

Robotların İstihdam Üzerindeki Etkisi: Seçilmiş Ülkeler Üzerine Ampirik İnceleme¹

Aslı AYDIN²

ORCID: 0000-0003-1369-4307

Öz: Robotların fiziksel donanımları ve ileri teknoloji içerikli yazılım teknolojileri bugün insan emeğinin gerçekleştirdiği işlerin büyük bir kısmını yerine getirmelerini mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla robotların hızlı yayılımı dikkate alındığında, üretim süreçlerinde robotların emeği ikame etmesi ile oluşan teknolojik işsizlik endişelerinin hızlanmasına yol açmaktadır. Bu çalışma, robotların emek üzerindeki etkilerini istihdam açısından ele almaktadır. Çalışmada 2004-2016 yılları için robotlar ve istihdam arasındaki ilişki, seçili 47 ülke üzerinden Genelleştirilmiş Momentler Metodu'nun sistem yöntemi (System-Generalized Methods of Moments, SYS-GMM) çerçevesinde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bir birim ilave robot kullanımının toplam istihdamda % 0.7 düşüşe neden olduğunu göstermektedir. Bulgular, yüksek gelirli ülkelerde robotların istihdama etkisinin daha olumsuz olduğunu, bir birim ilave robot kullanımının toplam istihdamda %3.1 düşüşe yol açtığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: İstihdam, teknoloji, robotlar, SYS-GMM

Robotic Impact on Employment: Empirical Investigation on Selected Countries

Abstract: Today, robots' physical hardware and high-tech software technologies make it possible for them to perform most of the work done by human labor today. Therefore, considering the rapid spread of robots, concerns about the technological unemployment arising from the robots replacing human labor in production processes have become an important line of research in labor economics. This study addresses the impact of robots on human labor in terms of employment. In the study, the relationship between robots and employment for the time period 2004-2016 is analyzed within the framework of the System Generalized Moments Method (SYS-GMM) over 47 selected countries. The findings show that the use of

¹ Bu çalışma *Robots And Human Labor: Dynamics, Intergenerational Impacts And Inequality* doktora tezinden üretilmiştir.

² Dr.

Makale Geliş Tarihi:13.07.2020- Makale Kabul Tarihi:31.08.2020

one unit of additional robots causes a 0.11% decrease in total employment. Moreover the findings indicate that the impact of robots on employment is more negative in high-income countries; each robot increase causes 0.17% decrease in aggregate employment.

Key words: Employment, technology, robots, SYS-GMM

Giriş

Teknolojik gelişmeler baş döndürücü bir hızda ilerlerken, bir yandan insan yaşamına büyük olanaklar sunuyor, diğer yandan da ekonomik, toplumsal ve çevresel etkileri ile birçok sorunun sorulmasına neden oluyor. ‘Robotlar işimizi elimizden alır mı?’ sorusu da günümüzde sıkça yanıt aranan soruların başında geliyor. Başlangıç tarihi neredeyse tekerleğin icadına uzanan teknolojik gelişmeler, tarih boyunca benzer sorunun sorulmasına neden olsa da, bugün bu sorunun daha sık sorulmasının başat nedeni robotlardır. Tıpkı insan gibi konuşabilen, hareket edebilen ve benzer bilişsel faaliyetleri yerine getirmeye başlayan bu robotlar, insan emeğini kolaylıkla ikame edebiliyor; yorulmuyor, yavaşlamıyor ve yemek molası vermiyorlar. Dolayısıyla insan emeğinin önemli bir rakibi haline geliyorlar.

Emeğin küresel durumuna bakıldığında ise, küresel emek talebi ile arzı arasındaki uyumsuzluğun giderek şiddetlendiği görülmektedir. 2019 yılı verilerine göre dünya genelinde 5.7 milyar kişi çalışma çağındaki nüfus içerisinde yer alırken, bu nüfusun sadece 3.3 milyarı işgücünü oluşturmaktadır. 188 milyon kişi işsiz, 165 milyon kişi eksik istihdam edilmekte, toplam istihdamın %61’ini güvencesiz istihdam edilenler (1.6 milyar kişi) oluşturmaktadır (ILO, 2020). Küresel pandemi ile birlikte 2020 ilk çeyreğinde iş kaybının %4.5 artması yani 130 milyon kişinin daha işini kaybetmesi, ikinci çeyrekte ise işini kaybedenlerin sayısının 300 milyon kişiye çıkması tahmin edilmektedir³. Diğer bir yandan küresel çalışma saatlerinin, 2020 yılının ilk çeyreğinde kriz öncesi duruma kıyasla tahmini %4.5 düşüş yaşaması beklenirken (yaklaşık 130 milyon tam zamanlı işe eşdeğerdir), ikinci çeyrekte ise kriz öncesi son çeyreğe göre %10.5 daha düşük olması beklenmektedir (305 milyon tam zamanlı işe eşdeğerdir). Tüm bu veriler dikkate alındığında, küresel emeğin niceliksel ve niteliksel değişimlerinde trendin, emeğin aleyhine ilerlediği açıktır.

İçinde bulunduğumuz çağ aynı zamanda hızlı bir teknolojik gelişmeye de sahne olmaktadır. Yapay Zeka, Blockchain, Büyük Veri (Big Data), akıllı robotlar veya RPA (Robotik Süreç Otomasyonu –Robotic Process Automation), Bulut Bilişim (Cloud Computing) ve Nesnelerin İnterneti (IoT, Internet of Things), yeni nesil olarak tabir edilen teknolojilerin başında geliyor. Özünde birer sermaye yatırımı olan bu teknolojiler, bu yatırımın sahibi olan şirketlere yüksek üretkenlik ve yüksek kar olanakları sunuyor. Graetz ve Michaels’ın 2015 yılında yaptıkları 17 seçilmiş ülke üzerinde yapılan ampirik analize göre 1993-2007 arası dönemde

³ Hesaplama, 48-saat haftalık çalışma saati varsayılarak tam zamanlı çalışanları kapsamaktadır. (ILO, 2020)

endüstriyel robot kullanımındaki artışın emek üretkenliğine yaptığı katkı 0.36 olarak saptanmakta; bu oranın Birinci Sanayi Devrimi'nde Büyük Britanya'nın 1850-1910 dönemlerinde yaşadığı %35'lik üretkenlik artışına denk olduğu ifade edilmektedir (Graetz ve Michaels, 2015). Dolayısıyla tarihsel boyuttaki krizlerin yaşanmakta olduğu çağımızda teknoloji gelişiminde yaşanan bu muazzam hız, 21.yy'ın başından bu yana düşme trendinde olan küresel üretkenlikte(Gordon, 2012)ekonomilerebir makas değişiminin olasılıklarını da sunmaktadır.

Bu olasılıkların izinde olan ekonomiler ve ulus-ötesi şirketler robotik teknolojilere olan yatırımlarını artırmaktadırlar. 2013 ve 2018 yılları arasında dünya genelinde özel şirketlerin operasyonel robot stokundaki artış %65 olarak gerçekleşirken, toplamda birim sayısı 2.4 milyona ulaşmıştır (IFR, 2020). Akıllı teknolojilerin bir parçası olarak robotların önemli bir özelliği, veri girdisi ile çalışmasıdır. Bu özelliği sayesinde dijital ekonomilerin de bir parçası olarak tanımlanmaktadır (OECD, 2017). Veri akışı istatistiğine dair önemli bilgiler sunan Küresel İnternet Protokolü'nün (Global İnternet Protocol, IP) 1992 yılında 100 gigabayt büyüklüğünde iken 2017 yılında 45,000 gigabayta çıkması ve veri üretiminin 2009 yılına göre 2020 yılında 44 katına çıkması (IDC, 2014), akıllı teknolojilerin hızlı artış trendine ışık tutmaktadır. Üstelik bu trendin daha başlarında olduğumuz fikri de veri akışının 2022'de 150,700 gigabayta çıkacağı tahmini ile güçlenmektedir (UNCTAD, 2017).

Dolayısıyla çalışmada da yanıt aranan ve gün geçtikçe önemi büyüyen soru, küresel ekonominin uzun süreli yavaşlama sürecine girdiği ve üretkenlik artışlarının kronik olarak yavaşladığı böylesi bir yapıda akıllı teknolojilerin, özelde robotların istihdam üzerinde ne yöne bir etkisi olacağına ilişkindir.

İlk bölümde teknolojik gelişimin emeği etkileme kanalları incelenmiş, temel göstergelerle emeğin görelî payına dikkat çekilmiştir. İkinci bölüm yeni teknolojilerin özelliklerine ayrılmış, robotların gelişimi incelenmiştir. Literatürde robotların emek üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar üçüncü bölümde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmanın ampirik bölümünde kullanılan veri seti ve değişkenlerin incelenmesi ve de metodolojik bilgiler yer almaktadır. Çalışmanın bulgularına beşinci bölümde yer verilmiş, altıncı bölümde bulgular değerlendirilmiştir. Son olarak çalışmada karşılaşılan kısıtlar ve gelecek araştırmalar için öneriler sunulmaktadır.

Teknolojik Gelişim ve Emek

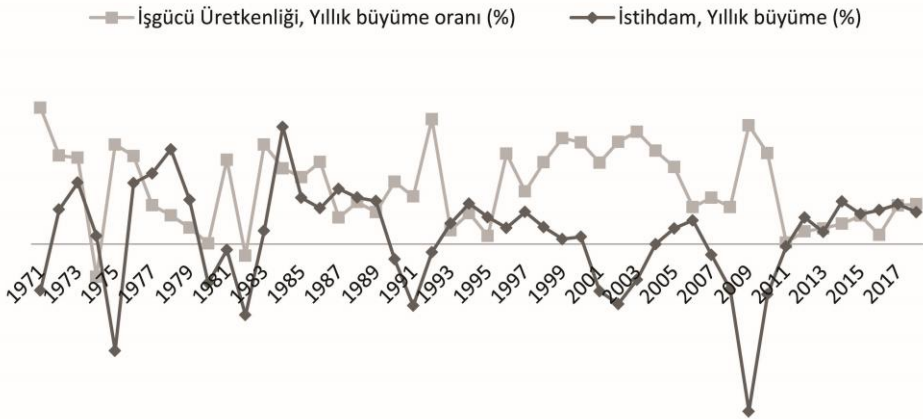
Temel olarak teknolojinin emeğin konumunu iki şekilde etkilemesi beklenir. Birinci olarak, bir koldan üretkenlik ve bağlantılı olarak beklenen üretim artışları üzerinden yeni işlerin yaratılmasına olanak sağlar, diğer koldan ise üretimde emeğin yerine geçer. Bu iki gücün hangisinin baskın geleceğine bağlı olarak ekonomide emek miktarı azalır (ikame gücü baskın ise) veya artar (büyüme oranı baskın ise). İkinci olarak da robotların zaman içerisinde sabit maliyetlerinin gerileyerek yaygın

kullanılmaları, sektörler ve meslekler arasında emeğin yeniden tahsisine neden olur. Bu durum emeğin üretimdeki payının yanı sıra emeğin kompozisyonunda da bir değişime neden olur. Bu ikinci etkinin gerçekleşmesine izin veren ise literatürde vasıf-yanlı teknolojik değişim olarak adlandırılır. Teknolojinin vasıf-yanlı ilerlemesi, işgücü arasında eşitsizliklerin büyümesine; ileri-vasıflı ve de düşük ve orta-vasıflı işgücü arasında ücret ve istihdam makasının açılmasına neden olmaktadır (Arntz vd. 2015; Graetz ve Michaels, 2015; Hemous ve Olsen, 2016, Prettnner ve Strulik, 2017; Acemoglu ve Restrepo, 2018;;).Çalışmada robotlar dikkate alınarak teknolojinin birinci etkilerinin üzerinde odaklanılacaktır.

Emeğin göreceli payının tarihsel açıdan hangi yönde ilerlediğine ilişkin yapılacak analizde emeğin milli gelir içindeki payı önemli bir göstergedir. Teorik olarak emeğin milli gelir içindeki payındaki artış, ücret ve üretkenlik artışlarının birbirlerine göre değişen konumları ile paralel değişir. Ücretler, üretkenlik artışlarının üzerinde büyüyor ise, veya ücretler üretkenliğin daralmasından daha az bir oranda daralıyorsa, emeğin milli gelir içindeki payının (diğer tüm durumlar sabit iken) artmasını bekleriz. Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, Birleşik Krallık ve ABD ülkeleri üzerinden yapılan bir çalışmada (Graetz, 2019), 1970-2007 dönem aralığında emeğin milli gelir içindeki payının düzenli olarak düştüğü gösterilmiş, en şiddetli düşüş ise ücretli emeğin payında gerçekleşmiştir.

İşgücünün üretkenlik artışının yaklaşık son yarım yüzyıllık hareketi ABD örneği üzerinden Şekil 1’de gösterilmektedir. İstihdam ve işgücü üretkenliğindeki artış, 1990lı yıllara kadar birbirine yakın hareket ederken, 1990lardan sonra aralarındaki makas açılmaktadır. 2011 yılı sonrası ise istihdam ve üretkenliğin uzun soluklu durgunluk sürecine girdikleri gözlenmektedir.

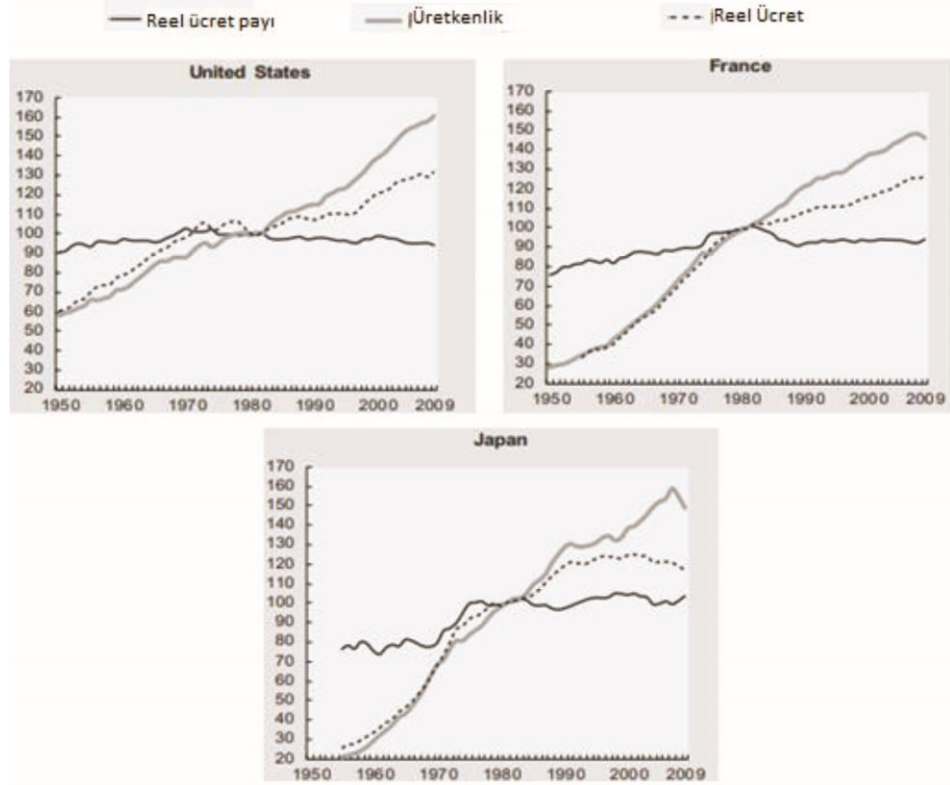
Şekil 1: Üretkenlik ve İstihdamdaki Ayrışma, ABD Örneği



Kaynak: Dünya Bankası, Kalkınma Göstergeleri 1971-2017

Fransa, Japonya ve ABD örnekleri üzerinden 1950-2009 dönem aralığına ilişkin yapılan çalışmada reel ücretlerin sabit fiyatlar üzerinden hesaplanmış GSH içindeki payı ile üretkenlik karşılaştırmasında 1980 öncesi ve sonrasındaki trend farklılaşması net izlenebilmektedir (Lindenboim, Kennedy ve Graña, 2011).

Reel Ücretlerin Sabit Fiyatlarla GSH İçindeki Payı, Üretkenlik ve Reel Ücret (ABD, Fransa ve Japonya), 1950-2009, (1980-1982 ortalaması=100)



Kaynak: Lindenboim, Kennedy ve Graña, 2011.

Akıllı teknolojilerin kısa ve uzun vadede etkilerinin reel olarak gözlemlenmesi için henüz erken olsa da, bir önceki teknolojik dönüm noktası olarak tanımlanabilecek Bilgi ve İletişim Teknolojileri'nin (Information and Communications Technology- ICT) etkilerine bakmak bu konuda önemli ipuçları sağlamaktadır. ICT, 1980'li yılların sonlarından itibaren ABD'de de kullanılmaya başlanmış ve yüksek bir hız ile yaygınlaşmıştır. OECD verilerine göre ABD'de 2000li yıllara gelindiğinde ICT yatırımlarının toplam yatırımlara oranı %32'nin

üzerine çıkmıştır. Bu yaygın kullanım hızı literatürde çoğunlukla Moore Yasası'nın⁴ gerçekleşmesi ile açıklanmaktadır (Bartelsman, 2013). Moore Yasası'nda belirtilen yeni çiplerin 18 ila 24 ay içerisinde gücünün iki katına çıkacağı beklentisine uygun olarak ICT de sadece finans, perakende ve teknoloji gibi modern sektörlerde değil, imalat sanayii gibi geleneksel sektörlerde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu hızlı yaygınlaşmanın temel sebebi ise ICT fiyatlarındaki düşüş olmuştur (Stiroh, 2002).

Humboldt Üniversitesi'nin hazırlamış olduğu bir raporda (Braun vd., 2009) seçili AB ülkeleri ve ABD verileri üzerinden yapılan inceleme, ICT kullanımının yaygınlaşmasının emek talebi üzerindeki etkilerini bizlere sunmaktadır. Çalışmaya göre, ABD'de ICT yatırımları 1990-1995 dönem aralığında %6 büyüme gerçekleştirirken, bu büyüme 1995-2000 döneminde %21.2'ye çıkarak zirve yapmış, 2000-2005 döneminde ise %3'e gerilemiştir. Birleşik Krallık'ta ise 1990-1995 döneminde %0.4 oranında negatif büyüyen ICT yatırımları 1995-2000 döneminde %16.4 büyüyerek zirve yapmış, 2000-2005 döneminde %6.7 büyüme gerçekleştirmiştir. Diğer seçili AB ülkelerinde ise benzer bir trend söz konusudur. Aynı dönemler için emeğin durumu incelendiğinde ise çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre, emek girdisinin büyüme oranı 1990-1995, 1995-2000 ve 2000-2005 dönem aralıklarında ABD için sırasıyla %0.9, %2.3 ve %0.6 olarak gerçekleşmiştir. ICT yatırımlarındaki artış ile emek girdisine olan talep benzer bir trend izlemektedir. Diğer ülkeler için de trend benzerdir. Fakat dikkat çekici bir sonuç, emeğin kompozisyonu dikkate alındığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin yine ABD için 1990-1995 döneminde rutin işlerdeki emek talebinin %0,4 daraldığı, ICT yatırımlarının zirve yaptığı 1995-2000 döneminde ise bu daralmanın daha şiddetlenerek %0.5'e çıktığı 2000-2005 döneminde ise yine %0.4 küçüldüğü izlenmektedir.

ICT, akıllı teknolojilere benzer bir şekilde yapısında ileri teknoloji barındırmaktadır. OECD'nin tanımına göre ICT üç bileşenden oluşmaktadır: Bilgi teknolojisi ekipmanı (bilgisayarlar ve ilgili donanım), iletişim ekipmanları ve yazılım. Fakat akıllı teknolojilerden farklı olarak ICT tam otonom özellikte değildir. ICT'nin aktif bir girdi olarak kullanılması için emek girdisine ihtiyaç vardır. Ne var ki bu gereksinim çoğunlukla yüksek vasıflı emek ile sınırlıdır. Dolayısıyla ICT'nin ikame ettiği emek biçimi rutin işlerde kullanılan düşük ve orta vasıflı emektir.

Akıllı teknolojiler ise tam otonom çalışma becerisine sahiptirler. Başlangıcında donanım ve yazılımı sağlandığında, insan müdahalesi olmadan çalışma yeteneğine sahiptirler. Dolayısıyla ICT'nin ikame gücü düşük ve orta vasıflı emek ile sınırlı iken, söz konusu akıllı teknolojiler olduğunda bu sınırın ortadan kalkması beklenmektedir.

⁴(Moore, 1965). Intel şirketinin kurucularından Gordon Moore, 1965 yılında yayınladığı "Cramming more components on to integrated circuits" makalesinde bilgisayar donanımında kullanılan transistör sayısının her iki yılda bir ikiye katlandığı şeklindeki istatistikî gözlemini ortaya koyarak Moore Yasası'nı literatüre kazandırmıştır.

21.YY'da Endüstriyel Robotlar

Endüstriyel robotlar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır: “Otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, endüstriyel uygulamalarda üç veya daha fazla eksenle çok amaçlı kullanılabilir, sabit veya hareketli manipülatör” (ISO 8373:2012). Tanımda *yeniden programlanabilirlik* özelliğinden kasıt, programlanmış hareketlerin veya yardımcı fonksiyonların fiziksel değişiklik yapılmadan değiştirilebileceği şekilde tasarlanmasıdır. İstenilen işlerde ve görevlerde fiziksel donanımın(mekanik sistemin) ve yazılımın uyarlanabilmesi ise *çok amaçlı kullanılabilirlik* özelliği ile ifade edilmektedir. Tanımdaki *eksen* ifadesi ise, doğrusal veya dairesel modunda mümkün olan robot hareketini temsil etmektedir (IFR, 2016) .

Tarihte bilinen ilk endüstriyel robot, Unimate adıyla bilinen, 1961 yılında General Motors’un montaj hattında sıcak parçaları kalıp döküm makinesinden taşıma işi için tasarlanan robottur. Ardından 1969 yılında Standford Kolu (Standford Arm) geliştirilerek, kullanımda olan endüstriyel robotlara daha fazla serbestlik derecesi kazandırmıştır. 1960lar ve 1970lerdeki robotların ortak özelliğine bakıldığında tümünün bilgisayar kontrolünde olan, gelişmiş yöntemlere ihtiyaç duyan kompleks elektro-mekanik sistemler oldukları görülecektir. Çoğunlukla montaj hattında kullanılan bu robotlar, otonom hale getirilen işleri üstlenerek geri kalan işleri insan emeğine bırakmışlardır. Otonom hale getirilen işler ise rutin (yeknesak),standart işlerden oluşmaktadır. Bu nedenle 2000lere kadar olan dönemdeki robotlar insan emeğini rutin işlerde ikame ederken, rutin olmayan, daha kompleks, bilişsel işlerde insan emeğini tamamlayıcı bir özellik göstermişlerdir (Decker vd., 2016). Robotların etkisiyle emek üretkenliğindeki bu artışın kaynağı robotların bu tamamlayıcı özelliğinden kaynaklanmaktadır (Autor, 2015).

Bugünü ise dünden ayıran önemli bir unsur, robotların sadece rutin işleri değil, bilişsel görevleri de yerine getirebilen makineler haline gelmeleridir. Robotik sistemlerde yazılıma dayalı ilerlemeler, bugün karşımıza Makine Öğrenmesi (Machine Learning) kavramını çıkarmaktadır. Bu kavram, robotların geçmiş deneyimlerinden, hatalarından ve olasılık hesaplamalarından öğrenmelerine ve kendilerini yeni duruma uyarlamalarına olanak sağlamakta, robotların işleyişinde insan faktörünü tamamen ortadan kaldırarak tam otonom hale gelmelerine izin vermektedir. Bu durum, makine öğrenmesi, gelişmiş yazılım, büyük veri ve ileri mekanik özellikleri ile robotların artık sadece manuel işlerde değil,hemen hemen her tür görevde insan emeğini ikame edecekleri bir durumu ortaya koymaktadır. Günümüzün karanlık fabrikaları (Lights-out Manufacturing)bu durumun gerçekleştiğini göstermektedir. Birçok ülkede (Japonya- FANUC, Hollanda-Phillips, Almanya- Siemens, Çin-Changying Precision) insansız fabrikalar hayata geçirilmiştir (Lee, 2018).

Sonuç olarak günümüzde robotların insanların işini alıp almayacağı sorusu, geçmişten farklı bir konjonktürde sorulmaktadır. Bahsi geçen robotlar artık insana

özgü birçok işi yapabilir beceriye ve donanıma sahiptir. Hal böyleyken robotların insan emeği üzerindeki etkisinin günümüzde daha şiddetli olması beklenmektedir.

Robotlar Dost mu, Düşman mı?

Literatürde robotların insan emeği üzerindeki etkisi üzerine yapılan çalışmaların birçoğu, ikame etkisi üzerinde ortaklaşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışma, binde bir işçi başına düşen robotların birimlik artışının istihdama etkisinin -%0.2 olduğunu göstermiştir (Acemoğlu ve Restrepo, 2019). Almanya için yapılan çalışmada ise bir robot artışının iki istihdam kaybına neden olduğu (Dauth vd., 2017); İspanya'da ise robotların negatif etkisinin yüksek teknoloji içerikli olmayan sektörlerde gözlemlendiği (Pellegrino vd., 2017) tespit edilmiştir.

Ülkelerarası yapılan çalışmalarda da benzer bir olumsuz etki bulunmuştur. 6 AB ülkesi üzerinden yapılan incelemede robotların istihdam üzerindeki etkisi negatif saptanmış, bin işçi başına bir birimlik robot artışının istihdamı yüzde 0.16-0.20 arası bir oranda düşürdüğü tespit edilmiştir (Chiacchio vd., 2018). Ülke veri seti genişletilerek (43 ülke) yapılan bir başka çalışmada ise ikame etkisinin gelişmekte olan ülkeler için daha güçlü olduğu, %14 seviyelerine dek çıktığı sonucuna ulaşılmıştır (Carbonerovd.,2018).

Brynjolsson ve McAfee (2014), içinde bulunduğumuz çağı 'İkinci Makine Çağı' olarak tanımlamaktadır. Çalışmaya göre bu çağ, takip ettiği 'Birinci Makine Çağı' yani Birinci Sanayi Devrimi dönemindekine benzer bir şiddette işleri ele geçirecektir. Frey ve Osborne (2013) ABD'de yaptıkları ankete dayalı araştırmada, 702 meslek üzerinde inceleme yapmış ve bu mesleklerin %47 oranında tam otomasyon riskinde olduğu; dolayısıyla bu meslek sahibi çalışanların işlerini kaybetme riski ile karşı karşıya oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Tam otomasyon riski PwC tarafından 2017 yılında benzer bir metodoloji ile yapılan çalışmada %37 meslek ile tanımlanmış, Finlandiya'da %35 meslek bu riski taşırken (Pajarinen ve Rouvinen, 2014), Almanya için bu oran %59 (Brzeski ve Burk, 2015) olarak tanımlanmıştır.

Robotların insan emeği üzerindeki etkisini teorik model üzerinden inceleyen çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Acemoğlu ve Restrepo, 2017, 2018ve 2019). Bu çalışmalar, genel olarak, neoklasik yaklaşımı ve görev-temelli yaklaşımı dikkate alan çalışmalar olarak iki sınıfta incelenebilmektedir. Görev-temelli yaklaşım, Zeira (1998) çalışmasında geliştirilen modeli dikkate alarak üretim süreçlerini özellikli görevlere ayırmaktadır. Bu görevlerin bazılarının sadece insan emeği tarafından gerçekleştirilebileceği, diğerlerinin ise otomasyona uygun görevler olduğu varsayımı kabul edilmektedir. Dolayısıyla akıllı teknolojilerin üretim süreçlerinde her görevi ikame etmemesi, bu yanılla insan emeği üzerinde kısmi olarak tamamlayıcı özelliğini sürdürdüğü argümanı savunulur (Acemoğlu ve Restrepo, 2018).

Neoklasik yaklaşımda ise insan emeği ve akıllı teknolojilerin üretim sürecinin her aşamasında rekabet halinde oldukları, insan emeğinin bu süreçlerin her birinde akıllı teknolojiler tarafından ikame edilebildikleri varsayılmaktadır (Hanson, 2001; Sachs ve Kotlikoff, 2012; Berg vd., 2015; Decanio, 2016; Aghion, 2017).

Veri Seti ve Metodoloji

Çalışmada 47 ülke üzerinden 2004-2016 yılları dönemini kapsayan toplam 624 gözlem yapılmış, bu 47 ülke robot verisi mevcudiyetine göre seçilmiştir. Veri setinde gözlem yapılan ülkeler ayrıca Dünya Bankası'nın (DB) gelir sınıflandırması dikkate alınarak kategorize edilmiştir. DB gelir sınıflandırmasını ABD dolarına dönüştürülmüş kişi başına GINI katsayısına göre oluşturulan Atlas Yöntemi'ni⁵ dikkate alarak hazırlamaktadır. Çalışmada robot verilerinin ülke gelir guruplarına göre dağılımının incelenmesi için sadece üç gelir grubu- yüksek, alt-orta ve üst-orta gelirli ülkeler dikkate alınmış, alt gelir sınıfındaki ülkeler robot verileri olmadığı için ihmal edilmiştir. Robot verilerinin temin edilebilirliği nedeniyle analizde zaman boyutu 13 yıla indirilmiştir. DB sınıflandırması ve veri mevcudiyeti itibarıyla, veri seti 35 yüksek gelirli, 2 alt-orta ve 10 üst-orta gelirli ülkeden oluşmaktadır.

Değişken	Kısaltma	Ölçü Birimi	Kaynak
İstihdam/Nüfus Oranı	EMP	Çalışma çağındaki nüfusun yüzdesi	Dünya Bankası- World Bank Indicators
Robot Stoku	Robot	Kurulumlar ve operasyonel stoklar	Uluslararası Robot Federasyonu-IFR
Kişi başı GSYH	GDP	SAGP (sabit fiyatlarla, ABD doları)	Dünya Bankası- World Bank Indicators
İşgücü Ödemeleri	LC	İşgücü ödemelerinin GSYH içindeki payı, İşgücü Ödemeleri: Brüt ücret ve işverenlerin sosyal güvenlik katkı paylarının toplamından oluşmaktadır.	Penn World Table (versiyon PWT 9.1)
Katma Değer	VA	Sanayi (inşaat dahil), Katma Değer (%GSYH)	Dünya Bankası- World Bank Indicators

⁵ Dünya Bankası ülkeler arası GSH karşılaştırması analizinde, ABD doları cinsinden brüt milli geliri hesaplamak için döviz kuru dalgalanmalarının etkisini azaltmak için Atlas dönüşüm faktörü kullanılmaktadır. Bu faktör, herhangi bir yılın ve öncesindeki iki yılın döviz kuru ortalamasının, ülkenin ve uluslararası enflasyon oranından arındırılarak elde edilmiş hali olarak tanımlanmaktadır. (Dünya Bankası, <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-the-world-bank-atlas-method-detailed-methodology>, erişim tarihi: 13.07.2020)

Robot stoku verisi, IFR'nin ortalama 12 yıllık hizmet ömrü varsayımı altında tahmin ettiği ve yıllık anketler aracılığıyla tedarikçilerden temin ettiği endüstriyel robot verilerinden oluşmaktadır. İstihdam/ nüfus oranı verileri ise DB Kalkınma Göstergeleri'nden temin edilmiştir. DB'nin Uluslararası Çalışma Örgütü verilerinden derlediği tanımına göre, istihdam / nüfus oranı, ülkede çalışan nüfusun toplam çalışma yaşındaki nüfusa oranıdır. Genel olarak, 15 yaş ve üstü çalışanlar, toplam çalışma çağındaki nüfus olarak kabul edilmektedir. Çalışmada ayrıca istihdam/nüfus oranı verisini açıklayıcı değişken olarak kişi başına GSYH (Manyika, 2017), GSYH yüzdesi olarak katma değer ve emek tazminat payı kullanılmıştır.

Seçilen ülkeler arasında, yüksek gelirli ülkeler 2004 yılında toplam robot stokunun %98,9'unu ve 2016 yılında %83'ünü elinde bulundurmaktadır. 2004 yılından 2016'ya gözlenen değişim, yüksek gelirli ülkelerin robot stokunda hala en büyük paya sahip olduğunu gösterirken, diğer ülkelerin de robot sayılarını arttırdıklarını ortaya koymaktadır. Yüksek gelir gurubu ülkelerin robot stoku ortalaması, orta-üst gelir gurubu ülkelerin robot stoku ortalamasının 3 katı, orta-alt gelir gurubu ülkelerin ise 10 katıdır.

2004 ve 2016 yılları arasında, yüksek gelirli ülkelerdeki robot stokunun ortalaması 45 bin 426'dır. Avustralya, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Kore Cumhuriyeti, İtalya, bu ortalamanın üzerinde yer alan ülkelerdir. Yüksek gelirli ülkeler arasındaki robot stoku karşılaştırmasında Avustralya, 2016'da robot stokunun 1 milyona ulaşması ile lider ülke konumundadır.

Şekil 1. Ortalama Robot Stoku, Ülkelere göre dağılım, 2004-2016

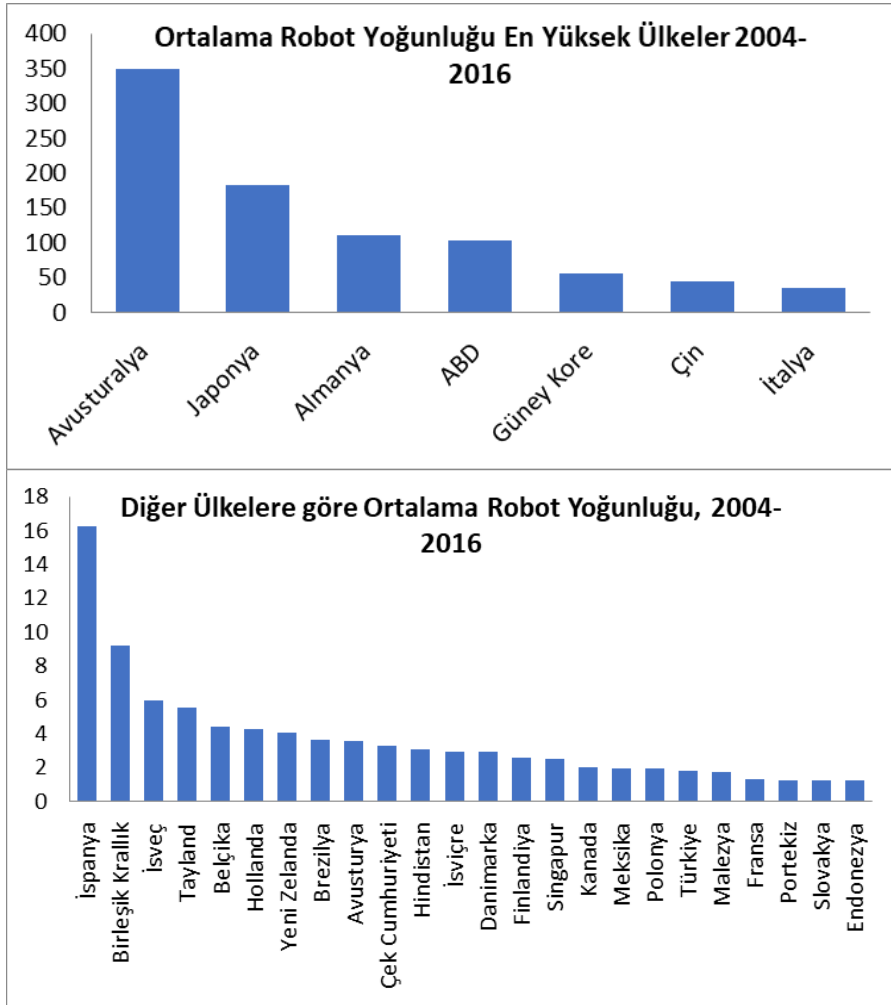
Ülke İsmi	Robot stoku ortalaması	Ülke İsmi	Robot stoku ortalaması
Yüksek gelirli ülkeler			
Avustralya	617427	Polonya	3933
Japonya	325020	Kanada	3470
ABD	181647	Portekiz	2352
Almanya	153148	Macaristan	2286
Kore	120238	Fransa	2010
İtalya	60219	Slovenya	1195
İspanya	27782	Norveç	990
Birleşik Krallık	15325	Hong Kong	796
İsveç	9863	İsrail	647
Slovakya	9669	İrlanda	435
Yeni Zelanda	7115	Yunanistan	260
Belçika	6873	Şili	52
Hollanda	6109	Estonya	43
Avusturya	5946	Litvanya	31
Çek Cumhuriyeti	5883	İzlanda	16
Singapur	5830	Letonya	9
İsviçre	4802		
Finlandiya	4345		
Danimarka	4155		
Üst-orta gelirli ülkeler			
Çin	97776	Türkiye	3388
Tayland	12617	Güney Afrika	2184
Brezilya	6342	Rusya Federasyonu	1383
Meksika	4420	Arjantin	943
Malezya	3960	Kolombiya	34
Alt-orta gelirli ülkeler			
Hindistan	6500	Endonezya	2465

Üst-orta gelirli ülkeler arasında, Çin ve Tayland en yüksek robot stokuna sahip olan ülkelerdir. Robot stokunda izledikleri trend yüksek gelirli ülkelerinkine benzerdir, bu haliyle diğer üst-orta gelir gurubu ülkelerden ayrışmaktadırlar.

Küresel ekonominin üretim merkezleri olarak adlandırılan (UNCTAD, 2020) bu ülkeler analizin dışında tutulursa, robot stoku ortalaması üst-orta ülkelerde 2 bin 832'dir. Bu ortalama-Çin ve Tayland hariç tutulduğunda- üst-orta gelir gurubundaki ülkelerin robot yatırımlarında oldukça yetersiz olduklarını ortaya koymaktadır.

Hindistan ve Endonezya, veri setimizdeki iki alt-orta gelirli ülkedir. Düşük gelire sahip olmasına rağmen Hindistan, özellikle teknoloji ve sanayi şirketleri için dünyanın önde gelen tedarik ve düşük maliyetli merkezlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Küresel Rekabet Edebilirlik Raporu 2019'a göre Hindistan, sıralamasını 81'den 52'ye yükselterek Küresel İnovasyon Endeksi'nde önemli bir gelişme göstermiştir. Öte yandan, Endonezya, robot stokları açısından Hindistan'ın çok gerisinde olmasına rağmen, teknoloji adapte etme oranında Küresel Rekabet Edebilirlik Raporu'na göre 142 ülke arasından 72. sırada gelmektedir. Bu haliyle robot kullanımının yaygınlaşması açısından umut vaat eden bir ülkedir (The Global Competitiveness Report, 2019)

Robotların ülkelere göre yoğunluğunun incelenmesi amacıyla Robot Yoğunluğu verisi oluşturulmuştur. En yalın ifade ile bin çalışan başına düşen robotu temsil eden robot yoğunluğu, hangi ülkelerin robot-yoğun olduğu konusunda fikir vermektedir.

Şekil 2. Ülkelere göre Ortalama Robot Yoğunluğu, 2004-2016

Almanya, Japonya, İtalya ve Kore, robot robotlarının yoğunluğunun en fazla olduğu ülkeler olarak sıralanmaktadır. Nüfus sayısının az olması nedeniyle nispeten az sayıda çalışanın bulunduğu Yeni Zelanda, Slovakya ve Finlandiya gibi ülkelerde robot yoğunluğu yüksek bir düzey göstermektedir.

Dinamik panel verilerinin durağanlık özelliklerini kontrol etmek için Levin-Lin-Chu (LLC), Im, Pesaran and Shin (IPS), Fisher-type (Fisher) ve Hadri LM panel birim kök testleri uygulanmıştır. Sonuçlara göre, LLC, tüm robot stoklarının ve kişi başına düşen GSYH'nin birim kökler içerdiğini belirtirken, IPS panel birim kök testi tüm panellerin durağan olmadığını göstermiştir. Öte yandan LLC,

istihdam/nüfus oranı ve katma değer panellerinin durağan olduğunu göstermektedir. Gecikme uzunluğunun bir olarak alınarak tüm panellerin, robot stoku hariç, durağanlığı sağlanmıştır. Fisher Testi, işgücü ödemeleri hariç diğer tüm panellerde birim kök varlığını göstermiştir ve birinci dereceden gecikme ile tüm panellerin durağanlığı sağlanmıştır. Son olarak Hadri LM testinde de birinci dereceden durağanlık sağlanmıştır.

Tablo 1. Panel Birim Kök Test Sonuçları

	EMP	Robot	GDP	VA	LC
	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.
LLC	0.0000	10.000	0.0917	0.0042	0.0000
IPS	0.0345	-	10.000	0.9988	0.0370
Fisher	0.0146	10.000	0.9994	0.9991	0.0131
Hadri LM	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Birinci dereceden gecikmeler

LLC	0.0000	0.8014	0.0000	0.0042	0.0000
IPS	0.0002	-	0.0000	0.0000	0.0000
Fisher	0.0001	0.8927	0.0000	0.0000	0.0000
Hadri LM	0.0049	0.0000	0.0012	0.0909	0.5629

Çalışmada robotların istihdam üzerindeki etkilerini tahmin etmek için dinamik panel veri teknikleri kullanılmıştır. Böylece veri setine zaman ve mekan boyutu dahil edilerek daha kapsamlı bir analiz imkanı elde edilmiştir. Analiz kapsamında kullanılan veriler kısa zaman (T) boyutu, büyük panel (N), dinamik bağımlı değişken ve katı olmayan dışsal bağımsız değişkenler özelliklerini taşıması nedeniyle Arellano and Bond(1995) and Blundell and Bond(1998) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Momentler Metodu'nun sistem yöntemi (System-Generalized Methods of Moments-SYS-GMM) kullanılmıştır. Ayrıca dinamik panellerle ortaya çıkan önemli bir sorun olan endojenite yanlılığı ve hata terimleri içinde heteroskedastisite ve otokorelasyon sorunlarının giderilmesinde SYS-GMM en etkili yöntem olarak bilinmektedir (Roodman, 2009)

Değişen varyans ve çoklu eş doğrusallık varsayımına yönelik değişkenlerde logaritmik dönüşüm sağlanması ile elde edilen model aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\ln \text{employment}_{i,t} = \alpha \ln \text{employment}_{i,t-1} + \beta_1 \ln \text{robot}_{i,t} + \beta_2 \ln \text{LaborCompen}_{i,t} + \beta_3 \ln \text{dpppercapita}_{i,t} + \beta_4 \text{ValueAdded}_{i,t} + \text{year}_t + (\theta_i + \varepsilon_{i,t})$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

Modelde θ_i zamanla değişmeyen bireysel sabit etkileri, ve ε olağan hata terimi ifade etmektedir.

Ekonometrik Bulgular

Robotların toplam istihdam üzerindeki etkisi üzerine dinamik panelin tahmin sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır. Arellano-Bond (AB) iki aşamalı sistem GMM sonuçlarına göre, robot stokunun katsayısı yüzde 10 anlamlılık düzeyinde negatif ve anlamlıdır. Sonuçlar, robotlardaki her artışın istihdam / nüfus oranında yaklaşık %0.7 düşüşe neden olduğunu göstermektedir. Emegın fiyat göstergesi olarak ele alınan emek tazminatı göstergesi istihdam düzeyini beklendiği gibi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca sonuçlar, kişi başına düşen GSYH ve katma değerin toplam istihdam üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Tüm ülkeler üzerinden yapılan incelemeye paralel olarak, yüksek gelirli ülkelerde robotların yüzde 5'lik önem seviyesine göre istihdam üzerinde anlamlı ve olumsuz etkileri vardır. Fakat bu etkinin yüksek gelirli ülkelerde daha olumsuz olduğu görölmektedir. Bulgulara göre, bir birimlik robot artışı, istihdamı %3.1 düşürmektedir. Ayrıca tüm ülkeler üzerinden yapılan incelemeden farklı olarak, yüksek gelirli ülkelerde istihdam, kişi başına GSYH'den etkilenmektedir. Tahmin sonuçlarına göre, kişi başına GSYH'nin istihdam üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkisi vardır.

Tablo 2. SYS-GMM Ekonometrik Bulgular

Bağımlı Değişken	lnEMP	lnEMP, Yüksek Gelirli Ülkeler
Bağımlı Değişkenin Gecikmesi	0.625	0.754
	(0.033)**	(0.002)*
lnRobot	-0.007	-0.031
	(0.067)***	(0.017)*
lnVA	0.068	0.048
	(0.326)	(0.711)
lnLC	-0.001	-0.028
	(0.01)**	0.179
lnGDP	0.044	0.417
	(0.198)	(0.014)**
Grup Sayısı	47	35
Enstrüman Sayısı	23	24
AR(2):	0.515	0.515
Hansen Test	0.390	0.335
*, **, *** sırasıyla% 1,% 5,% 10 anlamlılığı temsil etmektedir.		
Birinci ve ikinci sıralar sırasıyla katsayı seviyeleri ve olasılık seviyeleridir.		

Bulguların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada 2000li yılların başıyla üretilmeye ve kullanılmaya başlayan robot teknolojisinin istihdam üzerindeki etkileri niceliksel boyutları ile incelenmiştir. Robot teknolojisinin hızla yaygınlaşması ve başta gelişmiş ülkeler olmak üzere hem finans, hizmetler ve perakende sektörleri gibi modern hem de imalat sanayi gibi geleneksel sektörlerde kullanılması, robotların istihdam üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilere dair literatürde yaygın bir tartışmayı ortaya koymaktadır. Tam adaptasyon sürecinin sağlanmaması nedeniyle, robotların toplam istihdam üzerindeki net etkisi literatürde hala tartışılan bir konu olmayı sürdürmektedir. Çalışmanın amacı, robotların emek üzerindeki etkisinin tahminlenmesi konusunda ülke gözlem sayısının genişletilmesi ile literatüre katkı koymaktır.

Robot teknolojisi, kendisinden önceki teknolojilerden farklı olarak akıllı teknoloji olarak tanımlanan tam otonom çalışma özelliği gösteren bir sermaye biçimi olmasıyla insan emeğini ikame eden bir etkiyi barındırmaktadır. Dolayısıyla teknolojinin genel olarak emek üzerindeki tamamlayıcı ve ikame edici iki etkisinden ikame etme yanının baskın gelmesi, çalışmada hipotez olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada dinamik panel veri teknikleri kullanılmıştır. Robotların istihdam üzerindeki etkileri dinamik panel tahmin yöntemlerinden biri olan Genelleştirilmiş

Momentler Metodu'nun sistem yöntemi (System-Generalized Methods of Moments-SYS-GMM) kullanılmıştır. Analizde 47 ülke örneklemini üzerinden 2004-2016 yılları arası dönem incelenmiştir. Ampirik bulgulara göre, robotlardaki her artışın istihdam / nüfus oranında yaklaşık % 0.7 düşüğe neden olduğu saptanmıştır. Yüksek gelir gurubu ülkelerin dikkate alınarak yapılan analizde ise bir birimlik robot artışı, istihdamı %3.1 düşürmekte olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çalışmanın genel sonuçları, robot etkisinin istihdam üzerindeki olumsuz sonuçlarını gösteren çalışmaları desteklemektedir (Pajarinen ve Rouvinen, 2014, Brzeski ve Burk, 2015; Dauth vd., 2017, Pellegrino vd., 2017, Carbonero vd., 2018, Chiacchio vd., 2018; Acemoğlu ve Restrepo, 2019).

İstihdam üzerindeki robot etkisinin şiddeti çalışmamızda toplam ülkeler üzerinden %0.7 bulunmuştur. Çalışmamıza yakın veri seti ve metodolojisi dikkate alındığında elde edilen bu sonuç, Carbonero vd. (2017) ve Acemoğlu ve Restrepo (2017) çalışmalarından elde edilen sırasıyla %0.5 ve %0.37 seviyelerinin üzerinde yer almaktadır.

Yüksek gelirli ülkeler üzerinden yapılan analizde elde edilen sonuçlar ise literatürde yer alan robotların pozitif etkisini gösteren çalışmalardan (Pallegrino vd. 2017; Dauth vd.,2017) ayrışırken Bessen (2018) çalışmasını desteklemektedir. Bessen (2018), çalışmasında yüksek gelirli ülkelerde istihdam üzerindeki robot etkisinin ayrıştığını, fakat bu ayrışmanın negatif olduğunun altını çizmektedir. Bu argümanı ise piyasaların karşılanmamış büyük ihtiyaçlarının varlığı ile açıklamaktadır.

Sonuç olarak çalışmanın, makinelerin icadı ile birlikte insanlığın yaşamında var olan '*teknoloji bizı işsiz bırakır mı?*' sorusuna 21.yy teknolojileri yönünden verdiği yanıt olumsuz olmaktadır. Bu durum büyük bir oranda robotların dahil olduğu akıllı teknolojilerin tam otonom özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Robotların işsizliğe neden olan özelliklerinin yanı sıra ekonomik büyüme ile yeni iş sahalarının yaratacağı ve neden olduğu işsizliği telafi edeceği yönündeki argümanlar da literatürde yer alan görüşler arasındadır (Acemoglu and Restrepo (2017, 2018, and 2019).Teorik model üzerinden yapılan tahminlerle sınırlı kalan bu görüşler ampirik olarak henüz desteklenmemektedir. Çalışmamız da bu doğrultuda robotların emeği 'tamamlayıcı' etkisini desteklememektedir.

Robotların istihdam üzerindeki etkilerinin çalışmada genelleştirilmesi, çalışmanın önemli bir kısıtıdır. Bu kısıt, ülkelerin gelir seviyelerine göre karşılaştırmalı bir sonuç elde etmeyi mümkün kılmamıştır. IFR tarafından oluşturulan veriler, ülkelerin yıllık robot stokundan derlenmiştir. IFR veri setindeki orta-üst, orta-düşük ve düşük gelir gurubundaki ülke sayısı belirtilen dönem aralığında yetersiz olması, kesit sayısını küçültmesi nedeniyle SYS-GMM tahminlenmesine izin vermemektedir.

Belirtilen bu kısıt, aynı zamanda gelecek araştırmalar için bir fırsatı ortaya koymaktadır. Verilerin sağlanması halinde gelir guruplarına göre yapılacak bir analiz, farklı gelir guruplarının yapısal özelliklerini dikkate alan bir araştırmasını literatüre kazandıracaktır.

KAYNAKÇA:

- Acemoglu, D. ,Restrepo P. (2017). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. NBER Working Paper No. 23285.
- Acemoglu, D. ,Restrepo P. (2018). Modeling Automation. AEA Papers and Proceedings, American Economic Association, vol. 108, pp. 48-53.
- Acemoglu, D., Restrepo P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. IZA Discussion Papers 12293, Institute of Labor Economics (IZA).
- Aghion P.& Jones B.& Jones C.(2017). Artificial Intelligence and Economic Growth.Harvard University Press.
- Autor,D. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. Journal of Economic Perspectives—Volume 29, Number 3, pp. 3-30.
- Arntz, M. T. G. &Zierahn U. (2016). The risk of automation for jobs in OECD countries: a comparative analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No 189.
- Berg, A. &Buffie, E. &Zanna, L. (2015). Should We Fear the Robot Revolution? : The Correct Answer is Yes. IMF Working Papers. 18. 1. 10.5089/9781484300831.001.
- Bessen, J. E. (2017). Automation and Jobs: When Technology Boosts Employment. Boston University School of Law, Law and Economics Research Paper 17-09.
- Braun, S.&Burda, M.& Schneider D.&Severgnini B.(2009). The Impact of ICT on employment: Technical Report, EuropeanCommission - Directorate General Information Society and Media, Unit C1 - Lisbon Strategy and i2010.
- Brzeski, C. & Burk, I. (2015). The robots are coming: Consequences of automation for the German labor market.INGDiBa Economic Research.
- Brynjolsson, E. & McAfee, A. (2014). The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies.First Edition. New York: W. W. Norton & Company, 2014.
- Carbonero, F. & Ernst, E. & Weber, E. (2018). Robots worldwide the impact of automation on employment and trade. ILO Working Papers 995008793402676.
- Chiacchio, F. & Petropoulos, G.& and Pichler, D. (2018). The Impact of Industrial Robots on EU Employment and Wages: A Local Labor Market Approach. Working Paper no. 02, Bruegel, Brussels.
- Dauth, W. &Findeisen, S. &Südekum J.&Wößner, N. (2017). German Robots – The Impact of Industrial Robots on Workers. CEPR Discussion Paper DP12306.
- DeCanio, Stephen J., (2016). Robots and Humans – Complements or Substitutes?. Journal of Macroeconomics, Elsevier, vol. 49(C), pages 280-291.

- Feenstra, R.C.& Robert I. &Marcel P. T. (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10), 3150-3182.
- Frey, C.B.&Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerization?. *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier, vol. 114(C), pages 254-280.
- Lee, N. (2018). Total Automation: The Possibility of Lights-Out Manufacturing in the Near Future.*Missouri S&T's Peer to Peer 2*.
- Lindenboim J.& Kennedy D.& Grana M. (2011). Share of Labour Compensation and Aggregate Demand – Discussions Towards A Growth Strategy. *UNCTAD Discussion Papers* 203, United Nations Conference on Trade and Development.
- Gordon, R. (2012). Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds.NBER Working Papers, No. 18315.
- Graetz, G. & Michaels G. (2015). Robots at Work. CEPS Discussion Paper 1335, London: London School of Economics.
- Graetz, G. (2019). *Labor Demand in the Past, Present, and Future*. European Economy Discussion Papers 2015 - 114, Directorate General Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission.
- Hanson, R. (2001). Economic growth given machine intelligence. *Journal of Artificial Intelligence Research*.
- IMF (2020). World Economic Outlook 2020: Global Manufacturing Downturn, Rising Trade Barriers, International Monetary Fund, Washington DC.
- ILO (2020). World Employment and Social Outlook 2020.International Labour Office,Geneva.
- International Organization for Standardization [ISO], 2020. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>
- Manyika, J. (2017). A Future That Works: Ai, Automation, Employment, and Productivity.McKinsey Global Institute.
- OECD (2017a). Going Digital: Making the Transformation Work for Growth and Well-Being.OECD publishing, Paris.
- Olsen, M. & Hemous, D. (2014). The Rise of the Machines: Automation, Horizontal Innovation and Income Inequality. *2014 Meeting Papers* 162, Society for Economic Dynamics.
- Pellegrino, G. & Piva, M. & Vivarelli, M. (2017). Are Robots Stealing Our Jobs?. IZA Discussion Papers 10540, Institute of Labor Economics (IZA).
- Prettner, K. &Strulik, H. (2017). The lost race against the machine: Automation, education and inequality in an R&D-based growth model. Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics and Social Sciences, No. 08-2017.UniversitätHohenheim, FakultätWirtschafts- und Sozialwissenschaften, Stuttgart.

- PwC (2017). Will robots really steal our jobs?: An international analysis of the potential long -term impact of automation.
- Pajarinen, M. & Rouvinen, P. (2014). Computerization Threatens One Third of Finnish Employment. ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy vol. 22.
- Roodman, D. (2009). A note on the theme of too many instruments. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 71(1), 135–158.
- Sachs J. & Kotlikoff, L. (2012). Smart Machines and Long-Term Misery. NBER Working Papers 18629, National Bureau of Economic Research, Inc.
- UNCTAD (2017). Technological Change and The Future Of Jobs: Harnessing the Positive Potential of Technology for an Inclusive Future of Jobs. New York, 2020.
- UNCTAD (2020). World Economic Situation and Prospects 2020. New York, 2020
- IFR (2016). Industrial Robots: Definition and Classification. International Federation of Robotics (IFR), Frankfurt.
- IFR (2020). World Robotic Report 2020. International Federation of Robotics (IFR), Frankfurt, Germany.
- WB (2020). World Development Indicators (2020). The World Bank.
- World Economic Forum (2019). The Global Competitiveness Report. World Economic Forum, Geneva.