



## Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirliğe Etkileri

Kerem Toker<sup>1</sup>

### Öz

2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi tarafından yayınlanan Endüstri 4.0 bildirgesi ekonomideki dijital dönüşüme vurgu yapmaktadır. Fabrikaların dijitalleşmesi ile birlikte daha hızlı, esnek ve düşük maliyetli üretim yapılması planlanmaktadır. Bu sayede üretim gücünü Uzak Doğu ekonomilerine kapıran Batı ekonomileri, Batı menşeli fabrikaların kendi ülkelerine dönüşünü sağlamayı, böylece rekabet avantajı elde etmeyi hedeflemektedir. Yaşanan bu gelişmelerin sürdürülebilirliğe doğrudan etkilerinin olması beklenmektedir. Üretimin yenilenebilir enerji kaynakları ile gerçekleştirilmesi, daha az enerji ve hammadde kullanılması, mavi ve orta kademe beyaz yaka çalışanların yerini robotların alması, ekonomi içerisindeki birçok işin ortadan kalkıp yerine farklı beceriler isteyen yeni işlerin gelmesi gibi konular sürdürülebilirlik alanında tartışmaya açılmıştır. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra, literatürde ve iş dünyasında Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliğe etkisi hakkında yapılan tartışmalar sistematik olarak ele alınıp değerlendirilmiştir. Bu bağlamda sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi boyutlarında yeni kavram ve konuların gündeme geldiği, bu kavram ve konuların araştırmacılar için yeni çalışma alanları yaratması beklenmektedir.

### Anahtar Kelimeler

Endüstriyel Devrim • Endüstri 4.0 • Sürdürülebilirlik

## Industry 4.0 Declaration and its Effects on Sustainability

### Abstract

The Industry 4.0 declaration, published by the German National Academy of Sciences and Engineering in 2013, emphasizes on the digitization of the economy. The digitization of factories is aimed to produce faster, more flexible, and more economical production. Western economies that have lost production to Far East economies aim to make Western factories expand in their own countries to gain competitive advantage. These developments are expected to have direct effects on sustainability. Issues such as the realization of production with renewable energy resources, utilization of less energy and raw materials, displacement of oily rags and white collar employees by robots, and emergence of the same kind of jobs in the economy instead of new ones demanding different skills have been opened to debate in the field of sustainability. In this paper, the effects of Industry 4.0 on sustainability in literature and in the business world are systematically addressed and evaluated. In this context, it is expected that new concepts and issues of sustainability will develop in the dimensions of environment, society, and economy; thus, create new fields of work for researchers.

### Keywords

Industrial Revolution • Industry 4.0 • Sustainability

1 Kerem Toker (Dr. Öğr. Üyesi), Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İşletme Yönetimi Programı, İstanbul Türkiye.  
Eposta: keremtoker@beykent.edu.tr

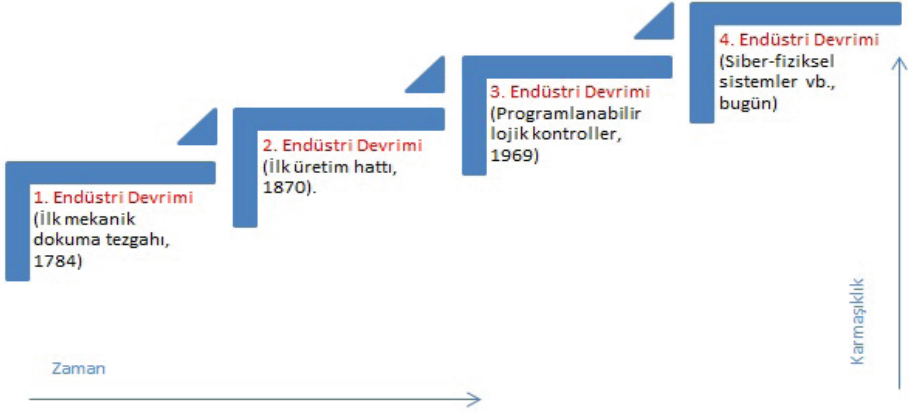
**Atf:** Toker, K. (2018). Endüstri 4.0. ve sürdürülebilirliğe etkileri. *Istanbul Management Journal*. Advance Online Publication.  
<http://dx.doi.org/10.26650/imj.2018.29.84.0003>

Modern endüstrinin gelişimi yüzlerce yıl sürmüştür ve günümüzde Endüstri 4.0 çağına gelinmiştir. Endüstri 4.0 kavramı ilk defa 2011’de Almanya ekonomisinin gelişimi için Hannover Ticaret Fuarı’nda önerilen bir kavramdır (Lu, 2017). Geçmişten günümüze endüstriyel devrimler incelendiğinde Banger (2016) birinci endüstri devriminin 18. yüzyılın sonlarında su ve buhar gücünün üretimde kullanılmasıyla, ikinci endüstri devriminin elektrik enerjisinin üretimde kullanılıp kitlesel üretime geçilmesiyle ve üçüncü endüstri devrimi ise 1970’li yıllarda üretim süreçlerinde elektroniğin (mikroişlemcilerin) ve bilgisayarların yer almasıyla ortaya çıktığını belirtmektedir. Günümüzde, Endüstri 4.0 olarak tanımlanan dördüncü endüstriyel devrimin başlıca özelliğinin ise, heterojen veri ve bilgi bütünleşmesine dayanan siber fiziksel sistemlerin (SFS) üretimde kullanılması olmaktadır (Lu, 2017). Endüstri 4.0’a yönelik gelişmeler şu anda imalat sanayiinde önemli bir etkiye sahiptir (Stock ve Seliger, 2016). Endüstri 4.0’ın temel hedefi, daha yüksek düzeydeki bir otomasyona ve daha yüksek düzeyde bir operasyonel etkinlik ve üretkenliğe ulaşmaktır (Lu, 2017). Bu ekonomik dönüşüm, endüstriyel internet olarak adlandırılan nesnelerin ve hizmetlerin internetiyle ortaya çıkan akıllı fabrikalar, akıllı ürünler ve akıllı hizmetlerin kurulmasına dayanmaktadır. Ayrıca, yeni ve yıkıcı iş modelleri, Endüstri 4.0 öğelerinin etrafında gelişmektedir (Stock ve Seliger, 2016). Konu teknik bakış açısından ele alındığında ise, Endüstri 4.0, imalat ortamının sayısallaştırılması ve otomasyonu sayesinde işletmeyle çevresi arasındaki iletişimin, dijital bir değer zinciri oluşturularak sağlanması olarak tanımlanabilmektedir (Oesterreich ve Teuteberg, 2016).

### Endüstri 4.0’ın Ortaya Çıkışı

Endüstriyel sektör, Avrupa Birliği’nde ekonomik büyümenin (örneğin istihdam yaratma) ana itici gücüdür ve birliğin tüm ihracatının %75’ini ve tüm yeniliklerinin % 80’ini oluşturmaktadır (Hofmann ve Rüsç, 2017). AB GSYİH’nın yaklaşık %17’si sanayi tarafından gerçekleştirilmektedir; bu da aynı zamanda birlik içerisinde yaklaşık 32 milyon iş pozisyonu ile çeşitli ek mesleklerin varlığı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda AB endüstrisi, yaşlanan nüfus ve gelişmekte olan ülkelerden gelen rekabet baskısı gibi birçok problemle karşı karşıyadır. Ekonomik Politika Komitesi ve Avrupa Komisyonu’na göre, AB’de çalışma çağındaki nüfus (24 ila 60 yaşları arasında) 48 milyona (%16) düşerken, 2050 yılına kadar 58 milyon yaşlı insanın işgücünde istihdam edileceği tahmin edilmektedir (Qin ve ark., 2016). Bununla birlikte Avrupa endüstrisi iki farklı özellik göstermektedir. Doğu Avrupa ve Almanya sürekli büyüyen bir sanayi sektörüne sahipken, başta İngiltere ve Fransa gibi birçok Batı Avrupa ülkesi küçülen sanayi pazar paylarına sahiptir. Son yıllarda Avrupa, ekonomi içerisindeki sanayi payını %10’dan fazla bir oranda kaybederken (Hofmann ve Rüsç, 2017), (%36’dan %25’e düşmüştür), Çin, Hindistan, Brezilya vb. gelişmekte olan ülkeler son yirmi yılda ekonomilerindeki sanayi payını iki katına çıkarmış ve sanayi üretimleri ekonomilerinin %40’ına ulaştırmışlardır (Qin ve ark., 2016). Avrupa Birliği ve dünya ekonomisindeki bu gelişmeler ışığında Endüstri 4.0

kavramı, endüstriyel üretim ile bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT) arasındaki yarınsama yoluyla ülkedeki imalat sektörünün rekabet gücünü güçlendirmek amacıyla akademisyenler, endüstriyel şirketler ve Alman Hükümeti tarafından yapılan girişimlerden doğmuştur (Baena ve ark., 2017). Bu doğrultuda Endüstri 4.0'ın ana fikirleri ilk kez 2011 yılında Kagermann tarafından yayınlanmış ve bu yayın, 2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi tarafından yayınlanan Endüstri 4.0 bildirgesinin temelini oluşturmuştur (Stock ve Seliger, 2016).



Şekil 1. Endüstriyel devrimin aşamaları (Gabriel ve Pessl, 2016).

Endüstri 4.0 paradigması, artan ürün çeşitliliğine ve tedarik zincirinin karmaşıklığına karşılık verebilmek için üretim sistemleri ve süreçlerinde daha fazla esneklik gerektiğini savunmaktadır. Bu esneklik, üretim hattının planlama departmanı ile bilgi teknolojileri üzerinden entegrasyonu ve ardından müşteriler ve tedarikçilerle entegrasyonu ile gerçekleşebilir. Bu entegrasyon sayesinde etkin ve hızlı bir şekilde özelleştirilmiş ürünlerin pazara sunulması beklenmektedir (Fallera ve Feldmüllera, 2015).

Sonuç olarak, eşzamanlı olarak ürünlerin planlanması üretim süreçlerinin, ürün kalitesinin iyileşmesine ve pazara giriş süresinin azalmasına neden olmaktadır (Oesterreich ve Teuteberg, 2016). Böylece iş süreçlerinde daha fazla esneklik sağlanabilir, teslimat süreleri kısaltılabilir, ürünler küçük partilerde özelleştirilebilir ve maliyetler düşürülebilir (Lu, 2017). Bu bağlamda diğer endüstri ülkelerinde de benzer stratejiler önerilmektedir. Örneğin Avrupa düzeyinde Endüstri 4.0'a karşılık gelen sözcük, "Geleceğin Fabrikaları", ABD'de "Endüstriyel İnternet" ve Çin'de "İnternet +" olarak ifade edilmektedir (Mrugalska ve Wyrwicka, 2017).

### Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri

Endüstri 4.0 paradigmasını oluşturan temel bileşenler; siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti ve akıllı fabrikalar olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu bileşenler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

## Siber Fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistemler (SFS), geniş dijital algılamaya dayanan geribildirim kontrol sistemleridir. Böylece, SFS’de, cihazlar (sensorlar, çalıştırıcılar ve sensorla hareketli cihazlar) belirli bir uygulamayı yürüten bir kontrol sisteminden bilgi temin eder ve aldığı bu geribildirimler sayesinde sistemde kesintisiz kontrol döngüleri gerçekleştirir. Genel olarak SFS, üretim hattının üretim planlama yazılımlarıyla kesintisiz bir şekilde bütünleştiğini ve böylece gömülü sistemleri veya gömülü aygıtları oluşturduğunu varsaymaktadır (Bordel ve ark., 2017). Siber-fiziksel sistemler, üretim sürecinin hesaplamaları etkileyebileceği (veya tersi) geribildirim döngüleri ile birlikte, gömülü hesaplamaların üretim süreçlerini sürekli izleyip ve kontrol ettiği, üretim hattının, işleme süreçlerinin, hesaplamanın ve ağıın birbirleriyle entegrasyonudur (Liu ve Xu, 2017). Bu bağlamda endüstri 4.0, üretim sistemleri içerisinde karar vermeyi sürecini desteklemek, ya da tüm üretim sistemi boyunca fiziksel ve dijital teknolojilerin bir sentezini yapmak üzere siber-fiziksel sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması için gerekli olan ilişkili teknolojilere odaklanır (Oliff ve Liu, 2017). Bununla birlikte siber fiziksel sistemlerin havacılık, otomotiv mühendisliği, sivil altyapı, enerji, sağlık, imalat, ulaşım, eğlence ve tüketici cihazları ve cihazlarındaki uygulamalar ile birlikte uygulanan birçok mühendislik alanını içerir. Aynı zamanda akıllı evlerde, akıllı şehirlerde ve akıllı ofislerde de siber fiziksel sistemlerin kullanıldığı görülmektedir (Stojmenovic ve Zhang, 2015).

## Nesnelerin İnterneti

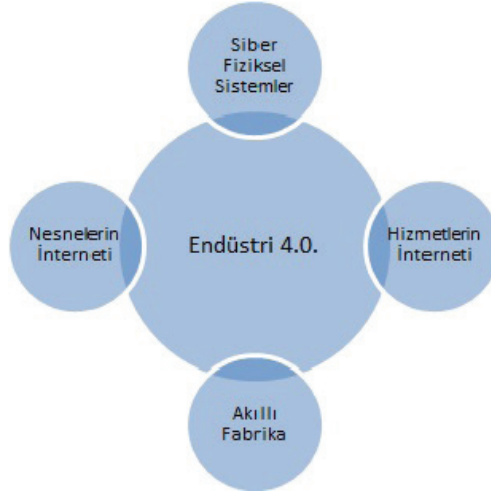
Nesnelerin İnternet’i (Nİ), günlük nesnelerin birbirleri ile bağlantı kurmasına dayanan bir paradigmadır (Gago ve ark., 2017). Nİ, insan müdahalesi olmaksızın birbirleriyle iletişim kurabilen çeşitli sensorları ve akıllı nesnelere bütünleştirmesi sayesinde nesnelere (şeyler), diğer nesnelere bağlantılı olarak özerk bir biçimde çalışmaktadır (Conti ve ark., 2017). 2020’ye kadar dünya genelinde yaklaşık 26 milyar adet nesnenin internet ortamında birbirine bağlanması beklenmektedir. Konu ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise, ekonomik büyüme ve istihdama dönüşecek olan, Nİ ile ilgili 1,9 trilyon \$’lık ürün ve hizmet üretiminin gerçekleşmesi beklenmektedir (Gago ve ark., 2017). Nİ, işletmenin gelirini artırmaya, maliyetlerini düşürmeye ve verimliliğini iyileştirmeye yardımcı olan benzeri görülmemiş fırsatlar yaratmaktadır. Ancak bunun için büyük miktarda veri toplamak tek başına yeterli değildir. İşletmeler Nİ’den fayda elde etmek için, büyük bir hacimdeki sensor verisini ölçeklendirebilen, düşük maliyetli bir şekilde toplayabilen, yönetebilen ve analiz edebilen bir veri işleme platformu oluşturmalıdır (Ahmed ve ark., 2017). Bundan dolayı Nİ özellikli siber-fiziksel sistemler, ağa katılan cihazlar (nesnelere) arasındaki etkileşimi destekleyen iletişim altyapısına güçlü bir şekilde bağlıdır. Bu nedenle, ağıın kalite özellikleri, SFS’nin performansını ve davranışını doğrudan etkiler (Ochoa, 2017).

## Hizmetlerin İnterneti

Nesnelerin *İnterneti*'ne benzer bir şekilde internet ve web teknolojileri aracılığıyla hizmetlerin kolaylıkla erişilebilir hale getirildiği, şirketlerin ve özel kullanıcıların yeni tür katma değerli hizmetleri bir araya getirmeleri, oluşturmaları ve sunmalarına izin verdiği fikrine dayanılarak hizmetlerin interneti (Hİ) kavramı ortaya çıkmıştır (Hofmann ve Rüsç, 2017). Bu bağlamda önümüzdeki yıllarda işletmeler, uçuş rezervasyonu veya kitap satın almayı aşan çok sayıda yeni türde hizmet kurmak ve sağlamak için internet platformlarını kullanacaklardır. Günümüzde web ortamında ayrı olarak sunulan hizmetler birleştirilecek ve birbiriyle bağlantılar kurulacaktır. Ayrıca işbirlikçi katma değerli hizmetler ortaya çıkmaktadır. Web teknolojilerini kullanarak hizmetler daha yaygın ve kolay bir şekilde kullanılabilir hale gelecektir. İşletmeler, çoğu durumda pazarın başarısı için bir gereklilik olan değer ağları oluşturmak için başka işletmeler ile iş süreçlerini paylaşacaktır (Fischer, 2014).

## Akıllı Fabrika

Endüstri 4.0'ın ana bileşenlerinden biri olan akıllı fabrika, yalnızca tüm üretim kaynaklarının (sensorlar, aktuatörler, makineler, robotlar, konveyörler vb.) birbirlerine bağlı ve otomatik olarak bilgi alışverişinde buldukları değil; aynı zamanda makine arızalarını öngören ve önleyen, üretim sürecini yönetip kontrol eden dijital bir entegrasyonu içeren bilinçli ve zeki bir sistemdir (Qin ve ark., 2016). Akıllı fabrikalarda otomasyon süreçleri, cihazların ve makinelerin birbirleriyle haberleşerek üretim işlemlerini kendi içlerinde belirleyip, düzenlemeleri anlamına gelmektedir. Örneğin, üretimin herhangi bir aşamasında kaynak sıkıntısı olması durumunda, gerekli kaynak siparişi otomatik olarak verilmekte, oluşan arızalar anında ve yerinde tespit edilerek giderilmekte ve sistem tam kapasiteyle sorunsuz bir şekilde çalıştırılmaktadır (Siemens, 2017). Endüstriyel üretimde hızla artan karmaşıklığı destekleyen akıllı fabrika, aynı zamanda verimliliği de sağlamaktadır. Akıllı fabrikada insanlar, makineler, taşıma ve depolama sistemleri ile üretim tesisleri arasında doğrudan iletişim söz konusudur (Gabriel ve Pessl, 2016). Üretim sistemlerinde yaşanan bu gelişmeler doğrultusunda Capgemini danışmanlık firması, akıllı fabrikaların önümüzdeki beş yıl içerisinde küresel ekonomiye 500 milyar \$'a 1,5 milyar \$ arasında bir katma değer artışı sağlayacağını öngörmektedir. Bununla birlikte Alman yarı iletken üreticisi Infineon, Singapur'daki fabrikasını akıllı fabrikaya dönüştürmek için önümüzdeki beş yıl içinde 105 milyon \$ yatırım yapmayı planlamaktadır. Adidas ise Uzak Doğu'daki üretim tesislerini Almanya'ya geri getirmek için 3B baskı makineleri ve robotlar satın alarak akıllı fabrika kuracağını belirtmektedir (Capgemini, 2017).



Şekil 2. Endüstri 4.0 ve temel bileşenleri.

### Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirlik Kavramı

İşletmeler, ekonomik büyüme, yoksulluğun azaltılması, istihdam ve gelirin daha adil bir şekilde dağılımını sağlayacak refahın yaratılması ve üretkenlik artışının sağlanması gibi ülkelerin ulusal kalkınma hedeflerini gerçekleştirmede gerekli unsurlar olarak dinamik bir rol oynamaktadır (Bakkari ve Khatory, 2017). Endüstri 4.0 çağında da işletmelerin temel amacı, iletişim, bilgi ve akılcılık yoluyla üretimin esnekliğini ve verimliliğini artırarak uzun vadeli rekabet güçlerini güçlendirmek ve geliştirmektir (Gabriel ve Pessl, 2016). Aynı zamanda enerji ve kaynak verimliliği, üretkenliğin artırılması, inovasyonun ve pazarlama döngüsü sürelerinin kısaltılmasının yanı sıra değer ağları aracılığıyla yatay ve düşey entegrasyon ve mühendisliğin tüm değer zincirinde uçtan uca dijital entegrasyonu hedeflenmektedir (Prause, 2015). Bu bağlamda verimlilik artışıyla ekonomik sorunların çözümlerini kolaylaştırarak, şeffaf ve izlenebilir bir üretim sistemiyle ürünleri müşteriye göre özelleştirerek Endüstri 4.0, tüm değer zincirinde olumlu sürdürülebilirlik etkileri yaratma potansiyeline sahiptir (Wagner, 2016).

Bu gelişmelerden dolayı Endüstrisi 4.0 paradigmasının, daha sürdürülebilir endüstriyel değer yaratmaya doğru atılmış bir adım olduğu ifade edilebilir. Bu adım literatürde esas olarak sürdürülebilirliğin çevre boyutuna katkı olarak nitelendirilmektedir. Endüstri 4.0 sayesinde kaynak tahsisi -yani ürünler, malzemeler, enerji ve su tahsisi-, akıllı ve birbirine entegre değer yaratma süreçleri temelinde daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir (Stock ve Seliger, 2016). Ancak bununla birlikte Endüstri 4.0 kavramı beraberinde pek çok ekonomik ve sosyal dönüşümü de getirmektedir. Literatürde ve iş dünyasında Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişkinin tar-

tışılması henüz çok yenidir. Bu doğrultuda sürdürülebilirlik kavramının üç temel boyutunu oluşturan çevre, toplum ve ekonomi kavramları Endüstri 4.0 bağlamında değerlendirilerek ilgili yazına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

### **Endüstri 4.0 ve Çevre**

Endüstri 4.0'da akıllı ürün sistemi, kurumsal yönetim sistemi, iş süreci ve tüketim sistemi derin bir şekilde entegredir ve bir ürünün tam yaşam döngüsü kayıtları (hammadeden tüketime ve atık prosesine kadar), o ürünün tasarımı ve ürünü geliştirmek için kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2017). Bu durum üretim aşamasında gereksiz hammadde stokunun oluşmasını ve pazar tarafından talebi düşen ürünlerin üretimini engellemektedir. Aynı zamanda ekonomik ve teknik ömrünü tamamlamış ürünlerin tespit edilip, geri dönüşümlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. 2000'den fazla işletmenin katıldığı PWC 2016 Küresel Endüstri 4.0 anketinde, sanayi sektöründe %4,1 verimlilik artışı ile yıllık ortalama maliyet düşüşünün %3,6 olacağını öngörülmektedir (PWC, 2016). Bu durum üretimde daha az kaynak kullanımını beraberinde getirecektir.

Bununla birlikte günümüzde üretimde biyo-temelli enerji kullanımına başlamak için önemli araçlar mevcuttur. Biyo-bazlı piller, suni fotosentez ve biyoyakıt üreten mikroorganizmalar sürdürülebilir enerji kaynakları alanındaki son atılımların sadece bazılarıdır. Hükümetler, biyo-temelli üretim için sürdürülebilir tedarik zincirlerinin geliştirilmesine destek olabilir ve üretimle ilgili teknik ve ekonomik sorunları genellikle kamu-özel ortaklığıyla çözmeye yardımcı olabilirler. Hükümetler, ayrıca, biyo-temelli ürünlerin ticaretinin ve yatırımlarının önündeki yasal engelleri kaldırmaları ve sürdürülebilir enerji için disiplinlerarası bilimi ve eğitimi desteklemelidir (OECD, 2016). Ayrıca 3 Boyutlu (3B) baskı sistemlerinin, sürdürülebilir malzeme kullanımını mümkün kılmaktadır. Bunun nedeni daha önce sadece plastik malzemelerle şekillendirilen ürünlerin daha az kimyasal bileşen içeren malzemeler ile üretilmesine izin vermesi ve bazı süreçlerde ölçek ekonomilerini düşürerek materyallerin gereksiz kullanılmasına engel oluşturmasıdır (OECD, 2016). 3B baskı teknolojisinin daha sürdürülebilir olmasının bir başka nedeni de sistemin nihai ürünler ya da girdi materyalleri olsun, atıkları ortadan kaldırmasıdır. Özellikle bazı 3B baskı makinasi türleri neredeyse hiç atık yaratmadan parçalar üretebilmektedir (OECD, 2017).

### **Endüstri 4.0 ve Toplum**

Geçmişteki endüstri devrimleri, yeni, daha üretken teknolojilerin yayılım süreci yüzünden işleri kolaylıkla ortadan kaldırarak düşük vasıflı işçiler için dezavantajlar yaratırken, dijital devrim aynı zamanda orta yeterlilik düzeyindeki iş gücünü de etkilemektedir. Bunun nedeni, bilgi ve iletişim teknolojisindeki ilerlemenin, belirli kural ve yordamlara dayanan daha karmaşık görevlerin de otomasyonunu sağlamasıdır (Hagemann, 2016). Bu bağlamda veri, yazılım, donanım vb. otomasyon mali-

yetleri düşmeye başlayınca fabrikada veya ofiste süreç tabanlı görevler için daha az çalışana ihtiyaç duyulacaktır. Bunun yanında siber-fiziksel sistemleri geliştirmek ve optimize etmek için giderek daha fazla iş yaratılacaktır (Baldassari ve Roux, 2017). Yeni pazarlar ve yeni işletmelerle birlikte, insan yeteneklerini çok farklı şekillerde kullanan yeni iş kategorileri oluşmaktadır. Endüstri 4.0'daki en popüler işlerin çoğu 10 yıl önce mevcut değildi. Uygulama geliştiricileri, bulut bilişim uzmanları ve veri bilimcileri, yeni teknolojilerin iş dünyasında yer almasıyla birlikte yaygınlaşmıştır. Sosyal medya yöneticileri ve sürdürülebilirlik yöneticileri, bu yeni teknolojilerin yanı sıra diğer ürün ve hizmetleri pazarlamak için kritik önem taşımaktadır. Çünkü otomasyona dayalı süreçler, hemen hemen her zaman insanın bir işi tasarlamasını ve tamamlamasını gerektirmektedir. (Baldassari ve Roux, 2017). Örneğin, günümüzde mühendisler, çalışma sürelerinin %31'ini değer üretici faaliyetler yerine bilgi aramak için harcamaktadır (Stăncioiu, 2017). Büyük veriyi analiz edebilen yapay zekâlar sayesinde, iş yerlerinde daha az, fakat daha etkin çalışma biçimleri meydana gelecektir.

TÜSİAD'ın 2016'da yayınlamış olduğu Endüstri 4.0 raporuna göre büyüme hedeflerinin de gerçekleşeceği varsayımıyla, toplam sanayide istihdam edilen iş gücü ihtiyacının artacağı ve daha da önemlisi çok daha nitelikli eğitim ve gelir düzeyi yüksek bir iş gücü yapısının oluşacağı öngörülmektedir. Bu doğrultuda önümüzdeki on yılda, istihdamda yetkinlik düzeyi düşük işlerde iş gücünün azalması olası olmakla birlikte, sanayi üretiminin artması ile toplamda mutlak bir artış yaşanması beklenmektedir. OECD 2016 yılında yayınlamış olduğu Bir Sonraki Üretim Devriminin Sağlanması: İmalatın Geleceği ve Hizmetler - Ara Rapor'unda yeni teknolojilerin birçok doğrudan ve dolaylı kanal aracılığıyla iş yaratacağını ve verimliliği arttıran teknolojilerin işletmelere ve ekonomiye genel olarak fayda sağlayacağını belirtmiştir. Aynı raporda hızlı bir iş göçünün büyük bir sektörde ya da birçok sektörde eşzamanlı olarak gerçekleşmesi durumunda birçok ülkeyi etkileyen sıkıntıların yaşanabileceği belirtilmiştir. Politika yapımcıların, işgücü piyasası düzenlemeleri konusunda belirli politikalar izlemeyip, bu politikaları aktif olarak yönetmeleri gerektiği ifade edilmiştir. Öztuna (2017) ise Endüstri 4.0'ın üretim ve tüketim arasında daha derin bir dengesizlik yaratacağını ifade etmiştir. Yeni ekonomik yapı içerisinde, işverenler işçilere verdiği maaş, sosyal güvenlik primleri ve kıdem tazminatı gibi giderleri robotlara vermeyecekleri için gelirin büyük bir kısmı işverende kalacağı, bu nedenle toplumda gelir eşitsizliğinin artacağı öngörülmektedir. Böyle bir durumda robotlardan vergi alınması gibi politikaların üretilmesine ihtiyaç duyulabilecektir. Bunun birlikte yeni teknolojilerle eş zamanlı olarak ortaya çıkan insan bulutu ve GIG ekonomisi sendikaların zayıflamasına ve iş güvencesinin ortadan kalkmasına neden olabilecektir.

### **Endüstri 4.0 ve Ekonomi**

Rojko'ya (2017) endüstri 4.0'ın işletmelere üretim maliyetlerinde %10-30, lojistik maliyetlerde %10-30 ve kalite yönetim maliyetlerinde %10-20 arasında bir dü-



şüş sağlaması beklenmektedir. Öte yandan, günümüzde tam otomatik bir fabrikada (akıllı fabrika) yatırım getiri oranı işletmeler açısından henüz cazip görünmemektedir (Stăncioiu, 2017). Bu durum işletmelerin akıllı fabrikalara yönelik yatırımlarının düşük seviyede kalmasına neden olmaktadır. Ancak yine de işletmelerin dijital dönüşümden uzak kalmaları pek mümkün görünmemektedir. Baysal'a (2015) göre günümüzde dijitalleşmeye yatırım yapan işletme oranı %21 iken, önümüzdeki beş yıl içerisinde bu oran %81'e çıkacaktır. Bu durumda küresel ekonomideki dijital dönüşümün dışında kalan işletmelerin orta vadede rekabet güçlerini kaybedecekleri söylenebilir. Bununla birlikte TÜBİTAK'ın 2016'da yayınlamış olduğu Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası raporuna göre Endüstri 4.0 ile birlikte 2030 yılına kadar dünya ekonomisinde yaşanacak belli başlı eğilimler şöyledir:

- **2018:** Sanayide kullanılacak robot sayısı yaklaşık 3 milyon olacak.
- **2020:** Birbirine bağlı cihaz sayısı 13 milyardan 29 milyara çıkacak. Nesnelerin interneti pazarının büyüklüğü 656 Milyar USD'den 1.7 Trilyon USD'ye çıkacak.
- **2025:** Endüstriyel robotların yaratacağı ekonomik etki yıllık 0.6-1.2 Trilyon \$ olacak. Gelişmiş ülkelerdeki imalat süreçleri %15-25 oranında otomasyona dayalı gerçekleşecek.
- **2030:** OECD ekonomilerindeki yenilik aracılığıyla, GHYİH artışı verimlilik artışına bağlı hale gelecek. Dijital teknolojilerin verimlilik, gelir dağılımı ve çevre üzerine güçlü etkileri olacak. Küresel ticaret hacminin yarısı akıllı nesnelerin etkileşimini kullanacak.

2020 yılını kadar Avrupa endüstrisinin dijital dönüşüme 140 milyar Avro yatırım yapması planlanırken (Baysal, 2015), Alman ekonomisi özelinde örnek verilecek olursa; Endüstri 4.0'ı uygulamaya başlayan Alman üretim sektörünün verimlilik kazancı, toplam üretim maliyetinin %5-8 düşmesi ile beraber tutar olarak önümüzdeki 10 yıl içinde 90-150 milyar Euro arasında gerçekleşeceği öngörülmektedir. Malzeme maliyetleri dışarıda bırakıldığında, işleme maliyetlerinde %20 civarında düşüş sağlanması beklenmektedir. Bu kazançları elde edebilmek için ise Alman üreticilerin üretim sistemlerini ve süreçlerini Endüstri 4.0'a uyumlu hale getirmek için önümüzdeki 10 yıllık dönemde 250 milyar Euro yatırım yapması beklenmektedir. Aynı zamanda kuruluşların ileri teknolojilere, tüketicilerin ise özelleştirilmiş ürünlere olan ilgisinin artmasıyla talepte görülecek artışın 300 milyar Euro'luk ek gelir elde edilmesine imkan sağlaması ve büyümedeki bu artışın da aynı dönemde istihdamda %6'lık bir artışa neden olması öngörülmektedir (TÜSİAD, 2016).

Tablo 1  
Endüstri 4.0 Çerçevesinde Tartışılan Sürdürülebilirlik Konuları

Çevre	Ekonomi	Toplum
3B Baskı	Küresel ekonomide artan akıllı sistemler	Nitelikli işgücü ihtiyacı
Biyo-enerji kullanımı	Dijital dönüşüm	Azalan çalışma süreleri
Verimlilik artışı	Artan yatırımlar	Küresel ölçekte endüstri güçleri
Azalan hammadde kullanımı	Hızlı ekonomik büyüme	Yeni işler / meslekler
Üretimde azalan atıklar dönüşüm		GIG ekonomisi, sendikaların zayıflaması

## Sonuç

Son beş yıldır dünya ekonomisi Endüstri 4.0 başlığı altında önemli bir endüstriyel dönüşümü tartışmaktadır. Kısaca üretimin dijitalleşmesi olarak tanımlanabilecek Endüstri 4.0 kavramı, iş dünyasında, ülke ekonomilerde, çevrede ve toplumda önemli değişimlere neden olmaktadır. Alışlagelen birçok iş yapma biçimini değiştiren yeni endüstriyel devrim, özellikle yönetim ve organizasyon disiplininin ilgi alanına girmektedir. Siber-fiziksel sistemler, nesnelere interneti, hizmetlerin interneti ve akıllı fabrika ana bileşenlerinden oluşan yeni endüstriyel paradigma, işgücü ile robotların işbirliğine esas alan, böylece daha hızlı, daha esnek olarak ve daha müşteriye özel ürünlerin pazara sunulmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda yaşanan gelişmelerin sürdürülebilirlik kavramının temelini oluşturan çevre, ekonomi ve toplum üzerinde de doğrudan etkisinin bulunması öngörülmektedir. Ancak Endüstri 4.0 anlayışı ile ilgili ülkelerin ve işletmelerin plan, program, strateji ve uygulamaları henüz netlik kazanmadığı için, literatürde bu anlayışı sürdürülebilirlik açısından ele alan araştırmalar son derece sınırlıdır. Bununla birlikte kamu kurum ve kuruluşların, sivil toplum örgütlerinin önümüzdeki on beş yıl içerisinde yeni endüstri devriminin çevre, ekonomi ve toplum üzerinde ne gibi etkilerinin olabileceğine dair tahminlerde bulunduğu görülmektedir.

Yaşanan bu gelişmeler çerçevesinde Endüstri 4.0'ın üretim süreçlerinde giderek daha az fosil yakıt kullanacağı, biyo-enerjinin ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının giderek önem kazanacağı ve devletlerin bu yönde yatırım yapan işletmeleri teşvik eden düzenlemeler yapacağı belirtilmektedir. Bunun birlikte başta 3 Boyutlu (3B) baskı olmak üzere yeni teknolojilerin üretim kullanılmasıyla birlikte, hatalı üretim ortadan kalkacak, üretim sırasında ortaya çıkan atık ve ıskartaların önüne geçilecektir. Böylece üretim süreçleri hızlanırken, kaynak kullanımı en alt seviyeye inecektir. Dijital dönüşümün yaratacağı gerçek zamanlı veri kazanımı sayesinde üretimde verimlilik artışı yaşanacaktır. Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliğin bir diğer boyutu olan ekonomi boyutuna etkileri değerlendirildiğinde ise, ilk olarak küresel ekonomide hızlı bir ekonomik büyüme yaşanması beklenmektedir. Öncelikle işletmelerin yapmak zorunda kalacakları dijital yatırımlar bu büyümede katalizör görevi üstlenecektir. Böylece işletmelerin ve ülkelerin sürdürülebilir performansları için dijitalleşen ürün

ve hizmetler temel unsur olacaktır. Bununla birlikte ülke ekonomilerinin nesnelere interneti ve web teknolojileri sayesinde küresel ekonomiye daha hızlı ve kolay entegre olmaları öngörülmektedir.

Endüstri 4.0 toplumun geleceği açısından ele alındığında ise, özellikle işgücü piyasasında önemli değişimlerin yaşanması beklenmektedir. İşletmelerde mavi yakalı işçilerin yerini robotların alması öngörülmürken, aynı zaman beyaz yakalı işçilerin yaptığı pek çok işi de yapay zekânın gerçekleştirmesi beklenmektedir. Bu durumda insanın kas ve beyin gücüne dayalı birçok iş ortadan kalkacakken, bu işlerin yerine de yüksek yetkinliklere dayalı birçok yeni iş gelecektir. Bu durumda toplum içerisinde eğitim fırsat eşitliğinin yaratılması, teknoloji okuryazarlığının gelişmesi, dünyayla bütünleşmiş işgücüne olan ihtiyaç duyulması gibi konular ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte günümüzde ucuz işgücü kaynaklı olarak Asya’da konumlanmış Batı menşeli fabrikaların, akıllı fabrikalar sayesinde tekrar ülkelerine dönmesi öngörülmektedir. Bu durum, büyük endüstri göçlerine neden olabilecektir. Üretim dijitalleşmesi giderek dijitalleşen bir toplum yapısını beraberinden getirerek iş yerinde daha az çalışan, buna karşılık evden çalışmanın ve daha az mesai saatlerinin yaşandığı endüstri toplumlarının oluşması beklenmektedir. Böylece çalışma zamanından arta kalan zamanlarında sanat, spor, tatil vb. sosyal faaliyetlerle daha fazla ilgilenen ve bu faaliyetler doğrultusunda harcama yapan bir toplum profilinin oluşması beklenmektedir.

### **Gelecek Araştırmalar için Öneriler**

Endüstri 4.0 kavramı olarak iş yaşamında ve literatürde henüz yeni tartışılmaya başlanmış bir kavramdır. Ülkemizde bu konu üzerine gerçekleştirilen fuar, seminer, çalıştay vb. faaliyetlerin her geçen gün artması ülke ekonomisinin gelişimi açısından olumlu bir gelişme olarak görülmektedir. Bununla birlikte TÜSİAD’ın ve TÜBİTAK’ın konuyla ilgili hazırlamış olduğu raporlar, “Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Derneği” gibi STK’lar ülkemizde ihtiyaç duyulan sanayi üniversite işbirliğinin sağlanması için gerekli zemini oluşturmaktadır. Konuyla ilgili oluşturulan tartışma ve düşünce platformlarının yanında işletmeler için kaynak kitap, kılavuz, yol haritası gibi temel araçlara gereksinim duyulmaktadır.

Bununla birlikte Endüstri 4.0 konusunu Türkiye açısından ele alan literatürdeki kısıtlı araştırmalar ülkemizde, teknoloji okur yazarlığı ve kullanımı konusunda bölgesel ve sektörel farkların söz konusu olduğunu vurgulamaktadır (Baltacı ve ark., 2012; Bulut ve Akçacı, 2017; Fırat ve Fırat, 2017). Bu bağlamda gelecek araştırmaların, Endüstri 4.0 kavramını analitik olarak ele alarak, kavramın bileşenleri üzerine odaklanması, söz konusu bileşenlerin birbirleriyle ve sektörler ile olan ilişkilerini incelemesi, Endüstri 4.0 bağlamında oluşturulması gereken devlet politikalarını akademik tartışmaya açması önerilmektedir. Bu doğrultuda özellikle Türkiye ekonomisinin üretici gücünü oluşturan KOBİ’lerin araştırmaların temel kapsamını oluşturması,

elde edilen ampirik sonuçların mevcut yapısal eksiklikleri ve ihtiyaçları tespit etmesi açısından üretilecek sanayi politikalarına yol gösterici olacaktır.

Endüstri 4.0'ın uluslararası literatürde tartışmaya açtığı bir başka konu da bu yeni çağın ihtiyaç duyduğu insan kaynağının yetkinlik ve becerileridir. Bu ihtiyaçtan hareketle, Türkiye'de mevcut işgücüne katılan bireylerin beceri eksiklikleri tespit edilme- li ve ihtiyaç duydukları eğitim alanlarının tespitine yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Aynı zamanda, yetişmekte olan yeni neslin orta ve yükseköğrenim programlarının sektör talepleri doğrultusunda hangi alanlarda güncellenmesi ve iyileştirilmesi gerektiği konusunda önemli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular çerçevesinde Endüstri 4.0 çağına uygun eğitim programlarının hem okullarda hem de işletmelerde oluşturulmasının, ülke ekonomisinin Endüstri 4.0'a adaptasyon sürecine önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Yapılacak olan bu araştırmalar çerçevesinde elde edilecek olan bilgi topluluğu, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik çerçevesinde ele alınmasını sağlamaya yönelik olmalıdır. Dünyanın yaşamış olduğu daha önceki endüstri devrimlerinin beraberinde getirmiş oldukları sosyal, ekonomik ve çevreye yönelik tahribatların akabinde sürdürülebilirlik konusu tartışmaya açılmış ve meydana gelen zararları gidermeye yönelik yasal ve normatif mekanizmalar geliştirilmiştir. Oysa bu kez Endüstri 4.0 çağına giren insanlık, sürdürülebilir çevre, toplum ve ekonomiye yönelik bilgi birikimine sahiptir. Bu yüzden Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde oluşturulacak sosyal, ekonomik ve çevre altyapı mekanizmaları her aşamada sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmeli, bu süreçte ortaya çıkabilecek tahribatlar nitelikli araştırmalar sayesinde önceden tahmin edilip proaktif politikaların benimsenip uygulanmasına yönünde çaba sarf edilmelidir. Bu bağlamda meydana gelebilecek ihmal ve hatalar dünyamızda geri dönüşsüz tahribatlar yaratarak, gelecek kuşaklara yaşanabilir bir çevre, toplum ve ekonomi bırakma idealinin önüne geçebilir.

### Kaynakça/References

- Ahmed, E., Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Khan, I., Ahmed, A. I. A., Imran, M., & Vasilakos, A. V. (2017). The role of big data analytics in Internet of Things. *Computer Networks*, 129, 459–471.
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza J., & Retat, S. (2017). Learning factory: The path to industry 4.0. *7th Conference on Learning Factories, CLF - Procedia Manufacturing*, 9, 73–80.
- Bakkari, M., & Khatory, A. (2017). Industry 4.0: Strategy for more sustainable industrial development in SMEs. *IEOM 7th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Proceedings*, 1693–1700.
- Baldassari, P., & Roux, J. D. (2017). Industry 4.0: preparing for the future of work. *People & Strategy*, 3(40), 20–23.
- Baltacı, A., Burgazoğlu, H. ve Kılıç, S. (2012). Türkiye'nin rekabetçi sektörleri ve Trakya Bölgesi'nin payı. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(1), 1–19.

- Banger, G. (2016). *Endüstri 4.0 ve akıllı işletme*. İstanbul: Dorlion Yayınları.
- Baysal İ. (2015). Endüstri 4.0: 14. çözüm ortaklığı platformu dijital dönüşümü anlamak. PWC. <https://www.okul.pwc.com.tr/images/uploadfile/content/635863141496551266.pdf> adresinden 19.08.2017 tarihinde edinilmiştir.
- Bordel, B., Alcarria, R., Robles, T., & Martín, D. (2017). Cyber-physical systems: extending pervasive sensing from control theory to the internet of things. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, 156–184.
- Bulut, A. ve Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. *ASAM*, 7, 50–72.
- Capgemini Consulting. (2017). *Smart factories: How can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution*. Retrieved from [https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/smart\\_factories-how\\_can\\_manufacturers\\_realize\\_the\\_potential\\_of\\_digital\\_industrial\\_revolution.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/smart_factories-how_can_manufacturers_realize_the_potential_of_digital_industrial_revolution.pdf)
- Conti, M., Dehghantanha, A., Franke, K., & Watson S. (2017). Internet of things security and forensics: challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 78, 1–3.
- Fallera, C., & Feldmüllera, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *The 5th Conference on Learning Factories - Procedia CIRP*, 32, 88–91.
- Fırat, S. Ü., & Fırat, O. Z. (2017). Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye. *Toprak İşveren Dergisi*, 114, 10–23.
- Fischer, S. (2014). Challenges of the internet of services. In W. Wahlster, H.-J. Grallert, S. Wess, H. Friedrich, & Th. Widenka (Eds.), *Towards the internet of services: The THESEUS Research Program* (pp. 15–27). Springer.
- Gabriel, M., & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering*, 14(2), 131–136.
- Gago, C. F., Moyano, F., & Lopez, J. (2017). Modelling trust dynamics in the internet of things. *Information Sciences*, 396, 72–82.
- Hagemann, H. (2016). *How does industry 4.0 affect growth and employment?* Retrieved August 27, 2017 from <http://csr-academy.org>
- Hofmann, E., & Rüşch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.
- Huang, Z., Yu, H., Peng, Z., & Feng, Y. (2017). Planning community energy system in the industry 4.0 era: Achievements challenges and a potential solution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 710–721.
- Liu, C., & Xu, X. (2017). Cyber-physical machine tool – the era of machine tool 4.0 *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems - Procedia CIRP*, 63, 70–75.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management - Procedia Engineering*, 182, 466–473.
- Ochoa, S. F., Fortino, G., & Di Fatta, G. (2017). Cyber-physical systems, internet of things and big data. *Future Generation Computer Systems*, 75, 82–84.

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016, June). *Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services - Interim Report*. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level, Paris.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2017). *The next production revolution: Implications for governments and business*. Paris: Author.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139.
- Oliff, H., & Liu, Y. (2017). Towards industry 4.0 utilizing data-mining techniques: a case study on quality improvement. *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems - Procedia CIRP*, 63, 167–172.
- Öztuna, B. (2017). *Endüstri 4.0: Dördüncü sanayi devrimi ile çalışma yaşamının geleceği*. Ankara: Gece Kitaplığı.
- Prause, G. (2015). Sustainable business models and structures for industry 4.0 *Journal of Security and Sustainability Issues*, 2(5), 1–11.
- PWC. (2016). Global industry 4.0 survey – industry key findings.
- Qina, J., Liua, Y., & Grosvenora, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production - Procedia CIRP*, 52, 173–178.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies* 5(11), 77–90.
- Siemens. (2017). *Endüstri 4.0 yolunda el kitapçığı*.
- Stăncioiu, A. (2017). The fourth industrial revolution: “Industry 4.0”. *Fiability & Durability*, 1, 74–78.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use - Procedia CIRP*, 40, 536–541.
- Stojmenovic, I., & Zhang, F. (2015). Inaugural issue of ‘cyber-physical systems’. *Cyber-Physical Systems*, 1(1), 1–4.
- TÜBİTAK. (2016). *Yeni sanayi devrimi: Akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası*. <http://www.tubitak.gov.tr/> adresinden 27.07.2017 tarihinde edinilmiştir.
- TÜSİAD. (2016). *Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olarak endüstri 4.0 geliştirmekte olan ekonomi perspektifi*. İstanbul: Yazar.
- Wagner, T. (2016). Industry 4.0 as enabler for sustainable lifestyles. *Unconference 2016–INSIGHTS Workstudio*, 4, 1–7.