Economic Papers*, 1–19. <https://doi.org/10.1111/1467-8454.12327>
- Islam, N. (1995). Growth empirics: A panel data approach. *Q. J. Econ.* 110 (4), 1127–1170. <https://doi.org/10.2307/2946651>
- Jones, C. (2001). *İktisadi Büyümeye Giriş* (Çev. Ş. Ateş ve İ. Tuncer). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Keynes, J.M. (1931). Economic possibilities for our grandchildren, in J.M. Keynes (ed.): *Essays in persuasion*. London, Macmillan [London, Palgrave Macmillan, 2010, pp. 321–332].
- Konstantakopoulou, I. (2022). Does health quality affect tourism? Evidence from system GMM estimates. *Economic Analysis and Policy*, 73, 425-440. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.12.007>
- Krousie, C. (2018). Technological unemployment in the United States: A state-level analysis. *Major Themes in Economics*, 20, 87-101. <https://scholarworks.uni.edu/mtie/vol20/iss1/6>
- Lydeka, Z., & Karaliute, A. (2021). Assessment of the effect of technological innovations on unemployment in the European Union Countries. *Engineering Economics*, 32(2), 130-139. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.32.2.24400>
- Mankiw, N. G., Phelps, E. S., & Romer, P. M. (1995). The growth of nations. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 275-326. <https://doi.org/10.2307/2534576>
- Marx, K. (2018). *Kapital Cilt I: Ekonomi Politiğın Eleştirisi*. (Çev. Selik, M. ve Satlıgan, N.), İstanbul: Yordam Kitap.



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

- Matuzeviciute, K., Butkus, M., & Karaliute, A. (2017). Do technological innovations affect unemployment? Some empirical evidence from European countries. *Economies*, 5(4), 48–19. <https://doi.org/10.3390/economies5040048>
- Pini, P. (1995). Economic Growth, Technological Change and Employment: Empirical Evidence for a Cumulative Growth Model with External Causation for Nine OECD Countries: 1960–1990. *Structural Change and Economic Dynamics*, 6(2), 185–213. [https://doi.org/10.1016/0954-349X\(94\)00008-W](https://doi.org/10.1016/0954-349X(94)00008-W)
- Piva, M., & Vivarelli, M. (2018). Technological change and employment: Is Europe ready for the challenge?. *Eurasian Bus Rev* 8, 13–32. <https://doi.org/10.1007/s40821-017-0100-X>
- Prat, J. (2007). The impact of disembodied technological progress on unemployment. *Review of Economic Dynamics*, 10(1), 106-125. <https://doi.org/10.1016/j.red.2006.09.003>
- Ricardo, D. (1951). *On the Principles of Political Economy and Taxation*, Sraffa, P. (ed.), Cambridge: Cambridge University Press.
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The stata journal*, 9(1), 86-136. <https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106>
- Say, J. B. (1964). A treatise on political economy or the production, distribution and consumption of wealth. New York: M. Kelley. (first edn 1803).
- Schumpeter, J.A. (1976). *Capitalism, Socialism and Democracy* (1st ed.). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203202050>
- Shen, Y. (2024). Future jobs: analyzing the impact of artificial intelligence on employment and its mechanisms. *Economic Change and Restructuring*, 57(2). <https://doi.org/10.1007/s10644-024-09629-6>
- Simonetti, R., Taylor, K., & Vivarelli, M. (2000). Modelling the employment impact of innovation. In M. Pianta, M. Vivarelli (Eds.), *the employment impact of innovation: Evidence and policy* (pp. 26–43). London and New York: Routledge. ISBN: 0-415-20433-X
- Smith, A. (1977). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. University Of Chicago Press.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320. <https://doi.org/10.2307/1926047>
- Vivarelli, M. (2013). Technology, Employment and Skills: An Interpretative Framework. *Eurasian Business Review* 3 (1): 66–89. <https://doi.org/10.14208/BF03353818>
- Walden, M. (2018). Occupation change and technological unemployment in North Carolina. *Journal of Regional Analysis & Policy*, 48(1), 12-22. <https://doi.10.22004/ag.econ.339902>



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscaeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

---

World Bank, World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (Erişim 1/1/2024).

World Intellectual Property Organization, WIPO statistics database. <https://www3.wipo.int/ipstats/ips-search/patent> (Erişim 12/2/2024).

Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

---

**Etik Beyanı:** Bu alışmanın tm hazırlanma srelerinde etik kurallara uyulmuştur. Aksi bir durumun tespiti halinde Fiscaeconomia Dergisinin hibir sorumluluğu olmayıp, tm sorumluluk tarafıma aittir.

---



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

## **Technology and Unemployment: Empirical Evidence from System GMM Estimates**

**Nadide GÜLBAY YIĞİTELi**

### **Extended Abstract**

The study concentrates on whether technological progress causes job losses and unemployment. While technological progress, embodied in product and process innovation, creates new jobs, it also changes the qualifications required by existing jobs and causes machines to substitute human labour. The emergence new jobs and productivity gains are opportunities, but whether these opportunities are sufficient to compensate for jobs lost and the resulting labour surplus is disputable. The uncertainty of the ultimate impact, methodological developments, and diversification of data sets are essential motivations for addressing the issue with different dimensions.

New technologies are introduced into all areas of socioeconomic structure, affecting production and employment, sometimes complementing and sometimes substituting for the labour force. Technological progress occurs in product and process innovation or their combination. The labour-saving dimension of process innovation and the employment-creating dimension of product innovation are at the forefront. However, these two innovations are interrelated, and there is no strict distinction between them (Vivarelli, 2013). Regardless of the source or output, labour demand is reshaped with technological change, which necessitates a transformation to ensure the employability of the labour force. In this process, on the one hand, workers become unemployed due to the labour-substituting effect of technology, and on the other hand, new industries and new occupations develop (Walden, 2018). The net effect of technological change on employment through its substitutive or complementary dimension varies from country to country and from time to time (Acemoğlu & Autor, 2011). The findings of empirical studies differ according to the data sets analysed, the technology variable included in the model, and the methodology used. Some of the studies have conducted analyses within the framework of one or several variables capable of representing technology without making any distinction regarding process or product innovations (Pini, 1995; Berman & Machin, 2000; Prat, 2007; Feldmann, 2013; Bennett, 2016; Cords & Prettnner, 2022; Barrera, 2016; Matuzeviciute et al., 2017; Krousie, 2018). Some studies continued the analysis by separating process and product innovation (Simonetti et al., 2000; Piva & Vivarelli, 2018; Du & Wei, 2022; Lydeka & Karaliute, 2021). In another group of studies, the relationship between technology and unemployment has been analysed by taking into account various socioeconomic variables from different perspectives (Focacci, 2021; Görkey, 2022; Irandoust, 2023; Crowley & Hudgins, 2023; Shen, 2024). In this study, analyses are conducted within the framework of a dynamic panel model considering the effect of the past value of the unemployment rate on its future value for the period 1995-2021. The models are estimated using the two-step system Generalised Method of Moments (2SGMM) developed by Blundell and Bond (1998) with a 5-year interval panel data of 91 countries. The dependent variable in the model is the unemployment rate. Besides, the explanatory variables are GDP growth, the share of gross fixed capital formation in GDP, the number of patents, the economic complexity index, the inflation rate measured as the GDP deflator, and the average monthly wage. The variables were determined by following the theoretical framework and





Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar. *Fiscoeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

---

empirical literature. The unemployment rate data obtained from the World Bank Development Indicators database refers to the share of the unemployed labour force looking for a job and ready to work. Gross fixed capital formation includes plant, machinery, and equipment purchases, land improvements, construction of commercial and industrial buildings and roads, offices, and private residences. GDP growth is based on countries' GDP data expressed in US dollars at constant 2015 prices. Inflation data is included in the analysis in terms of the annual growth rate of the GDP deflator, as it captures the rate of price change in the economy as a whole. Average monthly wage data are obtained from the ILO statistical database and represent the average monthly earnings of workers by economic activity group. Data on the number of patents are obtained from the World Intellectual Property Statistics. In order to associate it with employment, not all patent applications but patents approved by patent offices are taken into consideration. The economic complexity index, another variable used in the analysis, is calculated based on the diversity of export products produced by the country, their availability, and the number of countries that can produce them. The index, an indicator of the country's productive know-how, also represents the capacity to produce sophisticated products. The analysis within the scope of the study includes four basic alternatives that differ according to whether or not the lagged variables of gross fixed capital formation and total number of patents are included in the model. In all models, considering the persistence of the unemployment rate, the lagged dependent variable is included in the model and determined as endogenous. In all models, the other explanatory variables are exogenous. Model 1 used the economic complexity index to represent product innovation. The gross fixed capital formation represents process innovation. In Model 2, a one-period lag of gross fixed capital formation is also included as an explanatory variable, assuming that employment and unemployment will adjust to fixed capital formation, representing process innovation with a lag. In Model 3 and Model 4, product innovation is represented by the total number of patents variable. Considering that the rights provided by patents require a certain period to materialise through investment and employment, the variable of one-period lag of the total number of patents is also included in Model 4. Therefore, the difference between Model 3 and Model 4 stems from this variable. Moreover, following Roodman (2009), time dummies are added to all models to remove time-related general shocks from the error term. F-test statistics show that the models are generally significant. According to the Sargan and Hansen test results, the extreme restrictions in the model are valid; the instrumental variables included in the model are appropriate. In all models, the number of instruments is lower than the number of units, as it should be. AR(2), Arellano Bond test statistic shows no second-order serial correlation. These diagnostic tests show that the estimates from the two-step system GMM are reliable.

The lagged dependent variable is significant in all models, and its coefficient is below one. This value must be below one for the process to converge to equilibrium. Bond (2002) states that this is a theoretically important control. The positive and significant coefficient of the lagged unemployment rate confirms the persistence of unemployment. The GDP share of gross fixed capital formation, representing process innovation, is negative and significant except for Model 1. According to the results of Model 2, Model 3, and Model 4, as the GDP share of gross fixed capital formation increases, unemployment decreases in the first period. In the following



Gülbay Yiğiteli, N. (2024). Teknoloji ve İşsizlik: Sistem GMM Tahminlerinden Ampirik Kanıtlar.  
*Fiscaeconomia*, 8(3), 1366-1391. Doi: 10.25295/fsecon.1483647

---

period, it increases unemployment. This result stems from the embodied process innovation included in fixed capital investment. It also points to the labour-saving nature of process innovation. The economic complexity index, which is included in the model as a measure of product innovation, directly shows the output change since it includes the export goods produced and placed on the market. Therefore, it is a more direct method of measuring innovation than the number of patents. In both Model 1 and Model 2, an increase in the economic complexity index is significantly associated with decreased unemployment. In Model 3 and Model 4, the number of patents is included in the analysis to measure product innovation. Unlike the economic complexity index, there is likely to be a time lag between the number of patents and the production. Moreover, although the number of patents is mostly related to product innovation, it also includes process innovation. Therefore, its direction is not as clear as in the economic complexity index. In Model 3, this variable has no significant effect on unemployment. In Model 4, this variable is included in the analysis with a one-period lag. In this case, no significant relationship was found between the number of patents and unemployment. However, it is concluded that the increase in the number of patents in the second period is associated with decreasing unemployment rates.