

ÜRETİM İÇİN YENİ BİR İZLEK: SANAYİ 4.0

Sinan ALÇIN*

ÖZET

Son yıllarda, başta gelişmiş pazar ekonomileri olmak üzere, uluslararası değer zincirinin halkalarını oluşturan çokuluslu şirketlerin gündeminde Sanayi 4.0 kavramı ve bu kavramın imalat ve hizmet alanlarındaki olası yansımaları önemli bir yer tutmaktadır. 4. Sanayi Devrimi olarak da isimlendirilen bu yeni süreç, otomasyonun bir üst düzeyine işaret etmektedir. Sanayi 4.0'ın ayırt edici özelliği, üretim süreçleri içerisinde yer alan tüm araç ve makinaların sensorler ve internet aracılığıyla karşılıklı etkileşime geçerek üretimi eş-anlı düzenlemeleridir. Üretim için gerekli verinin bulut sistemi içerisinde depolanacağı sanayinin bu yeni formunda mekan ve zaman katılıklarının aşılması öngörülmektedir. İleri mühendislik ve sistemler arası tam entegrasyonu içeren Sanayi 4.0'ün, uluslararası alanda ucuz işgücüne dayalı rekabet yerine yüksek katma değerli üretime dayalı rekabeti geçirmesi beklenmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler için Sanayi 4.0'ün anlaşılup ulusal sanayilere entegrasyonu, bu ülkelerin uluslararası işbölümünde üstlenecekleri yeni rolleri de belirleyecektir. Bu çalışmada, dünyada 2011 yılından itibaren kavramsallaştırılan Sanayi 4.0'ün temel özellikleri ve olası yansımaları tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi 4.0, Üretim, Sanallaşma

JEL Kodları: L23, L52, L86

19

A NEW THEME FOR PRODUCTION: INDUSTRY 4.0

ABSTRACT

In recent years, concept of Industry 4.0 and the possible effects of this concept on the manufacturing and service industries are one of the top priority topic on the agenda of developed free market economies and multinational corporations which create the links of the international value chains. This new process is also known as the 4th Industrial Revolution is the next level in automation. Industry 4.0 connect every tool, machine and sensors that is involved in the manufacturing process to organize the process simultaneously by connecting them via internet. With this new form of industry, the necessary data for manufacturing processes will be stored in the cloud servers thus possibly help the process to surpass the strictness of time and location. With the embracement of advance engineering and full integration of systems provided by Industry 4.0, high value-added manufacturing competition will take the place of low labor cost manufacturing. Understanding Industry 4.0 and integration of it in local industries will help the developing countries to get their parts in the international division of labor. In this study, the basic characteristics and possible effects of the conceptualized Industry 4.0 since 2011 is being discussed.

Key Words: Industry 4.0, Production, Virtualization

JEL Codes: L23, L52, L86

* Doç.Dr., İstanbul Kültür Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, Ataköy Yerleşkesi, 34156, Bakırköy-İstanbul, +90 212 4984153, s.alcin@iku.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde erken sanayileşmiş ülkelerin endüstriyel güçleri Sanayi 4.0 olarak adlandırılan endüstrileşmenin dördüncü evresi ile şekillendirilmektedir. Bu gelişme, 1970’lerde başlayan ve elektronik ve enformasyon teknolojilerine dayalı yüksek düzeyde otomasyonu içeren üçüncü sanayi devrimini takip etmektedir (Stock ve Seliger, 2016: 536).

Sanayi 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 sistemleri, diğer yanda ise birbirleriyle sürekli iletişim ve koordinasyon halinde olan otomasyon sistemleri içine girilmekte olan yeni dönemin karakteristik yapısını betimlemektedir.

Sanayi 4.0’ın “Akıllı Fabrikaları” (Smart Factories) iş ihtiyacını sensörlerle algılayıp, uzaktaki diğer üretim araçlarıyla internet vasıtasıyla iletişim kurup, ihtiyaç duydukları üretim bilgisini bulut sistemler içerisindeki Büyük Veriden (Big Data) çeken akıllı makineler ve sistemleri içermektedir.

Üretim araçlarının birbirleriyle kurdukları iletişim ve etkileşim internet aracılığıyla sağlanmaktadır. Nesnelerin birbiriyle iletişimini olanaklı kılan yapılara Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet of Things) adı verilmektedir. Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişim ve koordinasyonu içeren yapıların bütünü Siber-Fiziksel Sistemler (CPS - Cyber-Physical Systems) olarak adlandırılmaktadır.

Üretim koordinasyonunun eşanlı gerçekleştiği, ihtiyaç duyulan üretim bilgisinin harici alanlardan çekildiği, kayıp ve firelerin sensör kontrolleri ile büyük ölçüde ortadan kaldırıldığı, üretimde zaman ve mekan yakınsaması yaratan Sanayi 4.0 kaynak tasarrufu konusunda da gelişmeleri içermektedir.

Bu çalışmada, Sanayi 4.0’ın tarihsel ve kavramsal art alanı serimlenirken, bu yeni üretim paradigmasının ayırt edici özelliklerini oluşturan unsurlar da (nesnelerin interneti, büyük veri, siber-fiziksel sistemler, akıllı fabrikalar gibi) incelenmektedir.

2. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ YA DA SANAYİ 4.0

Sanayi 4.0 yaklaşımı, yüksek düzeyde kişiselleşmiş ve aynı zamanda çapraz bağlantılandırılmış üretim süreçleri ile karakterize edilmektedir (Schuster ve diğerleri, 2015: 14). Bu yeni üretim dönemi ya da sanayi devriminin ayırt edici temel nitelikleri ve ortaya çıkarttığı yeni üretim yöntem ve biçimleri bu başlıkta tartışılmaktadır.

2.1. Tarihsel Art Alan

Dördüncü sanayi devrimini incelerken, ilk üç devrim hatırlanacak olursa: İlki sanayileşmenin de başlangıcı kabul edilen, İngiltere’de ortaya çıkıp önce kıta Avrupa’sına, sonra da tüm dünyaya yayılan ve aletli üretim yerine makinalı üretimin hâkim olduğu, atölye tarzı üretim (manüfaktür) yerine de fabrika üretiminin geçtiği devrimdir. Birinci sanayi devrimi, üretimi muazzam düzeylere ulaştırmış, ikili sınıfsal yapıyı ortaya çıkartmış ve ekonomiler için büyümeyi olanaklı kılmıştır. 1. Sanayi Devrimi ekonomik ilişkiler için eskiden tam anlamıyla kopuşu ifade etmektedir.

2. Sanayi Devrimi için genel kabul gören başlangıç ise ilk olarak Henry Ford’un otomobil fabrikasında uygulanan ve özellikle II. Dünya Savaşı sonrası dönemde –Keynesyen harcamacı politikaların da etkisiyle- yaygın olarak benimsenen kitlesel üretim çağı olmuştur. Bu dönem Fordizm olarak anılmaktadır. Bu dönemin üretiminin karakteristik özelliği kayan bant sisteminin varlığıdır. Bu sistem tek tipe dayalı kitlesel üretimi olanaklı kılmıştır. 60’lı

yılların sonlarına kadar fordizmin kitlesel üretimi ülkelerin üretime ilişkin temel stratejini oluşturmuştur. Rekabetteki yoğunlaşma ve tüketici tercihlerindeki çeşitlenme fordizmin sunduğu tek kalıp üretimi zorlamaya başlamış ve nihayetinde 1973 petrol krizi sonrasında bu sistem çökmüştür.

1968 yılında ilk kez geliştirilen programlanabilir makinalar 3. Sanayi Devriminin de hazırlayıcısı oldular. Bu dönem ile birlikte üretimde fordizm yerini post-fordizme bıraktı. Programlanabilir makinalar gelişerek endüstriyel robotlara dönüşürken, bu dönemin öne çıkan firma ve ülkeleri, çeşitlenen tüketici tercihlerine cevap verme esnekliğini gösterebilenler oldu. Şimdi tartışılan ve ilk olarak 2006 yılında ABD’de ama daha güçlü bir sesle 2011 yılında Almanya’da Hannover Fuarında dillendirilen Sanayi 4.0 (4. Sanayi Devrimi) artık üretimde yeni bir paradigmanın ortaya çıktığını gösteriyor (Alçın, 2016: 47).

4. sanayi devrimi ya da yaygın kullanılan haliyle Sanayi 4.0’ın (Industry 4.0) kuramsal başlangıcı için Kagermann’ın 2011 tarihli makalesi esas alınmaktadır. Kagerman (2011) 4. Sanayi devriminin sadece otomasyondaki gelişimi değil, aynı zamanda akıllı gözlem ve karar alma süreçlerini de içermekte olduğunu ifade etmektedir.

Sanayi 4.0 halen tartışmalı bir konudur. Bir yanda bunun gerçekten bir devrim olduğu görüşü bulunurken, karşı tarafta yaşanan sürecin sanayideki ani bir değişiklik ve kopuştan (devrim) ziyade evrimsel bir gelişme olduğu yönündedir.

2.2. Sanayi 4.0’ın Ayırt Edici Özellikleri

Sanayi 4.0’ın temel düşüncesi Kagermann (2011) tarafından ortaya atılmışken, Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi’nin (acatech) 2013 yılında konuyu “manifesto” olarak yayımlamasıyla kuramsal çerçeveye kavuşulmuş oldu.

Acatech’in Sanayi 4.0 forumunun final raporunda (acatech, 2013) bu yeni dönemin getirmekte olduğu ayırt edici yenilikler şöyle sıralanmaktadır:

- ❖ Depolama sistemleri ve kaynakları ile makinaların global etkileşimi,
- ❖ Konum bilgisine sahip benzersiz akıllı ürünlerin gelişimi,
- ❖ Ürün özelliklerine adapte olan, kaynak optimizasyonunu sağlayan akıllı fabrikaların hayata geçmesi,
- ❖ Yeni iş modellerinin gerçekleşmesi (Büyük Veri [Big Data] kullanımı ile ortaya çıkan yeni hizmetler gibi)
- ❖ Çalışanlar için işyerinde yeni sosyal altyapı, bireysel farklılıklara duyarlı iş yapısı,
- ❖ Daha iyi iş/yaşam dengesi,
- ❖ Bireysel tüketici isteklerine yanıt verme,
- ❖ Anında mühendislik ve problemlere anlık cevap için geliştirilmiş akıllı yazılımlar.

Almanya’daki temel gelişim üzerine konuyu içselleştiren Avrupa Birliği Komisyonu Sanayi 4.0 paradigmasının esas olarak üç boyutta biçimlendiğini ifade etmektedir (European Commission, 2015):

- a) Değer yaratma ağları arasında yatay entegrasyon,
- b) Ürün yaşam döngüsünde baştan sona mühendislik (end-to-end engineering),
- c) İmalat sistemlerinde bağlantı ve dikey entegrasyon.

Değer yaratım ağlarındaki yatay entegrasyon, firma içi ve firmalar arası akıllı çapraz bağlantılar ve değer yaratımının dijitalizasyonunu içermektedir. Ürün yaşam döngüsünde baştan sona mühendislik ise ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarında akıllı çapraz bağlantı ve dijitalizasyonu içermektedir (hammadde tedariki, imalat, ürün kullanımı ve ürün yaşamının sonu). İmalat sistemlerinde bağlantı ve dikey entegrasyon ise imalat hatları, fabrikalar ve üretim modüllerindeki farklı birikim ve hiyerarşik değer yaratma düzeylerinde akıllı bağlantı ve dijitalizasyonu içerir.

Akıllı çapraz bağlantı ve dijitalizasyon, bulut sistemi içerisinde entegre bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanan baştan sona çözüm uygulaması içermektedir. Bir imalat sisteminde akıllı çapraz bağlantıların hayata geçtiği, kendi kendine hareket eden ve bağımsız işleyen uygulamalara Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) denir (Stock ve Seliger, 2016: 537).

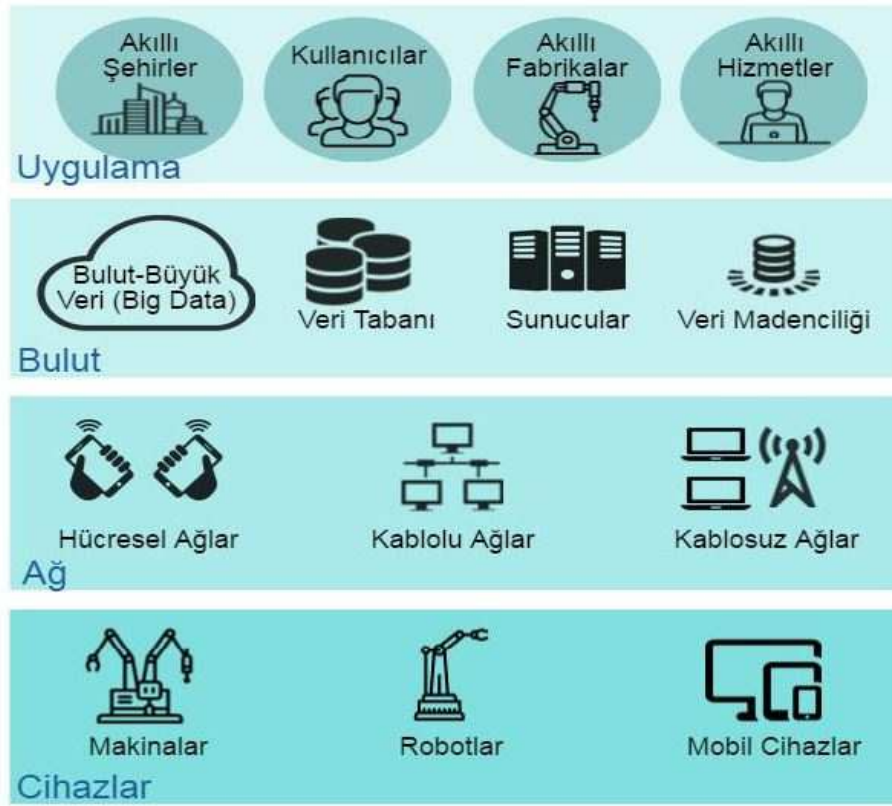
Sanayi 4.0 ürün yaşam döngüsün içerisinde değer zincirinde yeni bir organizasyon düzeyine işaret etmektedir. 4. Sanayi Devrimi olarak görülmekte olan Sanayi 4.0, fiziksel ve sanal dünyayı birleştirmeye çalışmaktadır. Bu durum üretimin otomasyonu için elektronik ve enformasyon teknolojilerinin kullanıldığı 3. Sanayi Devrimine göre karmaşıklık düzeyi oldukça değişik bir yapıya işaret etmektedir (Ramanathan, 2014: 24).

İnsan faktörü halen önemli olmakla birlikte, Sanayi 4.0 katı ve merkezi fabrika kontrol sistemlerinden yaygın akılcı sistemlere geçişe işaret etmektedir. Ayrıca tüketici tercihlerini karşılamakta zorlanan bugünün ürünlerini ortaya çıkartan makineler yerine Sanayi 4.0'da üreticilerin tüketici ihtiyaçlarına hızla yanıt verebilmek için fabrikaların ve makinelerin otomasyonu kendi kendine şekillendirecekleri bir organizasyona yönelinmektedir (Ramanathan, 2014: 28).

Halihazırda üretimde –özellikle Çin ve Japonya'da- robotik kullanımı yaygınlaşmış olsada, geleceğin imalat planlarında üretimde ileri düzey robot kullanımı yer almaktadır. İleri düzey robotik teknolojisinde robotlar sensörleri aracılığıyla kablosuz ağlar üzerinden diğer robotlarla iletişime geçebilmektedir. Bunun anlamı, Sanayi 4.0 ile birlikte büyük yatırım harcamalarını azaltacak maliyet tasarrufları ortaya çıkabilecektir (Ramanathan, 2014: 29).

Sanayi 4.0 ile birlikte üretimde maliyet azalışı ucuz iş gücüne dayalı rekabete odaklanmış Uzakdoğu Asya ülkeleri ile gelişmekte olan piyasalar açısından kayıba yol açabilecektir. Sanayi 4.0 ile birlikte rekabet avantajını yitirmiş gelişmiş pazar ekonomilerininin (ABD, Almanya, Japonya gibi) yeniden öne çıkma ihtimali güçlenmektedir.

Grafik.1 Sanayi 4.0'ın Genel Görünümü



Grafik 1’de Sanayi 4.0’ın genel görünümü sunulmaktadır. Bu görünüm içerisinde Sanayi 4.0 dört düzeyde tasnif edilmektedir: cihazların bulunduğu fiziksel alan, iletişimi sağlayan ağlar, bulut sistemi içerisinde gömülü bulunan büyük veri ve sunucu sistemleri ile uygulama düzeyini gösteren akıllı fabrika, şehir, kullanıcı ve hizmetler. Cihazlar ağlar aracılığıyla birbiriyle iletişime geçip senkronize olurken, üretim için gerekli bilgiyi bulut sisteminde bulunan veriden –veri madenciliği yoluyla- elde etmekte ve uygulama düzeyindeki “akıllı” tüketici ve fabrikaları olanaklı kılmaktadır.

2.2.1. Siber-Fiziksel Sistemler

Fiziksel dünya ile siber alanı internet ile birbirine bağlayan sistemlere siber-fiziksel sistemler (CPS-Cyber-Physical System) adı verilmektedir. Sensörlerle desteklenmiş bu sistemler fiziksel dünyadaki hareketleri internet hizmetleriyle toplamakta ve global olarak nesnelerin etkileşimini içermektedir (Geisberger ve Broy, 2012: 314).

Kavram olarak “siber” (cyber), sibernetik (cybernetics) olarak bilinen ve canlı varlıklar ve makinalar üzerindeki iletişim ve kontrolü araştırma konusu edinmiş bilimsel disiplinden türemiştir. 1940’lar ile birlikte “siber” kavramı genellikle, enformasyon teknolojileri, bilgisayarlar ve internete dayalı kontrol süreçlerini anlatmak için kullanılmıştır (Bradley ve Atkins, 2015: 23023).

Siber-fiziksel sistem (CPS) kavramı ilk olarak 2006 yılında ABD’de, fiziksel dünya ile bağlantılı bilgisayar sistemlerinin artan önemine vurgu yapmak için Lee (2006) tarafından kullanılmıştır.

Bradley ve Atkins'in (2015) siber-fiziksel sistemlerin (CPS) gelişimini olanaklı kılan önemli olgu ve olayları gösteren tarihsel dökümü Tablo 1'de birleştirilerek sunulmuştur.

Tablo.1 - Siber-Fiziksel Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Tarih	Olay/Olgu
1932	Nyquist, kontrol sistemleri konusunda frekans teknikleri geliştirmiştir.
1940-1945	Örneklenmiş Veri Sistemleri Teorisi ortaya atılmıştır.
1945	İlk amplifikatör tasarımı yapılmıştır.
1946	İlk taşınabilir hücreli telefon geliştirilmiştir.
1946	İlk bilgisayar (ENIAC) bulunmuştur.
1950	Root Locus metodu geliştirilmiştir.
1954	Dijital Kontrol Sistemleri geliştirilmiştir.
1969	ARPANET (internetin ilk hali) geliştirilmiştir.
1973	Gerçek zamanlı işleme sistemleri geliştirilmiştir.
1973	Optimal, adaptif, non-lineer kontrol sistemleri ile stokastik sistemler geliştirilmiştir.
1990	Hibrit sistemler geliştirilmiştir.
1997	IEEE 802.11 Wifi standardı geliştirilmiştir.
2000	Ağ önceliği sistemi (QoS) başlatılmıştır.
2006	Siber-Fiziksel Sistem (CPS) kavramı ilk kez kullanılmıştır.

Kaynak: Bradley, J. M. ve Atkins, E. M. (2015). Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems, Sensors, Sayı:15, ss. 23023'den dönüştürülmüştür.

Siber-fiziksel sistemler, fiziksel süreçleri etkileyen iş hareketleri ile ilgili verileri toplayan sensörlerle donatılmış mekatronik bileşenleri içerirler. Siber-Fiziksel sistemler, sürekli değişen verilerin eş zamanlı olarak sanal bir bulut sisteminde birbirine bağlandığı akıllı sistemlerdir. Sosyoteknik sistemin bir parçası olarak siber sistemler, üretim süreci için insanımsı makina arayüzü kullanmaktadır (Hirsch-Kreinsen ve Weyer, 2014'den aktaran Stock ve Seliger, 2016: 537).

Endüstriyel otomasyon sistemleri, fiziksel üretim süreçlerini monitör üzerinden yönetmeyi sağlayan bilgisayarlı üretim yapılarını anlatmaktadır. Sistemin siber kısmı, fiziksel süreçlerden veri edinip, bu veriyi üretim sürecine uyarlayan bilgisayar yazılımlarından oluşmaktadır (Thramboulidis, 2015: 92).

Siber-Fiziksel bir sistemin etkisi çevresindeki diğer Siber-Fiziksel Sistemlerle kurmuş olduğu etkileşimin düzeyine bağlıdır. Farklı sistemler arasında çapraz bağlantının sağlanabileceği yapılar oluşturulmalıdır (Bergera, 2016: 639).

Siber-Fiziksel sistemlerin “siber” ve “fiziksel” yönlerinin karşılaştırması Tablo.2’de sunulmuştur:

Tablo.2 – Siber-Fiziksel Sistemlerin Siber ve Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırması

	Siber	Fiziksel
<i>Uygun düzenin sağlanması yöntemi</i>	Seri	Gerçek zamanlı
<i>Konu senkronizasyonu</i>	Senkronize	Asenkron
<i>Zaman özellikleri</i>	Kopuk	Devamlı
<i>Yapı</i>	Bilgisayar sistemleri	Fiziksel kanunlar

Kaynak: Hu, F. ve diğerleri. (2016). Robust Cyber-Physical Systems: Concept, Models and Implementation, Future Generation Computer Systems, sayı: 56, ss. 449-475.

Enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler hizmet, lojistik, tasarım ve imalat biçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Özellikle, fiziksel sürücüler ve mikro kontrolcüler arasındaki derin entegrasyon Sanayi 4.0 sürecinde tüm araç ve makinelerin otomasyonunu –işçi yerine- kendi kendine kontrolünü ve otomasyonunu olanaklı kılmaktadır. Bilgisayar, iletişim ve kontrol teknolojileri tam zamanlı algılama (Real-time sensing), geniş ölçekli endüstriyel sistemlerin dinamik kontrolü, enformasyon hizmetleri ve ürün hayat döngü yönetimindeki gelişmeleri desteklemektedir. Ancak henüz bu teknolojilerin ulaştığı düzey ihtiyaçlarımızı tam olarak karşılamamaktadır. Siber-Fiziksel sistemlerin nihai amacı, “akıllı izleme” (intelligent monitoring) ve “akıllı kontrol” (intelligent control)ün gerçekleştirilmesidir. Bu süreç tam zamanlı enformasyon çıkarsaması, veri analizi, karar verme ve veri transferi oluşumlarının gerçekleşmesine bağlıdır (Yue ve diğerleri, 2015: 1262).

2000-2010 arasında önemli sayıda imalatçı firma (ağırlıklı olarak motorlu taşıt üreticileri) “Akıllı ortamlar” (Smart Environments) ya da “Kablosuz sensör ağları” (Wireless Sensor Networks) kapsamında değerlendirilebilecek radyo frekans kimlik sistemini (RFID-radio frequency identification) üretim süreçlerinin takibini kolaylaştırıcı bir araç olarak kullanmaya başladılar. İlk olarak Volvo Kamyonları (Volvo Trucks) üretimde devamlılığı sağlamak için RFID sistemini kullanmıştır. Daha sonra Toyota otomobil parçaları üretiminde enformasyon sistemleri bazlı RFID sistemi kullanmıştır (Sánchez, 2015: 29479).

2.2.2. Nesnelerin İnterneti

İlk olarak Kopetz (2011) tarafından kullanılan Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet of Things) kavramı ile bir işyeri ya da fabrikada bulunan farklı kaynaklardan verilerin toplanılabilmesi, çoğaltılabilmesi ve organize edilebilmesini anlatmaktadır. Nesnelerin İnterneti, süreç kontrollerini hızlandıran bağlantısız bir veri yönetimi sunmaktadır. Bu platform, büyük veriden (big data) yararlanarak bu verinin siber-fiziksel sistemi (CPS) harekete geçirecek bilgiye dönüştürülmesinde etkilidir. Harekete geçen veri kanalı iş zincirinin farklı katmanlarında değer yaratma potansiyeli taşımaktadır (Lee ve diğerleri, 2015a: 4).

Sanayi 4.0’daki gelişmelerin günümüzde imalat sanayi üzerinde etkileri olmaktadır. Endüstriyel internet olarak da isimlendirilen Nesnelerin İnterneti (IoT), akıllı fabrikalar, akıllı ürünler ve akıllı servislerin temelini oluşturmaktadır (Kagermann ve diğerleri, 2015).

“Akıllı Nesnelere” yaklaşımındaki gelişmeler ile birlikte entegrasyon ve kesintisiz iletişim konularında yeni bir aşamaya ulaşılmıştır. Bu nesnelere desteğiyle, yeni bir üretim yeteneği ve sanallaşma gelişmektedir. Akıllı nesnelere ile bu nesnelere kullanıcıları ve diğer akıllı nesnelere etkileşimi sanal dünyada sağlanmaktadır (Scala ve diğerleri, 2015: 205).

Ning’e (2016) göre, nesnelere internetinin nesnelere arasında iletişimi geliştirirken, sosyal ve bilişsel süreçler konusunun da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için de siber-fiziksel sistemlerin toplumsal yapıları göz önünde bulundurulacak biçimde yapılandırılması gerekmektedir.

2.2.3. Büyük Veri ve Bulut Sistemi

Sanayi 4.0, endüstriyel araçların birbiriyle iletişimini gerekli kılmaktadır. İtranet ya da internet aracılığıyla gerçekleşen bu iletişim, çok büyük ve geleneksel sunuculara (server) ihtiyaç duymaktadır. Bu problem söz konusu sistemlerin kontrol ve yönlendirilmesini içeren Büyük Veri (Big Data) teknolojisi konusundaki araştırmaların önemini artırmaktadır (Pan ve diğerleri, 2015: 1538).

Bulut teknolojisinde ortaya çıkan yeni gelişmeler, Enformasyon Teknolojileri (IT) üreticileri ve bunların tüketicilerinin düşünce biçimini değiştirmiştir. Bulut sistemleri, iş ve uygulama modellerinin temel yapısı, platformu, yazılımı ve internet servisleri konusunda köklü değişikliklere yol açmıştır (Wang ve diğerleri, 2015: 521).

Geniş veri yığınlarının analizine dayanan büyük veri (big data), bu çağın en gözde kavramlarından biridir. Bilgisayar ve hafıza sistemlerindeki ilerlemeler, benzeri görülmemiş miktarlarda verinin toplanıp depolanmasını olanaklı kılmıştır. Siber-fiziksel sistemler (CPS) ve nesnelere interneti (IoT) muazzam boyutlara ulaşan verilerin fiziksel sistemlere aktarılmasını mümkün kılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2015: 521).

Büyük veri gibi sistemler firmaların bulundurmaları gereken sunucu (server) ihtiyacını azaltmakta, üretim için gerekli bilgiye ulaşmalarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca büyük veri sistemleri bilginin kamusal niteliğinin de görünür olmasını sağlamakta ve böylelikle firmalar açısından bir çok maliyet avantajı sağlarken, tüketiciler için de düşük fiyat avantajına olanak sağlamaktadır. Ancak, büyük veri sistemlerinin internet erişimine açık olması, bu platformlarının siber güvenliğini de önemli bir konu haline getirmektedir. Gizli kalmayan ya da yok edilen veriler firmalar açısından tam anlamıyla bir belirsizlik alanıdır.

2.2.4. Akıllı Fabrikalar

Siber-Fiziksel Sistemlerin (CPS) üretim sistemleri içerisindeki uygulamasına Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri (CPPS – Cyber-Physical Production Systems) ya da Akıllı Fabrika (Smart Factory) adı verilmektedir (Vincent ve diğerleri, 2014: 314).

Sensör teknolojisindeki yakın dönem gelişmeler, data transfer sistemleri ve bilgisayar ağları konusundaki ilerlemeler ve rekabetin ulaştığı aşama bugünün endüstrisini yüksek teknolojiyi içeren metodları uygulama konusunda zorlamaktadır (Lee, 2015b: 18).

Sanayi 4.0’ın bütünlükçü Siber-Fiziksel sistemleri, geleceğin akıllı fabrikalarının endüstriyel ağları konusunda ipucu vermektedir. PWC dergisinde (PWC, 2013) yayınlanan bir makaleye göre, Alman firmalarının yüzde 50’si sanayi ağları konusunda plan yaparken, yüzde 20’si hali hazırda Sanayi 4.0’ın akıllı fabrikasına geçiş yapmıştır (Ivanov, 2015: 386).

Fabrikaların “akıllanması” daha az fire ile, müşteri siparişlerine anında yanıt veren fabrikaları anlatmaktadır. Modern tüketim yapısı sadece farklılaşmış değil, aynı zamanda

anlık olarak değişim gösteren bir nitelik göstermektedir. Akıllı fabrikalar, çeşitlenmiş ürün yanında tam zamanında üretimi de olanaklı kılacak niteliği barındırmak durumundadırlar.

3. ÜRETİMDE YENİ BİR İZLEK OLARAK: SANAYİ 4.0

Kuzey Amerika ve Avrupalı üreticiler, bir yandan iklim değişikliği ile bağlantılı olarak çevresel standartlar konusundaki yükselen baskılar ve sürdürülebilirlik riskiyle karşı karşıya iken öte yandan da “Çin fiyatları” ile rekabet sorunu ile yüzleşmektedirler (Wright, 2014: 49). Ancak yüksek katma değerli ürünler ve endüstriyel varlıklar konusunda daha iyimser bir öykü de bulunmaktadır. ABD ve AB ülkeleri, kablosuz sistem entegrasyonu teknolojileri, kablosuz kontroller, makina iletişimi ve üretim sistemleri unsurlarını içeren Siber-Fiziksel Sistemlerin (CPS) kullanımı ve geliştirilmesi konusunda öncülük etmektedirler. Örneğin; *General Electric* ve *Rolls Royce* ortak geliştirdikleri jet motorunun üretiminde geçmiş uçuş bilgileri yanında sensörler yardımıyla anlık uçuş bilgilerini de üretim geliştirme aşamasında kullanılmaktadırlar (Dai, ve diğerleri, 2012).

Siber-Fiziksel sistemlerin üretim, lojistik ve hizmetlerle entegrasyonu sonucunda bugünün fabrikalarının kayda değer ekonomik potansiyele sahip Sanayi 4.0 fabrikalarına dönüşmesi mümkün olacaktır (Lee ve diğerleri, 2015b: 18). Tablo 3’de Lee ve diğerlerinin (2015b) bugünün fabrikaları ile Sanayi 4.0 döneminin fabrikaları arasındaki karşılaştırma denemeleri sunulmuştur.

Tablo 3. Bugünün Fabrikasıyla Sanayi 4.0 Fabrikasının Karşılaştırması

	Veri Kaynağı	Bugünün Fabrikası		Sanayi 4.0	
		Özellikler	Teknolojiler	Özellikler	Teknolojiler
Bileşen	Sensor	Hassas	Akıllı sensorlar ve hata algılayıcılar	Öz farkındalık Kendiliğinden tahmin	Bozulma izleme ve ürün yaşam süresi tahmini
Makina	Kontrolör	Üretilebilirlik ve Performans	Durum tabanlı izleme ve teşhis	Öz farkındalık Kendiliğinden tahmin Öz değerlendirme	Sağlıklı yaşam süresi izlemesi
Üretim Sistemi	Ağ bağlantılı sistem	Üretkenlik ve Toplam Ekipman Etkinliği (OEE)	Yalın operasyonlar: İş ve atık azaltımı	Kendiliğinden yapılanma Kendini koruma Kendiliğinden organizasyon	Sorunsuz üretkenlik

Kaynak: Lee, J ve diğerleri. (2015b). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems, *Manufacturing Letters*, sayı: 3, s. 19.

Yeni dönem fabrikalarının öz denetim, kontrol ve geliştirme süreçlerini insan duyuları yerine sensörlerle algılayıp, kendiliğinden harekete geçen robotik üretim araçlarıyla gerçekleştirmesi öngörülmektedir.

Alman mühendisliğinin biçimlendirdiği Sanayi 4.0 konseptinde, geleneksel üretim sistemleri yerine enformasyon sistemleriyle tam entegre fiziksel sistemlerin geçmesi beklenmektedir (Wang ve diğerleri, 2015: 521).

Enformasyon teknolojileri, kablosuz sensörler ve ileri kontrol sistemleri yeni endüstrinin anahtar unsurları haline gelmektedir. Ancak şunu vurgulamak gerekir ki bu tip yüksek katma değerli ürün ve endüstriyel unsurlar ancak ileri düzey bilgisayar kontrollü makineler ile gerçekleştirilebilir. Bu sebeple Sanayi 4.0, ihtiyaç duyduğu ekipmanlar üzerinden genişleme potansiyeline sahip; otomasyon ekipmanları, robotlar, özel nitelikli makineler gibi alanlarda ikincil bir piyasayı da yaratmaktadır (Wright, 2014: 49).

Sanayi 4.0'ın fabrikalarının, post-fordist dönemin dikey disintegrasyona dayalı atölye tarzı üretimi yerine nasıl bir üretim yapısı oluşturacağı ve yüksek katma değeri nasıl yaratacağı tartışılması gereken bir husustur. Fabrikaların “akıllanmasının” kar oranlarının genel seyri üzerindeki etkisi ve işgücü için ortaya çıkartacağı istihdam yapısı da tartışılması gereken konular arasındadır.

4. SONUÇ

Sanayi 4.0 ile birlikte üretim biçim ve ilişkilerinde yeni bir döneme girilmektedir. Önümüzdeki birkaç on yıl bu yeni durumun farklı yönlerinin tartışıldığı, geliştirildiği çalışmalara olanak sağlayacaktır. Halen üretici güçler açısından yeni olan Sanayi 4.0'ın üretim alanındaki uygulanış biçimleri ortaya çıkacak toplumsal ve sınıfsal etkileri de belirleyecektir.

Bu çalışmada genel görünümü ve temel prensipleri serimlenen Sanayi 4.0'ın uygulama örneklerinin çevre ve işgücü üzerindeki etkileri büyük önemdedir. Bunun dışında da yanıt aranacak sorular vardır: Büyük veri kullanımı enerji ihtiyacını ve enerji temini için doğa tahribatını azaltacak mıdır? Yeni “akıllı” fabrikalarda çalışanların rolü ne olacaktır? Uluslararası işbölümünde ülkelerin rolleri nasıl değişecektir? Bu yeni dönemde bu soruların yanıtları üzerine yapılacak çalışmalar, kaçınılmaz olarak iktisat biliminin de yakın gelecekteki gündemini büyük ölçüde belirleyecektir.

Bu çalışmada, Sanayi 4.0'ın genel görünümü -yukarıdaki sorular saklı tutularak- yansıtılmaya çalışılmıştır.

KAYNAKÇA

- ACATECH, 2013, Acatech: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0, Final Report of the Industry 4.0 Working Group.
- ALÇIN, S., 2016, Endüstri 4.0 ve İnsan Kaynakları. Popüler Yönetim Dergisi, Sayı: 63, s. 47.
- BERGARA, C., 2016, Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems, Procedia CIRP, sayı: 41, ss. 638-643.
- BRADLEY, J. M. ve ATKINS, E. M., 2015, Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems, Sensors, Sayı:15, ss. 23020-23049.
- DAI, X ve diğerleri., 2012, Wireless Communication Networks for Gas Turbine Engine Testing, Rolls Royce Internal Publications.
- EUROPEAN COMMISSION, 2015, Factories of the Future. URL: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html, erişim: 17.01.2016.
- GEISBERGER, E., BROY, M., 2012, AgendaCPS, Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech Studie). acatech –Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Munich
- RAMANATHAN, K., 2014, Industry 4.0: Implications for The Adis Pasific Manufacturing Industry, ss. 24-29.
- HIRSCH-KREINSEN, H. ve WEYER J., 2014, "Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0 “. Soziologisches Arbeitspapier 38, TU Dortmund.
- IVANOV, D. ve diğerleri, 2015, A dynamic model and an algorithm for shortterm supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0, International Journal of Production Research, Cilt: 54, Sayı:2, ss. 386-402.
- KAGERMANN, H., LUKAS, W. ve WAHLSTER, W., 2011, Industrie 4.0 –Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. VDI Nachrichten, Berlin.
- KAGERMANN, H ve diğerleri, 2015, Abschotten ist keine Alternative. In: VDI Nachrichten, Sayı 16.
- KOPETZ, H., 2011, Internet of Things. Real-time Systems içinde ss. 307-323, Springer, US.
- LEE, E. A., 2006, Cyber-Physical Systems Are Computing Foundations Adequate? NSF Workshop on Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, Austin, Texas.
- LEE, J ve diğerleri, 2015a, Industrial Big Data Analytics and Cyber-Physical Systems for Future Maintenance&Service Innovation, Procedia CIRP, Sayı: 38, ss. 3-7.
- LEE, J ve diğerleri, 2015b, A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems, Manufacturing Letters, sayı: 3, ss. 18-23.
- NING, H ve diğerleri, 2016, Cybermatics: Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace Based Science and Technology. Generation Computer Systems, sayı: 56, ss. 504-522.

- PAN, M., 2015, Applying Industry 4.0 to the Jurong Island Eco-industrial Park, *Energy Procedia*, 75, ss. 1536-1541.
- SANCHEZ, B. B. ve diğ erleri, 2015, A Framework for Developing Traceability Solutions in Small Manufacturing Companies. *Sensors*, 15, ss. 29478-29510.
- SCALA, I., S. ve diğ erleri, 2015, Cyber Physical Systems Oriented Robot Development Platform. *Procedia Computer Science*, sayı: 65, ss. 203-209.
- SCHUSTER, K. ve diğ erleri, 2015, Preparing for Industry 4.0 – Testing Collaborative Virtual Learning Environments with Students and Professional Trainers. *International Journal of Advanced Corporate Learning*, Sayı: 8, ss. 14-20.
- STOCK, T. ve SELIGER, G., 2016, Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, *Procedia CIRP* 40, ss. 536-541.
- THRAMBOULIDIS, K., 2015, A Cyber-Physical System-Based Approach for Industrial Automation Systems, sayı:72, ss. 92-102.
- VINZENT, R. ve diğ erleri, 2014, Pattern-based Business Model Development for Cyber-Physical Production Systems, *Procedia CIRP*, Sayı: 25. ss. 313-319.
- WANG, L., TÖRNGREN, M. ve ONORI, M., 2015, Current Status and Advancement of Cyber-Physical Systems in Manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, sayı: 37, ss. 517-527.
- WRIGHT, P., 2014, Cyber-Physical Product Manufacturing, *Manufacturing Letters*, sayı: 2, ss. 49-53.
- YUE, X. ve diğ erleri, 2015, Cloud,assisted industrial cyber-physical systems: An insight, *Microprocessors and Microsystems*, Sayı: 39, ss. 1262-1270.