


	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b> <b>Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a></b>		
	<u>Geliş/Received</u> 16.06.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 26.02.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.321957	

## Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar

Aytaç Yıldız\*

### ÖZ

Modern sanayi gelişimi birkaç yüz yıldır sürmüştür ve günümüze gelinceye kadar üç büyük sanayi devrimi ortaya çıkmıştır. Şu an ise Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimine girilmiştir. Endüstri 4.0, birbirleriyle haberleşen, sensörlerle ortamı algılayabilen ve veri analizi yaparak ihtiyaçları fark edebilen robotlarla üretimi devralıp; daha kaliteli, daha ucuz, daha hızlı ve daha az israf yapan bir üretim yapmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0, modüler yapıya sahip akıllı fabrikalarda siber fiziksel sistemler ile fiziksel işlemleri izleyerek nesnelerin birbirleriyle ve insanlarla iletişime geçmesine izin verir ve bunun sonucu olarak merkezi olmayan işbirlikçi kararların verilmesini sağlar. Günümüzdeki rekabet ortamında işletmelerin varlıklarını koruyabilmeleri ve sürdürebilmeleri için Endüstri 4.0'ı organizasyonlarına uygulaması kaçınılmaz olmuştur. Bunun için de Endüstri 4.0 kavramının ve temel olan paradigmalarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada, Endüstri 4.0 ve temel paradigmaları açıklanmış, akıllı fabrikalar hakkında bilgi verilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** endüstri 4.0, akıllı fabrika, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler

## Industry 4.0 and smart factories

### ABSTRACT

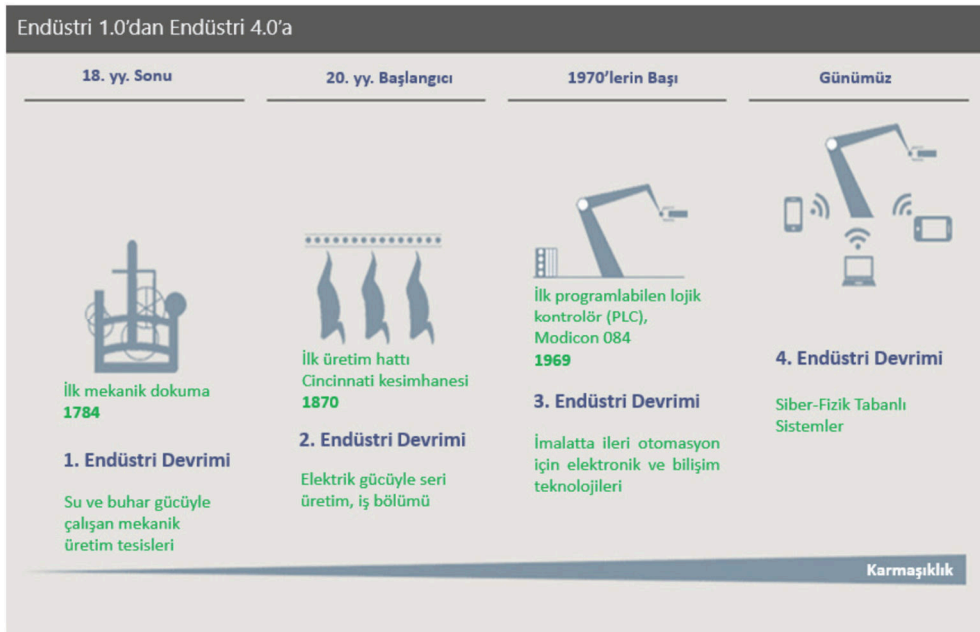
Modern industrial development lasted for several centuries, and three major industrial revolutions had emerged until daylight. It is now entering the fourth industrial revolution, called industry 4.0. Industry 4.0 aims to make that production with better quality, cheaper, faster and less waste with robots that communicate with each other, can sense the environment with sensors, and realize the needs by making data analysis. It allows to communicate with each other and people of things by monitoring physical processes with cyber-physical systems in modular smart factories and as a consequence decentralized collaborator decisions are made. In today's competitive environment, it has become inevitable for businesses to apply Industry 4.0 to their organizations in order to protect and sustain their presence. For this, it must be well known the concept of Industry 4.0 and its basic paradigms. Therefore, in this study, the industry 4.0 and its basic paradigms are explained, and a general evaluation is made by giving information about smart factories.

**Keywords:** Industry 4.0, smart factory, internet of things, cyber-physical systems

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İçinde bulunduğumuz döneme gelinceye kadar üç adet büyük sanayi devrimi gerçekleşmiştir [1]. Endüstriyel anlamda ilk olarak 18. yüzyılda buhar makineleri ile başlayan ve üretimin artırılması yönünde olan Birinci Sanayi Devrimini (Endüstri 1.0), 20. yüzyılın başında seri üretime geçiş olarak ortaya çıkan ve elektrik enerjisinden faydalanmanın önünü açan İkinci Endüstri Devrimi (Endüstri 2.0) takip etmiştir. Daha sonra ise, üretim sistemlerinin analog olmaktan çıktığı ve dijital sistemlerin sanayide yer aldığı Üçüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 3.0) ortaya çıkmıştır [1, 2-4]. Böylelikle, ilk üç sanayi devrimi, insan üretimine mekanizasyon, elektrik ve bilgi teknolojilerini (IT) getirmiştir [5]. Gerçekleşen bu üç sanayi devrimi üretimde verimliliğin artırılmasına yönelik olmuştur [1]. Ancak dünyadaki üretim şirketleri o dönemlerde yaşanan çevresel, toplumsal, ekonomik ve teknolojik

gelişmelere bağlı olarak çok ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmış ve sadece verimliliği artırmak küresel rekabette şirketleri ön plana çıkarmamıştır. Şirketler, bu zorlukların üstesinden gelmek için, inovasyondan üretim ve dağıtıma kadar tüm yaşam döngüsü boyunca yakın işbirliği ve hızlı adaptasyona izin veren sanal ve fiziksel yapılar ihtiyacı duymuş ve sürekli olarak bir arayış içerisine girmişlerdir [6]. Soğuk savaş sonrası ülkeler arasındaki ticari sınırlar ortadan kalkmış ve bu ülkeler arasında alışverişler artmaya başlamıştır. 1960'lı yıllarda sadece var olan ürünü satınalan müşterinin 2000'li yıllara gelindiğinde istek ve beklentilerinin değişmesi firmaların üretim proseslerinin daha karmaşık olmasına neden olmuştur [2]. Böylelikle firmalar artık disiplinlerarası çalışma ihtiyacı duymuş ve internet üzerinden tüm nesnelere iletişim ve etkileşim içinde bulunduğu Dördüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 4.0) ortaya çıkmıştır [2, 4]. Ortaya çıkan bu endüstri devrimlerinin gelişimi Şekil 1'de gösterilmektedir [1].



Şekil 1. Endüstri devrimleri (Industry revolutions) [1]

İlk sanayi devriminden bu yana, müteakip devrimler, su ve buharlı elektrikli makinelerden elektrikli ve dijital otomatikleştirilmiş üretimlere kadar üretimde radikal değişiklikler oluşturmuştur. Üretim süreçleri giderek daha karmaşık, otomatik ve sürdürülebilir hale gelmiştir. Bu da, makinelerin basit, verimli ve kararlı çalışması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [3-5]. Diğer yandan bilgi ve iletişim teknolojilerinin sürekli olarak gelişmesi de imalat şirketlerine

ihtiyaçlarını gidermek adına büyük potansiyel sunmaya devam etmiştir [7]. Buna bağlı olarak "2011 Hannover Fuarı" etkinliği sırasında Almanlar tarafından yeni bir kavram olan ve 4. endüstriyel devrimin başlangıcını simgeleyen Endüstri 4.0 tanımlanmıştır [3-5]. Ayrıca aynı yıl Alman hükümetinin stratejik bir inisiyatifi haline gelmiş ve Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı'na dahil edilmiştir. Böylece, Endüstri 4.0 kavramı, gelecekte rekabet edebilmek için bir

strateji olarak görülmüştür [8]. Benzer endüstri ülkelerinde de benzer stratejiler önerilmiştir. Örneğin; Avrupa düzeyinde, buna tekabül eden kavram, “Geleceğin Fabrikaları”, ABD’de “Endüstriyel İnternet” ve Çin’de “İnternet +” dır. O zamandan beri, “akıllı imalat”, “endüstriyel internet” ya da “entegre sanayi” olarak da bilinen Dördüncü Sanayi Devrimi olarak anılan endüstri 4.0 terimi dünyadaki endüstriler ve akademisyenler arasında en popüler imalat konularından biri olmuş ve şu anda tüm sektörleri etkileyebilecek potansiyele sahip olduğu varsayılan bir konudur [5, 9]. 4. Endüstri Devrimi, sanayide, genel olarak makinelerin insan gücüne gerek kalmaksızın kendilerini ve üretim süreçlerini yönetmeye başlamalarıyla ortaya çıkmıştır [10]. Endüstri 4.0 başlangıçta bir teknoloji denemesi olarak düşünülürken, şimdi sürekli değişen bir endüstri ortamında rekabet gücünü korumak için bir gereklilik olmuştur [9]. Çünkü endüstri 4.0 sayesinde daha çok bilgisayarlaşmanın ve daha çok yazılımın karar verme süreçleri ve akıllı sistemlerin üretimde yer alması beklenmektedir [1, 21].

## 2. ENDÜSTRİ 4.0 (INDUSTRY 4.0)

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan yeni süreç, üretim ve tüketim ilişkilerini bütünüyle değiştirecek bir yapı içermektedir. Bir yanda tüketicinin değişen ihtiyacına anlık olarak uyum sağlayan üretim sistemlerini, diğer yanda ise birbirleriyle sürekli iletişim ve koordinasyon halinde olan otomasyon sistemlerini tanımlamaktadır [11] ve ürün geliştirmede çeşitli disiplinler arasındaki yakın işbirliğini teşvik etmektedir [12].

Mrugalska ve Wyrwicka (2017) endüstri 4.0 kavramını, “karmaşık fiziksel makine ve cihazların, ticari ve toplumsal sonuçları daha iyi tahmin etmek, kontrol etmek ve planlamak için kullanılan ağa bağlı sensörler ve yazılımlarla entegrasyonu” veya “ürünlerin yaşam döngüsü boyunca yeni bir değer zinciri organizasyonu ve yönetimi seviyesi” olarak tanımlamaktadırlar. Endüstri 4.0, özerk kontrolü ve dinamik üretimi nedeniyle değer zincirlerinin optimizasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Rekabetçi ürünlerin, hizmetlerin, güçlü ve esnek lojistik ve üretim sistemlerinin tasarımını ve uygulanmasını kapsamaktadır [8]. Can ve Kıymaz (2016) Endüstri 4.0’ın üretimle direkt yada dolaylı olarak ilişkili olan bütün birimlerin birbiri ile ortak çalışmasını planladığını, dijital verilerin, yazılımın

ve bilişim teknolojilerinin birbiri ile entegre olarak çalışmasını öngördüğünü söylemektedirler [1]. Batista ve ark. (2017) endüstri 4.0’ın imalat sanayiinde, sensör ve aktüatör alt yapılarında yeralan tüm değer zinciri sürecinin organizasyonu ve yönetimindeki ileri bir gelişim aşaması olduğunu söylemektedirler [13]. Qin ve ark. (2016)’a göre endüstri 4.0, çeşitli şirketler, fabrikalar, tedarikçiler, lojistik, kaynaklar, müşteriler vb. arasında var olacak komple bir iletişim ağı anlamına gelmektedir. Burada her bölüm, ağdaki ilgili bölümlerin talep ve durumuna bağlı olarak gerçek zamanlı olarak yapılandırılmalarını optimize etmektedir. Başka bir deyişle, gelecekteki iş ağı, kendi kendini organize eden bir statüye ulaşabilen ve gerçek zamanlı cevapları iletebilen her bir işbirliği bölümü tarafından etkilenmektedir [5]. Schumacher ve ark. (2016) ise endüstri 4.0’ın internetin ve destek teknolojilerinin (örn. gömülü sistemler) fiziksel nesnelere, insan oyuncularını, akıllı makineleri, üretim hatlarını ve süreçleri örgütsel sınırlar boyunca entegre etmelerinin omurgasını oluşturduğu yeni teknolojik gelişmeler olduğunu bildirmektedirler [6].

Endüstri 4.0 kavramı gelecekte rekabetçi ortamda ayakta kalmak için önemli bir strateji olarak görülmektedir. Buna, rekabetçi ürünlerin ve hizmetlerin tasarımı ve uygulanmasının yanı sıra esnek lojistik ve üretim sistemleri de dâhildir. Endüstriyel şirketler şu anda ürünlerin bireyselleştirilmesinin artması, kaynak verimliliğinin artırılması ve pazara girme süresinin kısaltılması gibi zorlukların üstesinden gelmek için endüstri 4.0 terimi üzerinde durmaktadırlar [14].

Endüstri 4.0, kendiliğinden yapılandırma, kendi kendini denetleme ve kendini iyileştirme gibi otonomik özelliklere sahip akıllı sistemler tarafından yönlendirilen imalat ekosistemlerini sağlayacaktır. Böylelikle, makine-insan işbirliğine ve simbiyotik ürün gerçekleştirimine dönük yeni tip ileri üretim ve endüstriyel süreçler ortaya çıkacaktır. Bunun sonucu olarak da eşi benzeri görülmemiş düzeyde operasyonel verimlilik elde etmemize ve verimliliğimizi hızlandırmamıza izin verecektir [15].

Endüstri 4.0’da, üretimde üretilen akıllı ürün diye tabir edilen yeni bir ürün türü ortaya çıkmaktadır. Bu ürünler, müşterilere fonksiyonel rehberliği iletmek için bilgi taşıyan ve üretim sistemine geribildirim sağlayan sensörler, tanımlanabilir bileşenler ve işlemcilerle gömülüdür [5]. Akıllı

bağlantılı ürünler, yeni işlevsellik, çok daha fazla güvenilirlik, çok daha yüksek ürün kullanımı ve geleneksel ürün sınırlarını aşan ve öne çıkabilen yetenekler için katlanarak genişleyen fırsatlar sunmaktadır [16]. Bu ürünlere, ürünlerin veya kullanıcıların durumunun ölçülmesi, bu bilginin taşınması, ürünlerin izlenmesi ve sonuçlara göre analiz edilmesi gibi birçok fonksiyon eklenebilir. Endüstri 4.0 altında yeni bir satınalma yöntemi sağlanarak müşterilere de birçok avantajlar sunulmaktadır. Örneğin onların fikirleri üretim sırasında herhangi bir zamanda alınabilir veya siparişlerini son dakikada bile olsa ücretsiz olarak değiştirebilirler. Öte yandan, akıllı ürünlerle müşterinin sadece ürünün üretim bilgisini bilmesine değil, aynı zamanda kendi davranışlarına bağlı olarak kullanım tavsiyesi almasına da olanak tanınmaktadır [5].

Endüstri 4.0'ın hedefleri; bilgi teknolojilerinin ürettiği ürünlerin toplu olarak özelleştirilmesini sağlamak, üretim zincirinin otomatik ve esnek uyumunu sağlamak, parçaları ve ürünleri izlemek, parçalar, ürünler ve makineler arasındaki iletişimi kolaylaştırmak, insan-makine etkileşimi (HMI) paradigmasını uygulamak, akıllı fabrikalarda nesnelerin interneti özellikli üretim optimizasyonunu sağlamak ve değer bakımından yeni tür hizmetler ve iş modelleri sunmak olarak sıralanabilir [4].

Endüstri 4.0 sisteminin karmaşıklığının giderek büyümesine rağmen aşağıda özetlenen potansiyellere de sahiptir [8]:

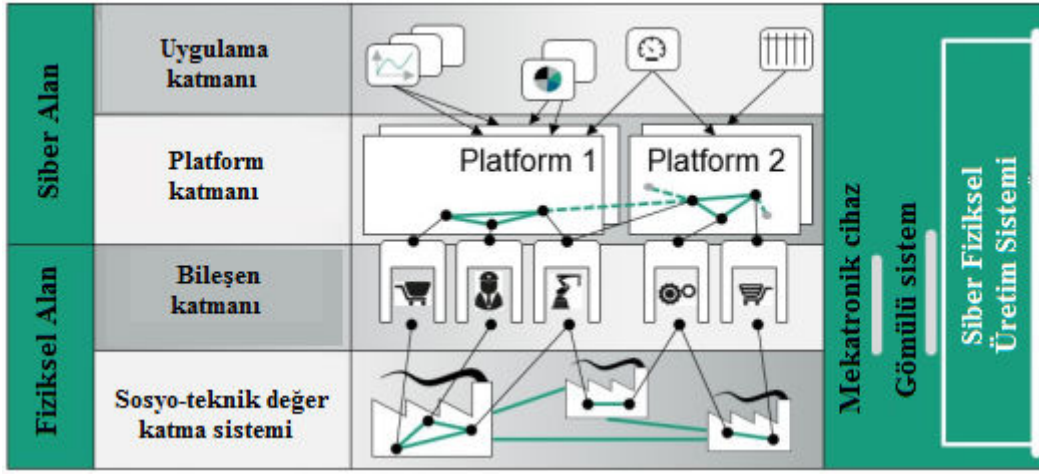
- İş süreçlerinin dinamik yapısından kaynaklanan rekabet ve esnekliği artırma (kalite, zaman, risk, sağlamlık, fiyat ve çevre dostu),
- Talep zincirindeki arızaları ortadan kaldırma,
- Gerçek zamanlı uçtan uca görünürlük sayesinde karar vermeyi optimize etme,
- Artan kaynak üretkenliği (belirli bir kaynak hacminden en yüksek çıktıyı sağlayan) ve verimlilik (belirli bir çıktı elde etmek için mümkün olan en düşük miktarda kaynak kullanıyor) sağlama,

- Değer fırsatları (yenilikçi hizmetler, yeni istihdam biçimleri, KOBİ'lerin ve yeni teşebbüslerin gelişme imkânı) oluşturma,
- Enerji ve kişisel maliyetleri düşürme.

Endüstri 4.0, sayısız teknolojiyi ve ilişkili paradigmalardan bazılarını, Radyo Frekansı Tanımlama (Radio Frequency Identification-RFID), Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning-ERP), Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), Nesnelerin Endüstriyel İnternet'i (Industrial Internet of Things-IIoT), Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems- CPS), bulut tabanlı imalat (Cloud Based Manufacturing-CBM), akıllı fabrika, akıllı ürün vb., olarak sıralanabilir [4, 6,15]. Bu özellikler yalnızca internet teknolojileri ve gelişmiş algoritmalarla yüksek derecede ilişkili değil, aynı zamanda Endüstri 4.0'ın katma değerli bir bilgi işleme ve endüstriyel katma değerli bir süreç olduğuna işaret etmektedir [4]. Aşağıda bu paradigmalardan bazıları kısaca özetlenmiştir.

## 2.1. Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems)

Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişim ve koordinasyonu içeren yapıların bütünü Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) olarak adlandırılmaktadır [11]. CPS'nin başlıca rolü, üretimin çevik ve dinamik gereksinimlerini yerine getirmek ve tüm sanayinin etkinliğini ve verimliliğini arttırmaktır [4]. Endüstri 4.0, internetin ve CPS olarak adlandırılan ve fiziksel ve sanal dünyayı bir araya getiren sistemler olarak kabul edilebilen benzeri görülmemiş bir bağlantı ile karakterize edilir. Daha doğrusu, "siber-fiziksel sistemler fiziksel süreçlerle hesaplamaların bütünleştirilmesidir. Bu, üretim sürecinde kontrol, gözetim, şeffaflık ve verimliliğin tamamen yeni bir derecesini sağlamaktadır. CPS, Şekil 2'de gösterildiği gibi ağların birden fazla sensör, aktuatör, kontrol işlem birimi ve iletişim cihazı kullanılarak entegrasyonunu gerçekleştirmektedir [16].



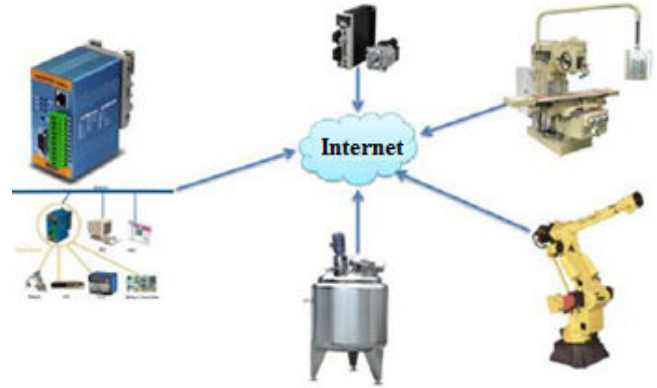
Şekil 2. Siber-fiziksel üretim sistemleri (Cyber-physical production systems-CPPS) [17]

## 2.2. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)

Nesnelerin birbiriyle iletişimini olanaklı kılan yapılara Nesnelerin İnterneti (IoT) adı verilmektedir [11]. Nesnelerin interneti'nin çok sayıda ekonomik fırsatlar açması beklenmekte ve büyük bir yıkıcı potansiyele sahip en umut verici teknolojilerden biri olarak kabul edilmektedir [16]. Nesnelerin interneti kavramı bir İngiliz girişimci Kevin Ashton tarafından oluşturulmuştur. Fikir, maddi dünyanın bilgisayarlarla (veri alış verişi) her yerde bulunan sensörlerle iletişim kurduğu bir sistemi tanımlamak için 1999'da formüle edilmiştir. Bu yaklaşımda, yalnızca nesnelerin değil, aynı zamanda süreçler, veriler, insanlar ve hatta hayvanlar ya da atmosferik olgular - bir değişken olarak ele alınarak her şeyden bir sistem oluşturulmuştur [3]. 21. yüzyılın ilk on yılında "nesnelerin interneti" terimi popüler hale gelmiş ve tedarik zincirindeki ürün ve süreçlere bilgi ekleyerek endüstrilerin Endüstri 3.0'dan Endüstri 4.0'a geçmesini sağlayan bir teknoloji olarak düşünülmüştür [9, 16]. Teknik açıdan bakılırsa, IoT, internet tabanlı iletişim ve veri değiş tokuşunu sağlayan elektrik, mekanik, bilgisayar ve iletişim mekanizmalarının gömülü sistemlerini içeren fiziksel eserler topluluğudur.

IoT, bilgi işlem ve iletişim teknolojisini evde ve işyerimizde kullandığımız birçok "şey"e entegre etmeye başladığımızda başlayan bir hareketi yakalayan soyut bir fikirdir. Radyo frekansı tanımlama (RFID) cihazları gibi düşük maliyetli sensör teknolojileri ile "nesneleri" etiketleme ve izleme fikri ile başlamıştır. Bununla birlikte, paradigma, piyasanın düşük maliyetli bilgi işlem ve internet tabanlı iletişim teknolojilerini her yerde bulunan akıllı telefonun yükselişiyle birlikte sunmaya başlamasıyla birlikte değişmiştir. Düşük

maliyetli bilgi işlem ve yaygın geniş bant ağının mükemmel bir fırtınası IoT'nin gelişmesine izin vermiştir. Endüstriyel IoT'nin bazı örnekleri Şekil 3'te gösterildiği gibi; sensörler, aktuatörler, robotlar, freze makineleri, 3D yazıcılar ve montaj hattı bileşenleri, kimyasal karıştırma tankları, motorlar, insülin ve infüzyon pompaları, sağlık cihazları hatta uçaklar, trenler ve otomobiller gibi çok geniş bir yelpazede cihazları içermektedir [15].

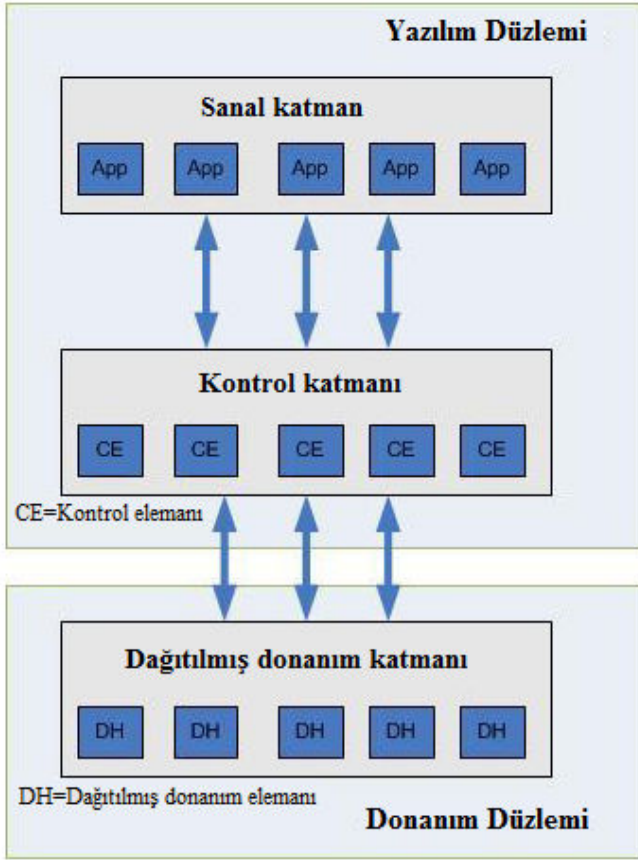


Şekil 3. Nesnelerin interneti (Internet of Things) [15]

## 2.3. Bulut Tabanlı İmalat (Cloud Based Manufacturing)

Bulut tabanlı imalat (CBM), Endüstri 4.0'ın başarısına önemli katkı sağlayacak bir diğer yükselen paradigmadır. CBM, müşteri tarafından oluşturulan değişken talebe yanıt vermek için verimliliği artıran, ürün ömrü maliyetlerini düşüren ve optimum kaynak tahsisine izin veren, geçici, yeniden yapılandırılabilir siber-fiziksel üretim hatları oluşturmak için paylaşılan çeşitlendirilmiş ve dağıtılan üretim kaynaklarının bir paylaşım kümesine talep üzerine erişimden yararlanan bir ağa bağlı üretim modeli olarak tanımlanabilir. CBM'nin özellikleri, ağa bağlı üretim, ölçeklenebilirlik, çeviklik, her yerde

erişilebilirlik ve sanallaştırma, büyük veriler ve IoT, hizmet için her şey ve kaynak havuzunu içermektedir. Şekil 4’te basitleştirilmiş yazılım tanımlı bulut üretim mimarisi yer almaktadır.



Şekil 4. Basitleştirilmiş yazılım tanımlı bulut üretim mimarisi (Simplified software-defined cloud production architecture) [15]

Şekil 4’teki donanım düzlemi nihai işi yaparken yazılım düzlemi işin tamamlanıncaya kadar nasıl düzenleneceğini tanımlar. Donanım düzleminde dağıtılmış donanım katmanı bulunur. Bu katman, ayrıca 3 boyutlu yazıcı gibi dağıtılmış donanım elemanlarından oluşur. Yazılım düzlemi sanal ve kontrol katmanları olmak üzere iki katman içerir. Kontrol katmanı, kontrol elemanlarından oluşur ve sanal katman, son kullanıcı uygulamalarını içerir. Bilgi akışları oklarla gösterilir. Dağıtılmış donanım katmanı, kontrol katmanı ile karşılıklı olarak iletişim kurar. Aynı şekilde, sanal katman kontrol katmanı ile arabirim oluşturur [15].

### 3. AKILLI FABRİKALAR (SMART FACTORIES)

Dünyanın önde gelen sanayileşmiş ülkelerinin çoğu, küreselleşen dünyada ileri üretim, yenilik ve tasarımı teşvik etmek için ulusal girişimlere yatırım yapmıştır. Bu yatırımın büyük kısmı, Endüstri 4.0 gibi akıllı fabrikaların ve akıllı imalatın norm olduğu bir geleceğe ulaşmak için

olmuştur [4]. Endüstri 4.0; yapay zeka, 3D (üç boyutlu) yazıcılar ve uzay teknolojisi gibi alanlarda meydana gelen ilerlemelerle birlikte bütün nesnelerin internet aracılığıyla birbirleriyle etkileşime geçebileceği “akıllı üretim” (smart manufacturing) olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0’da nesnelerin birbirleriyle haberleştiği önemli yerlerden biri de “akıllı” teknolojilerle donatılmış ve hiçbir insanın çalışmaması nedeniyle karanlık fabrikalar olarak da adlandırılan “akıllı fabrikalardır”. Çin’de gerçekleştirilen ve cep telefonu modülü üreten ilk karanlık fabrikada robotların kullanılmasıyla işçi sayısı % 90 azalırken kusurlu ürünlerin oluşma oranı % 25’den % 5’e kadar düşmüştür [18].

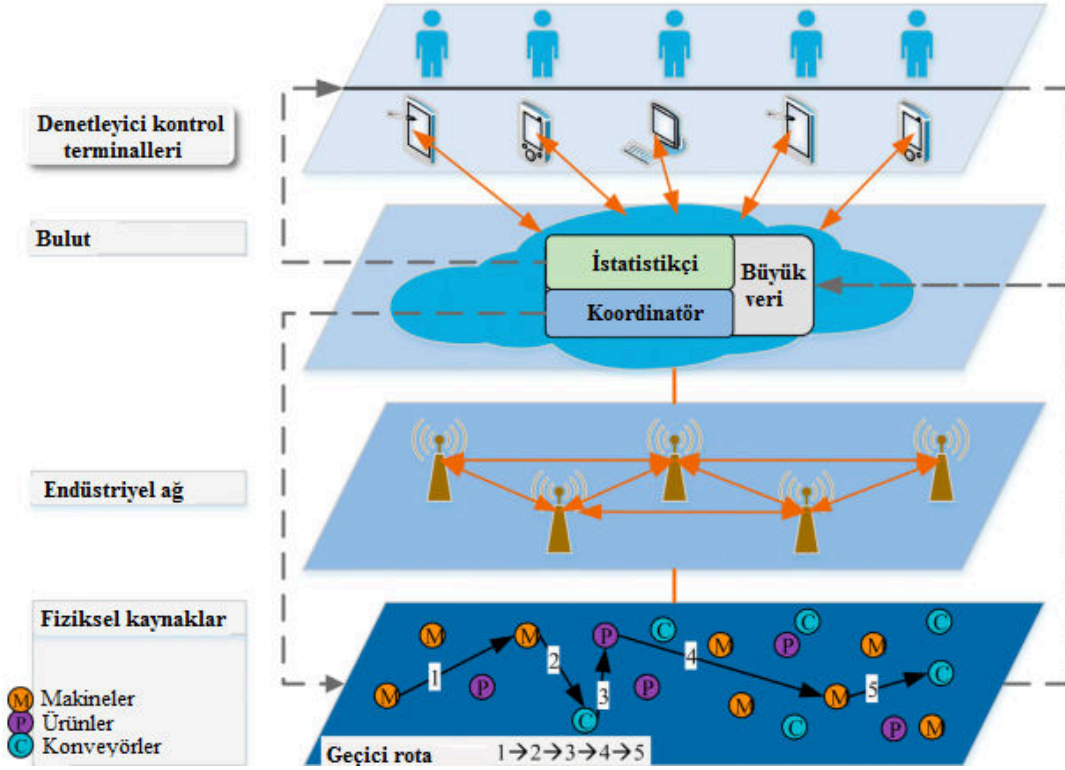
Şimdiye kadar, CPS, IoT ve CBM Endüstri 4.0’ın temel bileşenleri olarak tanımlandı. CPS, IoT üzerinden iletişim kurduğundan bu kavramların birbiriyle yakından ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle, insanların, makinelerin ve kaynakların birbirleriyle doğal olarak sosyal bir ağda iletişim kurduğu merkezi olmayan bir üretim sistemi fikrine dayanan “akıllı fabrika” diye isimlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ürünler, makine, nakliye sistemleri ve insanlar arasındaki yakın bağlantının ve iletişimin mevcut üretim mantığını değiştirmesi beklenmektedir. Bu nedenle akıllı fabrikalar, Endüstri 4.0’ın bir başka önemli özelliği olarak görülmektedir. Akıllı fabrikada, ürünler üretim süreçleri boyunca kendi yollarını bağımsız olarak bulur ve her zaman kolaylıkla tanımlanabilir ve bulunabilir niteliktedirler. Akıllı fabrikalar üretim süreçlerinin artan karmaşıklığını, orada çalışan insanlar için yönetilebilir hale getirerek ve üretimin aynı anda çekici, kentsel çevrede sürdürülebilir ve karlı olmasını sağlamaktadır [16].

Endüstri 4.0’ın “Akıllı Fabrikaları” iş ihtiyacını sensörlerle algılayıp, uzaktaki diğer üretim araçları ile internet vasıtasıyla iletişim kurup, ihtiyaç duydukları üretim bilgisini bulut sistemler içerisindeki “Büyük Veriden” (Big Data) çeken akıllı makineler ve sistemleri içermektedir. Burada, üretim araçlarının birbirleriyle kurdukları iletişim ve etkileşim internet aracılığıyla sağlanmaktadır [11]. Burada tüm üretim kaynakları (sensörler, aktüatörler, makineler, robotlar, konveyörler, vb.) sadece otomatik olarak bilgi alışverişinde bulunmayacak aynı zamanda üretim sürecini kontrol etmek ve fabrika sistemini yönetmek için makineleri öngörmek ve bakım yapacak kadar bilinçli ve akıllı olacaklardır. Buna ek olarak, ürün tasarımı, üretim planlaması, üretim

mühendisliği, üretim ve servisler gibi pek çok üretim süreci, modüler olarak simüle edilecektir. Ayrıca, bu süreçler sadece bir merkezileştirilmemiş sistem tarafından komuta edilmeyecek aynı zamanda birbirine bağımlı bir şekilde kontrol edildiği anlamına gelen uçtan uca sistemiyle birbirine bağlanacaktır [5].

Akıllı fabrika, akıllı üretim için ağ üretim sistemlerinin dikey entegrasyonunu ifade eden endüstri 4.0'ın önemli bir özelliğidir. Akıllı fabrika uygulanması için, akıllı fabrikalar akıllı nesnelere büyük veri analizi ile birleştirmelidir.

Akıllı nesnelere, yüksek esnekliği sağlamak için dinamik olarak yeniden yapılandırılabilirken büyük veri analizi, yüksek verim elde etmek için küresel geribildirim ve koordinasyon sağlayabilir. Bu nedenle akıllı fabrika, özelleştirilmiş ve küçük miktarda ürünleri verimli ve karlı bir şekilde üretebilir. Akıllı fabrika, Şekil 5'te gösterildiği gibi çift kapalı çevrimli bir sistem olarak görülebilir. Bir döngü fiziksel kaynaklardan ve buluttan oluşurken, diğer döngüler denetleyici kontrol terminallerinden ve buluttan oluşmaktadır [19].



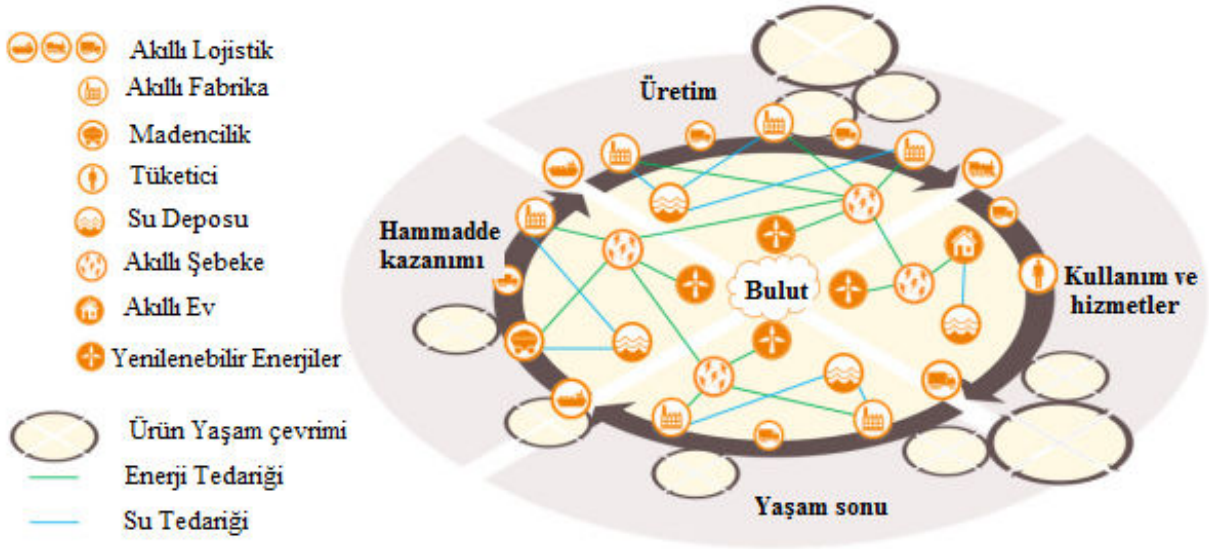
Şekil 5. Endüstri 4.0 akıllı fabrika çerçevesi (Industry 4.0 smart factory framework) [19]

Endüstri 4.0 paradigması esas olarak üç boyutlu ana hatlarıyla belirtilmektedir: (1) tüm değer yaratma ağı boyunca yatay entegrasyon, (2) ürün ömrü boyunca uçtan uca mühendislik ve (3) dikey entegrasyon ve ağa dayalı üretim sistemleri. Tüm değer yaratma ağındaki yatay entegrasyon, ürün ömrünün değer zincirinde ve bitişik ürün yaşam döngülerinin değer zincirleri boyunca değer yaratma modüllerinin çapraz şirket içi ve şirket içi akıllı çapraz bağlamasını ve sayısallaştırılmasını tanımlamaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca mühendislik, bir ürün yaşam döngüsünün hammadde alımından imalat sistemine, ürün kullanımına ve ürün ömrüne kadar tüm safhalarında akıllı çapraz bağlama ve sayısallaştırmayı (dijital) tanımlar. Dikey entegrasyon ve ağa bağlı üretim sistemleri, imalat istasyonlarından üretim hücrelerine, hatlara ve fabrikalardan bir değer yaratma modülünün farklı

toplama ve hiyerarşik seviyelerindeki akıllı çapraz bağlamayı ve sayısallaştırmayı tanımlamaktadır. Akıllı çapraz bağlama ve sayısallaştırma, bir bulutta gömülü olan bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak uçtan-uca bir çözümün uygulanmasını kapsamaktadır. Bir imalat sisteminde akıllı çapraz bağlama, kendi kendini organize ve merkezi olmayan bir şekilde çalışan CPS uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. Gömülü mekatronik bileşenler, yani veri toplanması için uygulanan sensör sistemleri ve fiziksel işlemleri etkilemek için aktüatör sistemleri üzerine kurulmuştur.

Şekil 6'da gösterildiği gibi Endüstri 4.0'ın makro perspektifi, Endüstri 4.0'ın uçtan uca mühendislik boyutunun yanı sıra yatay entegrasyonu da kapsar. Bu görselleştirme, çapraz bağlantılı ürün yaşam döngülerini, Endüstri 4.0'daki değer yaratma

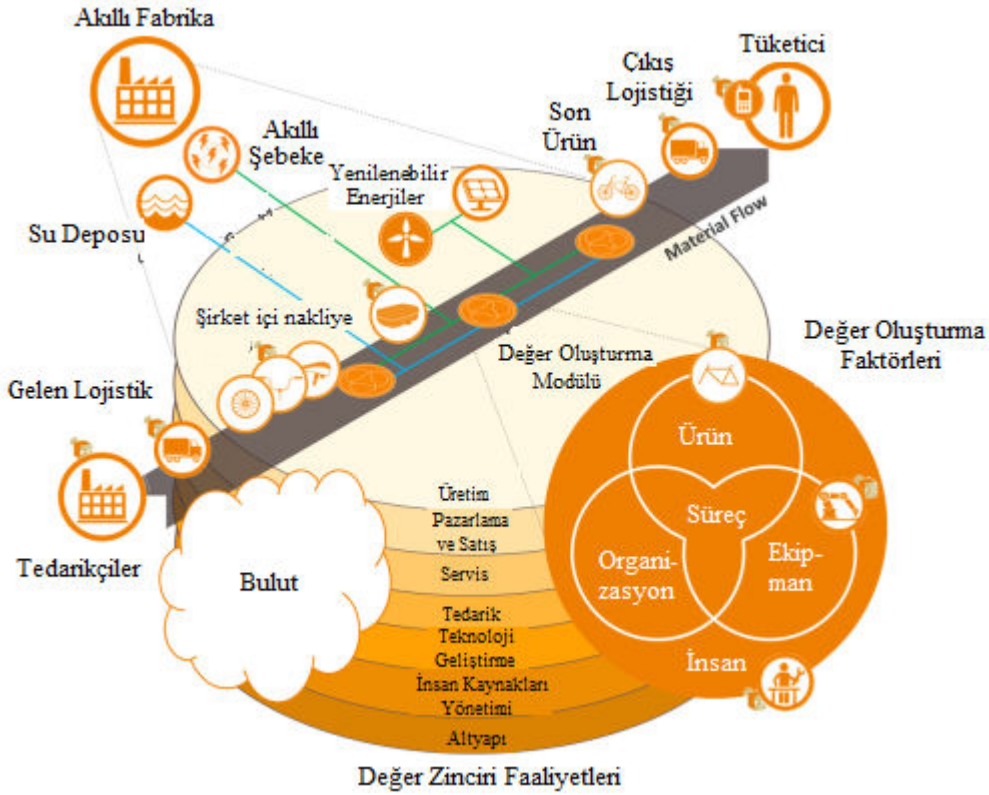
ağlarının merkezi unsuru olarak koyarak güçlü bir ürün ömrü döngüsü ile ilgili bakış açısına dayanmaktadır.



Şekil 6. Endüstri 4.0'in makro perspektifi (Macro perspective of Industry 4.0) [20]

Şekil 7'de sunulan Endüstri 4.0'in mikro perspektifi esasen yatay entegrasyonu ve akıllı fabrikalar içindeki dikey entegrasyonu

kapsamakla birlikte, uçtan uca mühendislik boyutunun bir parçasıdır.



Şekil 7. Endüstri 4.0'in mikro perspektifi (Micro perspective of Industry 4.0) [20]

En yüksek toplama düzeyinde değer yaratma modülü olan akıllı fabrika, imalat hatları, üretim hücreleri veya üretim istasyonları gibi daha düşük toplama seviyelerinde farklı değer yaratma

modülleri içermektedir. Akıllı fabrikalar, harici akıllı şebeke tarafından sağlanan tedarikin yanı sıra, kendiliğinden yeterli bir tedarikin parçası olarak yenilenebilir enerjileri kullanacaklar.



Böylece fabrika, aynı zamanda bir enerji tedarikçisi ve tüketicisi haline gelecektir. Akıllı şebekenin yanı sıra akıllı fabrikanın enerji yönetim sistemi, enerji arzının ve geribildiriminin dinamik gereksinimlerini karşılayabilmelidir. Akıllı fabrika içerisindeki değer yaratma modülleri için temiz su temini, aynı zamanda yeterli ve bozulmamış bir su deposu gerektiren önemli bir kaynak akışıdır. Mikro perspektiften yatay entegrasyon akıllı lojistik, entegre akıllı fabrika malzeme akışı boyunca çapraz bağlı değer yaratma modülleri ile karakterizedir. Akıllı lojistikte fabrikalardan fabrikalara gelen ve giden lojistik, trafikte veya havada meydana gelen değişiklikler gibi öngörülemeyen olaylara karşı tepki gösterebilen ve başlangıçtan başlayarak otonom bir biçimde çalışabilen ulaşım araçları ile karakterize edilmektedir [20].

Endüstri 4.0 anlamında üretim teknolojilerinin ve iş modellerinin teknolojik ilerlemesinin gerekliliği konusunda ortak bir mutabakat olmasına rağmen, algılanan karmaşıklık ve soyutluk, endüstriyel uygulamaya hızlı dönüşümü kısmen engelleyen büyük bir engel oluşturmaktadır. Zorluklar, yeni teknolojilerin edinilmesi için gerekli olan finansal yatırımla sınırlı değil, aynı zamanda gelecekteki üretim sistemlerinin artan karmaşıklığıyla baş edebilecek nitelikte personelin tüm organizasyon seviyelerinde bulunması ile ilgilidir. Öğrenme fabrikalarının, öğrencilerin ve profesyonellerin Bununla birlikte, Endüstri 4.0 anlamında gelecek üretim senaryoları için, öğrenen fabrikaların yöneticileri ve çalışanlarının gittikçe dijitalleşen bir üretim sisteminin zorluklarıyla başa çıkmasına olanak tanıyan diğer yetkinlikleri de ele alınmalıdır [21]. Üretim yönetimi prensiplerinin uygulanması konusunda eğitilmesi için vazgeçilmez bir araç olduğu kanıtlanmıştır [21]. Bu nedenle, öğrenen fabrikalar eğitimler için ve Endüstri 4.0 kullanımına yönelik çalışanların hazırlanması için büyük bir fırsat sunmaktadır [7].

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Sanayileşmiş ülkelerde, sanayileşme değeri yaratılması şu an sanayileşmenin dördüncü aşaması olan Endüstri 4.0 olarak adlandırılan gelişme ile şekillenmektedir. Bu gelişme, 1970'lerin başında başlayan ve üretimde yüksek düzeyde bir otomasyon gerçekleştirmek için elektronik ve bilgi teknolojilerine dayanan üçüncü endüstriyel devrimi izlemektedir.

Endüstri 4.0'a yönelik gelişme şu anda imalat sanayii üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve gelecekte bu etki katlanarak devam edecektir. Çünkü Endüstri 4.0 gelecekte makine-insan işbirliğine ve simbiyotik ürün gerçekleştirmesine dönük yeni tip ileri üretim ve endüstriyel süreçler ortaya çıkararak eşi benzeri görülmemiş düzeyde operasyonel verimlilik elde etmemizi sağlayacak ve verimliliğimizi hızlandırmamıza izin verecektir. Diğer bir deyişle, "dijital dönüşüm" ve Endüstri 4.0 ile beraber ulaşılabilecek yeni seviyede insanların, nesnelere ve sistemlerin birbiriyle bağlantısı yaygın ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu yüzden gelecekte rekabet gücünü arttırmak isteyen şirketler üretim organizasyonlarına Endüstri 4.0 devrimini uygulamaları ve bunun sonucu olarak da fabrikalarında akıllı robotlar, siber-fiziksel sistemler, bulut tabanlı imalat gibi teknolojilere başvurmaları gerekmektedir.

Bundan dolayı 4. Endüstri devriminde gelişmiş birçok ülke temellerini atmış ve bu temellerin devamı için güçlü adımlar attıklarının sinyallerini vermektedirler. Özellikle Almanya, Amerika, Çin ve Finlandiya gibi ülkelerin endüstri 4.0 ile ilgili birçok çalışma yapmakta olduklarını görmekteyiz.

Almanya 4. Endüstri devrimi için gelişmiş devlet politikaları ve hali hazırda bu alandaki çalışmalara verdiği önem sebebiyle diyebiliriz ki endüstri 4.0 konusunda öncü konumdadır. Özellikle Bosch, Siemens, Mercedes, BMW gibi dev markaların hem ülke gelirine hemde ülke istihdamına sağladığı katkılar, uyguladığı stratejiler bu öncülüğü fazlasıyla ispatlamaktadır. 2006 yılında oluşturulan ileri teknoloji stratejisi ile Almanya hem inovasyonu tetiklemiş hem de paydaşları ortak bir platformda toplayarak yatırımları desteklemiştir. Ayrıca 2010 yılında oluşturulan "İleri Teknoloji Stratejisi 2020" ile bilim ve endüstri arasındaki bağların artırılması hedeflenmiş ve bu kapsamda endüstri 4.0 için 200 milyon Euro kadar teşvik sanayi için ayrılmıştır.

Pazarının en büyüğü olarak görülen ve hızla büyüyen ekonomisini gelecekte de ayakta tutmak isteyen Çin ise sahip olduğu eşsiz insan gücüne rağmen bu liderliğini korumak için endüstri 4.0 stratejini takip etmektedir. Gelişmiş ülkelerin aksine Çin dijitalleşme sürecinin otomasyon ayağına odaklanmış ve "Akıllı fabrika 1.0" projesi ile üretim süreçlerinin dijitalleşmesi yönünde adımlar atmıştır.

Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmaları uzun soluklu olan Amerika, gelişmiş teknolojisi ve inovasyon

kültürü ile 4. endüstri devrimine en yakın ülkelerden birisidir. Amerika'nın endüstriyel internet için yaklaşık iki milyar dolarlık bir fon ayırması ve aynı zamanda konuyla ilgili araştırmalar yapan Industrial Internet Consortium'u (IIC) kurmuş olması, bütün bunlarla birlikte ülkenin inovasyon, yazılım geliştirme ve eğitim alanlarında kanıtlanmış geçmişi endüstri 4.0 için ne kadar sağlam temellere sahip olduğuna dair ipuçları vermektedir.

Finlandiya, ülke olarak adından çok fazla söz ettirmese de endüstri 4.0 ile ilgili ciddi adımlar attığını söylemek mümkündür. Finlandiya'nın inovasyon ve teknoloji mali destek ajansı tarafından yürütülen Ar-Ge programı ve ayrıca farklı firmaları birbirine bağlayabilmek adına "Fin Endüstriyel İnternet Forumu (FIIF)" bulunmaktadır. Bu oluşum aynı zamanda sorunların çözümünde teknolojinin kullanımını artırmayı, daha hızlı test ve denemelerin yapılabilmesini, girişim aktivitelerini ve Ar-Ge çalışmalarını desteklemeyi, konuyla ilgili eğitimler düzenlemeyi ve özellikle Avrupa ve ABD'de yaşanan gelişmeleri takip etmeyi ve birlikte çalışma fırsatları oluşturmayı hedeflemektedir.

2020 yılında yaklaşık 50 milyar cihazın birbiriyle iletişim halinde olacağı tahmin edilmektedir. Akıllı üretim sistemlerinin, akıllı şehir, ev, lojistik, şebeke, cihaz unsurlarının sosyal ağlar ve e-ticaret ağlarıyla birleşmesi sonucu veriler, hizmetler, nesnelere ve bireylerin internet ortamını kullanarak kuracağı ekosistemdeki ağın önümüzdeki çeyrek asırda küresel ticaret hacminin yaklaşık %46'sını etkileyeceği öngörülmektedir.

Türkiye açısından ise endüstri 4.0 yaklaşımı, üretim ekonomisinde rekabet gücü, sürdürülebilirlik, katma değeri yüksek ürün ve hizmet üretmek anlamına gelmekte ve üretim sektörlerinin verimlilik artışının %4-7 arasında olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin endüstri devrimleri arasındaki konumunu tespit etmek ve atılması gereken adımları belirlemek amacıyla 2016 yılında TÜBİTAK'ın yapmış olduğu çalışma, sanayimizin dijital olgunluk seviyesinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda Türkiye'nin Endüstri 4.0 (d)evrimini yakalaması ve öncülükler arasında yer alması için; tüm sanayi şirketlerinin dijital teknolojilere erişiminin kolaylaştırılması, dijital sanayi platformlarının oluşturulması, akıllı endüstrinin yaygınlaşması için uygun çözümlerin sunulması

ve tüm paydaşların ortak bir ülke planı ve hedefi çevresinde odaklanarak çalışması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. V. Can ve M. Kıymaz, "Bilişim teknolojilerinin perakende mağazacılık sektörüne yansımaları: muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi", *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, CİEP Özel Sayısı, pp. 107-117, 2016.
- [2] S. Sayer ve A. Ülker, "Ürün yaşam döngüsü yönetimi", *Mühendis ve Makina*, cilt. 55, no. 657, pp. 65-72, 2014.
- [3] K. Witkowski, "Internet of things, big data, industry 4.0—innovative solutions in logistics and supply chains management", *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 763-769, 2017.
- [4] L.U. Yang, "Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, in press.
- [5] Q. Jian, L. Ying and R. Grosvenor, "A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond", *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 173-178, 2016.
- [6] S. Andreas, E. Selim and W. Sihn, "A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises", *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 161-166, 2016.
- [7] C. Prinz, F. Morlock, S. Freith, N. Kreggenfeld, D. Kreimeier and B. Kuhlenkötter, "Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0", *Procedia CIRP*, vol. 54, pp. 113-118, 2016.
- [8] B. Mrugalska and M.K. Wyrwicka, "Towards lean production in industry 4.0.", *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 466-473, 2017.
- [9] A. J. Trappey, C. V. Trappey, U. H. Govindarajan, A. C. Chuang and J. J. Sun, "A review of essential standards and patent landscapes for the internet of things: a key enabler for industry 4.0", *Advanced Engineering Informatics*, in press.
- [10] Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü, "Sanayi 4.0: uyum sağlayamayan kaybedecek, Ekim 2015.

- [11] A. Sinan, “Üretim için yeni bir izlek: sanayi 4.0”, *Journal of Life Economics*, no. 8, pp. 19-30, 2016.
- [12] J. Herter and J. Ovtcharova, “A model based visualization framework for cross discipline collaboration in industry 4.0 scenarios”, *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 398-403, 2016.
- [13] N. C. Batista, R. Melício and V. M. F. Mendes, “Services enabler architecture for smart grid and smart living services providers under industry 4.0”, *Energy and Buildings*, vol. 141, pp. 16-27, 2017.
- [14] F. Rennung, C. T. Luminosu and A. Draghici, “Service provision in the framework of industry 4.0.”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 221, pp. 372-377, 2016.
- [15] L. Thames and D. Schaefer, “Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0.”, *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 12-17, 2016.
- [16] E. Hofmann and M. Rüşch, “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”, *Computers in Industry*, vol. 89, pp. 23-34, 2017.
- [17] M. Landherr, U. Schneider and T. Bauernhansl, “The application center industrie 4.0-industry-driven manufacturing research and development”, *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 26-31, 2016.
- [18] S. Aksoy, “Değişen teknolojiler ve endüstri 4.0: endüstri 4.0’ı anlamaya dair bir giriş”, *SAV Katkı*, cilt., 4, pp. 34-4, 2017.
- [19] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li and C. Zhang, “Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination”, *Computer Networks*, vol. 101, pp. 158-168, 2016.
- [20] T. Stock and G. Seliger, “Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0”, *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 536-541, 2016.
- [21] S. Erol, A. Jäger, P. Hold, K. Ott and W. Sihn, “Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production”, *Procedia CIRP*, vol. 54, pp. 13-18, 2016.