



Araştırma Makalesi
Research Article

Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi
Yıl: 2023 Cilt-Sayı: 16(4) ss: 1129–1142

Academic Review of Economics and Administrative Sciences
Year: 2023 Vol-Issue: 16(4) pp: 1129–1142

<http://dergipark.org.tr/tr/pub/ohuiibf>

ISSN: 2564-6931

DOI: 10.25287/ohuiibf.1331731

Geliş Tarihi / Received: 23.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted: 27.09.2023

Yayın Tarihi / Published: 29.10.2023

ENDÜSTRİYEL DÖNÜŞÜM VE ENDÜSTRİ 5.0

Beyza GÜDEK ¹

Öz

Teknolojilerin ve yapay zekâ tabanlı çözümlerin hızla gelişmesi endüstrilerin hizmetlerini ve rekabetlerini etkilemektedir. Zira küresel anlamda meydana gelen tüm değişimler ve yenilikler imalat endüstrilerini daima etkisi altına almış ve onlar etrafında gerçekleşmiştir. Diğer endüstriyel devrimlerde olduğu gibi teknolojik dünya, gelişmiş ve farklılaşmış üretim teknikleri ile hızlı bir dönüşüm yaşamaktadır. Makinelerin insana özgü yetilere yönelik yapılan, yapay zeka ve arayüz çalışmaları sayesinde gelişen robotların artık insan zihinlerine eşleşmeleri onları daha önemli kılmıştır. Robotların insanların yerini alacağı algısının yanı sıra insanlar ile iş birliği içerisinde olacağı yeni bir üretim dönemine geçilmektedir. Endüstri 4.0'dan farklı olarak insan odaklı, sürdürülebilir ve dayanıklılığın hâkim olacağı Endüstri 5.0 kavramı güncel bir araştırma konusudur. Tartışılanın aksine insansız üretim fikrinden ve diğer endüstriyel devrimlerinden ayrılarak daha insan ve çevre merkezli ortaya çıkan Endüstri5.0 ilgililer için bir merak konusudur. Bu çalışma Endüstri 5.0'ın kavramsal çerçevesini ortaya koyarak, üretim yönetimi, kaynak planlaması, stratejik karar verme süreçleri, dijital dönüşüm ve sosyal sorumluluk projelerinin yürütülmesinde endüstrilere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun yanında endüstrilerin sahip olması gereken nitelikler ve standartlar konusunda öngörüler sunmaktadır. Endüstri 5.0'ın, İnsan Siber Fiziksel Sistemler (HCPS), Yeşil Üretim (GM) ve İnsan Robot İş Birliği (HRC) gibi potansiyel alanlara yönelik yaklaşımlarını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Endüstri 5.0, Sanayi Devrimi, Sürdürülebilirlik, Yeşil Üretim, İnsan-Robot İş Birliği.

JEL Sınıflandırması : L60.

¹ Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri, beyzagudek@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7432-9234.

Atıf/Citation (APA 6):

Güdek, B. (2023). Endüstriyel dönüşüm ve endüstri 5.0. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(4), 1129–1142. <http://doi.org/10.25287/ohuiibf.1331731>.

INDUSTRIAL TRANSFORMATION AND INDUSTRY 5.0

Abstract

The rapid development of technologies and artificial intelligence-based solutions affects the services and competition of industries. All the changes and innovations that occur globally have always affected the manufacturing industries and took place around them. As in other industrial revolutions, the technological world is experiencing a rapid transformation with advanced and differentiated production techniques. The fact that robots, which have developed thanks to artificial intelligence and interface studies aimed at machines' human-specific abilities, now match human minds, has made them more important. In addition to the perception that robots will replace humans, a new production era is coming in which they will cooperate with humans. The concept of Industry 5.0, which, unlike Industry 4.0, will be human-oriented, sustainable, and flexible, is a current research topic. Contrary to what is discussed, Industry 5.0, which differs from the idea of unmanned production and other industrial revolutions and emerges as more human and environment-centered, is a matter of curiosity for those concerned. This study aims to contribute to industries in the execution of production management, resource planning, strategic decision-making processes, digital transformation, and social responsibility projects by revealing the conceptual framework of Industry 5.0. In addition, it offers predictions about the qualifications and standards that industries should have. It reveals Industry 5.0's approaches to potential areas such as Human Cyber-Physical Systems (HCPS), Green Production (GM), and Human-Robot Collaboration (HRC).

Keywords : Industry 5.0, Industrial Revolution, Sustainability, Green Manufacturing, Human-Robot Collaboration.

JEL Classification : L60.

GİRİŞ

Endüstriyel üretim süreçlerinde köklü bir dönüşümü temsil eden Birinci Sanayi Devrimi, 1780'lerde su buharı ve fosil yakıtların kullanımına dayanan enerji üretimiyle başlamıştır. Bu dönemde, buhar gücüne dayalı makinelerin icat edilmesi ve fabrikalarda kullanılmasıyla üretim süreçleri büyük ölçüde değişikliğe uğramıştır. Endüstriyel üretimler artarken, tarım toplumundan sanayi toplumuna geçiş hızlanmıştır. Özellikle tekstil, kömür madenciliği ve demir-çelik sektörleri gelişmiş ve büyük bir ekonomik dönüşüm yaşamıştır. İkinci Sanayi Devrimi, 1870'lerde elektrik enerjisinin kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Bu dönemde ise elektrikli motorlar, aydınlatma sistemleri ve iletişim teknolojileri gibi yeni teknolojilerin gelişimi, üretim süreçlerine önemli katkılar sağlamıştır. Ayrıca, montaj hatlarının ve seri üretimin yaygınlaşmasıyla üretim verimliliği artmış ve endüstriyel üretim hız kazanmıştır. Bu gelişmeler ile otomotiv, çelik üretimi ve kimya sektörleri gibi endüstriler ön plana çıkmıştır.

Üçüncü Sanayi Devrimi, 1970'lerde yarı iletken maddelerin ve özellikle bilgi teknolojilerinin yükselişiyle gerçekleşmiştir. Dönemin koşullarında dijital teknolojilerin yaygınlaşması ve bilgisayarların kullanımının artmasıyla birlikte endüstrilerde benzeri görülmemiş bir değişim yaşanmıştır. Bilgisayarlar ve otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinin mevcut verimini ve ürün kalitesini artırmış, maliyetlerini düşürmüştür. Endüstri 4.0 olarak adlandırdığımız Dördüncü Sanayi Devrimi imalat endüstrilerini farklı bir boyuta ulaştırmıştır. Bu dönemde sanal ve fiziksel ortamlar arasında gerçek zamanlı etkileşimin oluşturulması amacıyla Nesnelerin İnterneti (IoT) bileşenleri ve bulut bilişim, gelişmiş analitikler ile entegre edilmiştir. Gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan siber-fiziksel sistemler, üretim süreçlerini daha akıllı ve otomatik hale getirmiştir. Üretimin siber-fiziksel sistemlere dönüştürülmesi üretim maliyetlerinde tasarrufun sağlanmasına, kalite yönetiminin artırılmasına ve lojistik süreçlerinin iyileştirilmesine imkân vermiştir. Süreçlerde elde edilen büyük verilerin analitiği sayesinde daha verimli değer zincirleri oluşturulmuş ve organizasyonlar rekabet gücü kazanmıştır. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasındaki temel hedefler arasında akıllı fabrikaların kurulması,

dijital ikizlerin kullanımı ile optimize edilmiş üretim hatları ve akıllı ürünlerin geliştirilmesi bulunmaktadır.

Henüz gelişiminin ilk aşamalarında ve yeni bir kavram olan Endüstri 5.0, Endüstri 4.0 döneminde ortaya çıkan işsizlik krizlerine dair endişeleri ve insanların teknolojiye karşı direnişini azaltmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda Endüstri 5.0, süreçleri daha insan merkezli hale getirerek, insan faktörünü teknoloji ile entegre etmeyi amaçlamaktadır. Endüstri 5.0 ile yüksek düzeyde otomatik süreçlerin yanı sıra kişiselleştirilmiş ve özelleştirilmiş ürün taleplerinin karşılanması önem arz etmektedir. Bu dönemin hâkim olduğu süreçte insanların yeteneklerini ve yaratıcılığını ön plana çıkararak insan destekli teknolojik eğilimlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, endüstriyel üretim daha dayanıklı, verimli ve sürdürülebilir hale gelebilecektir. Gelişiminin ilk aşamalarında olmasına rağmen endüstriler, insan odaklı, sürdürülebilir ve dayanıklılık gibi ilkelerin söz konusu olduğu Endüstri 5.0 için çalışmalarına hız kazandırmıştır.

I. ENDÜSTRİYEL YENİLİKLER

İmalat sanayisi, akıllı nesnelere ve en son teknolojik yeniliklerin sağladığı tüm imkanlar; akıllı üretim yoluyla, olağanüstü gelişme ve dönüşüm vaat eden büyük fırsatlar eşliğinde gerçekleşmiştir. Endüstriyel sektörler ürünlerini, araştırma, geliştirme, üretim ve servis gibi çoklu aşamalardan geçerek ortaya çıkarmaktadır. Her ürün, üretim sürecinde karşılaşılan benzersiz süreçlere uygun tek bir çözümle ele alınmayacak farklı gereksinimlere sahiptir. Bu yüzden imalat endüstrileri, bilim ve teknolojinin gelişimini sürekli olarak teşvik etmekte, işlerini değiştirmek ve dönüştürmek için çeşitli yaklaşımlar benimsemektedir. Böylelikle endüstriler, pazardaki rakiplerinden ayrılmak ve öne çıkmak için yeni yollara başvurmaktadır.

Rekabet ortamının endüstride yeniden şekillendiği, yeni bir büyüme, değişim ve ekonomik fırsatlara doğru ilerlendiği çağımız koşullarında, her organizasyon dünya çapında operasyonları yönetirken, ürünlerini tasarlar ve fikri mülkiyetini oluştururken, çalışanlarının ve makinelerinin süreçlerini daha etkin kılmalarını ve işlerini en iyi şekilde yerine getirmelerini arzulamaktadır. Endüstriyel dönüşümün temel amacı, müşteriler için daha kaliteli ürün ve hizmetler sunmaktır. Bu dönüşüm sürecinde, bilgisayarla entegre üretim (CIM), üretim yürütme sistemleri (MES), ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM), programlanabilir mantık kontrolü (PLC), kurumsal kaynak planlaması (ERP) ve denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) gibi mevcut iş sistemleri, Endüstriyel Nesnelere İnterneti (IIoT) ile birleştirilerek daha üstün bir kullanıcı deneyimi, hızlı değer elde etme, bilgi entegrasyonu ve kolay erişim sağlamak için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler; inovasyon süreçleri, ürün tasarımı ve üretime kadar bir ürün ve hizmetin tüm aşamalarını etkilemekte ve değer katmaktadır. Bu dijital dönüşüm, endüstriyel süreçleri ve operasyonları dönüştürerek kuruluşların daha verimli, esnek ve müşteri odaklı hale gelmelerini sağlamaktadır. Aynı zamanda, ürünlerin daha iyi kalitede ve daha hızlı bir şekilde piyasaya sürülmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, organizasyonlar daha rekabetçi bir konuma gelmekte ve değişen dünya şartlarına daha hızlı uyum sağlamaktadır (Elangovan, 2021).

II. ENDÜSTRİYEL DİJİTALLEŞME

Dijitalleşme, üretim tesislerini modern ve gelişmiş bir seviyeye taşıyan, üretimde yeni bir çağın müjdecisi olmuştur. Bu dönüşüm, üretim süreçlerindeki geleneksel yöntemlerin yerini daha verimli, esnek ve otomatize edilmiş işlemlerin aldığı bir paradigma değişikliğini temsil etmektedir. Dijital teknolojilerin entegrasyonu, üretim tesislerine daha fazla akıllılık ve veri odaklı yaklaşımlar getirerek üretkenliği arttırmakta, hataları minimize etmekte, daha hızlı ve hassas sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yeni dönem, organizasyonların yüksek rekabet ve en iyi hizmet ile sanayide devrim niteliğinde bir değişimi beraberinde getirmiştir.

Dijitalleşme, fiziksel süreçleri veya faaliyetleri analog bir süreçle entegre etme, bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak iş modellerini dijital bir şekilde dönüştürme sürecini ifade etmektedir. Dijital dönüşüm ise bu sürecin bir adım ilerisidir ve dijital teknolojilerin iş modellerine entegrasyonu ve kullanımıyla gerçekleşmektedir. Dijital dönüşüm sayesinde, organizasyonlar sürekli olarak en son teknolojileri ve yetenekli insanları bir araya getirerek, müşteriler, tedarikçiler, hükümet ve diğer kuruluşlar gibi toplumun farklı bileşenleri için değer yaratma sürecine odaklanmaktadır. Bu süreç, kuruluşların yenilikçi ve rekabetçi olmasını sağlar ve topluma katma değer sunar. Organizasyonel bağlamda dijital dönüşüm, müşteri deneyimini iyileştirme, verimliliği artırma, yeni iş modelleri geliştirme ve daha geniş bir ekosisteme entegre olma gibi faydalar sağlayarak endüstrilerin sürdürülebilirliğini ve büyümesini desteklemektedir (Queiroz & Wamba, 2022:1-2).

Organizasyonların dijital dönüşümü, bilgisayar teknolojisinin piyasaya sürülmesiyle başlayan 1960'lara kadar uzanan bir süreçtir. Büyük şirketlerin ve yönetimlerin, muhasebe, bordro, envanter yönetimi gibi belirli işlemleri otomatikleştirmek için programlar geliştirmeye başlamalarıyla ivme kazanmıştır (Leignel ve ark., 2016: 6-7). Bu programlar, organizasyonların daha fazla değer elde etmelerini amaçlayarak önemli verimlilik kazanımlarının anahtarı olmuştur. Bu süreçte meydana gelen paradigma değişikliği dijital dönüşümün temelini atmıştır.

Organizasyonların mevcut durumlarından daha fazla değer yaratmaları ve dijital dönüşümü başarı ile gerçekleştirebilmeleri için hızla gelişen teknolojik araçları veri ile entegre bir şekilde kullanmaları gerekmektedir. Bu araçların uygun amaçlar doğrultusunda kullanılmasıyla yeni dijital iş modelleri geliştirilmektedir. Böylece tüm iş ve süreçler, operasyonel faaliyetler ve organizasyonel yapı etkilenmektedir (Verhoef ve ark., 2021: 2). Bu süreç, organizasyonların rekabetçi kalabilmeleri ve geleceğe uyum sağlamaları için kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Dijital dönüşüm, iş dünyasında devrim niteliğinde bir değişimi temsil etmekte ve sürekli gelişen teknolojilerle birlikte organizasyonların daha verimli, esnek ve müşteri odaklı hale gelmesini sağlamaktadır.

III. SANAYİ DEVRİMİ

Tarım ekonomisinden endüstriyel makine ekonomisine geçiş, ticaret alanında açılımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Teknolojik ilerlemeler; üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve kalitenin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Teknoloji tabanlı endüstri merkezleri, teknoloji inovasyonunun yenilenmesi, uygulanması ve benimsenmesiyle birlikte farklı endüstriyel dönüşümler gerçekleştirmektedir. Nitekim, teknoloji inovasyonu sürekli bir yolculuktur ve inovasyonun hızı, dönüşümü devam eden bir süreçtir.

Bu dönüşüm, endüstriyel sektörler için yeni bir kavram olmamakla birlikte endüstriyel ekonominin önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Elangovan, 2021). Çağdaş dönemde üretim tesislerinin dönüşümü, teknoloji odaklı endüstri merkezleri tarafından yönlendirilmektedir. Bu dönüşüm, teknoloji inovasyonunun sürekli ilerlemesiyle birlikte devam etmektedir ve organizasyonların net bir vizyonla dijital dönüşümü gerçekleştirmesi, başarıları için kritik bir faktördür. Bu organizasyonlar, ticari büyümeyi desteklemek, değişen şartlara ayak uydurmak, rekabette farklılaşmak ve yeniliği ürün hatlarına entegre etmek için iş modellerini geliştirmektedir. Bu süreçte, sanatsal düşünce ve yeniliğin doğrudan ürünlere dahil edilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, endüstriyel bağlamda gerçekleşen bu devrimler şu ana kadar dört dalga şeklinde ele alınmış olsa da kısa zaman içerisinde beşinci dalga kendini göstermiştir. Söz konusu bu dalgalar aşağıda sıralanmaktadır.

III.I. Endüstri 1.0

Birinci endüstri devrimi (Endüstri 1.0), Thomas Newcomen'in 1712'de buhar makinesini icat etmesi ve James Watt'ın bu icadı iyileştirmesiyle başlamış ve 18.-19. yüzyıllar boyunca süren otomasyon ve teknolojik değişimlerle devam etmiştir. İnsanlık için önemli bir dönüm noktası olan Endüstri 1.0

mekanik imalat çağı olarak da adlandırılmıştır. Bu dönemde tekstil endüstrisi, gemi endüstrisi ve demiryolu gibi sektörlerde büyük değişimler yaşanmıştır. İnsan gücüne dayalı işler artık makineler tarafından yapılabilir hale gelmiş, su ve buhar gücüyle çalışan makinelerle mekanik üretim süreci başlamıştır. Dönüşüm, toplumda da önemli değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Nüfus hızla artmış, halkın temel ihtiyaçlarını karşılamak için altyapı yatırımları yapılmıştır. Ancak geçen zaman içerisinde sosyal sorunlar meydana gelmiştir. Zanaatkarlık ve tarım yerini, fabrikalarda çalışan işçi sınıfına bıraktığı gibi, göçlerle birlikte kentlerdeki işçi sınıfının yaşadığı zorluklar ve sömürü de artmıştır. Ayrıca endüstriyel dönüşümün çevre kirliliği gibi olumsuz etkileri de gözlemlenmiştir. Bu dönem, teknolojik gelişmelerin yanı sıra sosyo-ekonomik reformları da tetiklemiş ve insanlık için önemli bir dönüm noktası olmuştur (Derya, 2018: 2; Elangovan, 2021; Pilevari&Yavari, 2020: 47).

III.II. Endüstri 2.0

İkinci endüstri devrimi (Endüstri 2.0), 1840-1870 döneminde gerçekleşen bir süreçtir ve montaj bandı sayesinde iş bölümüne dayalı seri üretime geçişi temsil etmektedir. İlk adımlar, 1870 yılında Cincinnati'deki mezbahalarda kullanılan seri taşıma bantlarıyla atılmıştır. Bu süreç, 1914 yılındaki Ford T seri üretim bandıyla büyük bir ivme kazanmış ve üretimi artırarak maliyetleri düşürmüştür. Endüstri 2.0, işçilerin artan refah talepleri ve sosyal gerilimlerin giderilmesi zorunluluğu nedeniyle sendikaların önemini artırmış ve günümüzdeki tüketim odaklı toplumun temelini oluşturmuştur. Bu dönemde demir çeliğin yaygın olarak kullanıldığı ve ağır sanayinin geliştiği gözlemlenmiştir. İngiltere, Almanya, ABD ve Japonya gibi ülkeler ikinci endüstri devriminin öncüleridir (Derya, 2018: 3). İçten yanmalı motorların tanıtımı, elektrik enerjisinin kullanımı, çeliğin yayılımı, kimya sektöründeki ilerlemeler, alaşımların geliştirilmesi, petrol ve elektrik gibi pek çok yenilik, etkileşim teknolojilerinin yardımıyla gerçekleşmiştir. Üretim süreçlerinde standartlaşma ve seri üretim, sürekli akış süreçlerinin geliştirilmesiyle otomobil endüstrisinde benimsenmiştir. Telefon, telsiz, taşıma bantları, vinçler ve diğer makineler gibi birçok alan elektrik gücüyle çalışmaya başlamıştır. Hidroelektrik ve buhar santralleri enerji üretiminde önemli bir rol oynamış, demir yerine çelik kullanımı gemi yapımı, yüksek binalar ve köprüler gibi alanlarda artmıştır. (Elangovan, 2021; George&George, 2020: 218)

Endüstri 2.0, finansal gelişme ve performans üzerinde önemli etkilere sebep küresel pazarların birleşmesine katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, birinci ve ikinci endüstri devrimleri, sanayi sektörünün gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Otomasyonun ve endüstriyel dönüşümün dünya genelinde önemli etkilere sahip olduğu kabul edilmekle birlikte, otomasyon ve endüstriyel dönüşüm beraberinde çevre kirliliği gibi olumsuz sonuçlar doğurmuş, işçi sınıfının yaşadığı zorluklar artmıştır.

III.III. Endüstri 3.0

Endüstri tarihinde bir sonraki önemli dönüm noktası, iki dünya savaşının ardından gerçekleşen ve elektronik ile bilgi teknolojilerinin artan kullanımıyla şekillenen üçüncü endüstri devrimi (Endüstri 3.0)'dir. Bu dönemde kompleks üretimler, çeşitlilik ve zenginlikleriyle ekonomik hale gelmiştir. 1950'li yıllardan itibaren dijital teknolojilerin gelişmeye başlaması ile Endüstri 3.0'ın temelleri atılmıştır. Bu dönemin ana etkisi internetin yayılması olurken, iletişim ve veri alışverişi sürekli artmış, küreselleşme hız kazanmıştır (George&George, 2020: 218; Derya, 2018: 3).

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında bilgisayar sistemlerinin, otomasyonun, robotik teknolojisinin, yenilenebilir enerji ve nükleer enerji gibi alanların, elektronik cihazların, telekomünikasyonun ve internetin hızla geliştiği görülmüştür. Bu dönemde endüstriler genellikle teknolojik gelişmeler ve pazar değişiklikleri ile karşı karşıya kalmıştır. Rekabetçi bir üretim dünyasında ayakta kalabilmek için uygun maliyetle yüksek kaliteli ürünlerin yanı sıra hızla değişen pazarlara uyum sağlayabilen üretim sistemleri gerekmektedir. Endüstri 2.0 döneminde otomasyonun yaygınlaşması ve dijital gelişmeler ile üretim hatlarında önemli gelişmeler gerçekleşmiştir. Endüstri 3.0 ise elektronik donanımdan yararlanmak için yazılım uygulama sistemlerinin büyümesine imkân vermiş ve üretimi otomatikleştirerek tedarik zincirlerini küresel hale getirmiştir. Bilgisayar destekli tasarım, imalat ve planlama gibi uygulamaların

ortaya çıktığı bu dönem, endüstriyel sektörlerde birçok önemli teknolojik yeniliği beraberinde getirmiştir. Müşteri ilişkileri yönetimi, tedarik zinciri yönetimi, hızlı prototipleme, ürün yaşam döngüsü yönetimi gibi yönetim ve üretim süreçlerini stratejik olarak planlama ve izleme imkânı sunan teknolojik uygulamalar da bu dönemde ortaya çıkmıştır. Ayrıca programlanabilir mantık kontrolü, süpervizör kontrolü ve veri toplama (SCADA) gibi sistemler, endüstriyel sektörlerde sıkça kullanılmıştır (Elangovan, 2021).

Üçüncü endüstri devriminin ardından piyasaların doygunluğa ulaşmasıyla birlikte gelişmeler sürekli farklılaşma ve bireyselleşme eğilimine girmiştir. Bu süreçte makineler, iş hayatında olduğu gibi günlük yaşamda da önemli bir rol oynamaya başlamış, insan gücüne olan ihtiyaç azalmıştır. Devam eden süreçte, ilk defa 2011 yılında Almanya'nın Hannover şehrinde düzenlenen fuarda "Endüstri 4.0" terimi öne sürülmüştür (Derya, 2018: 3).

III.IV. Endüstri 4.0

Dördüncü endüstri devrimi (Endüstri 4.0) eğilimi, Almanya'da 2011 yılında High-Tech strateji planı kapsamında duyurulmuştur. Endüstri 4.0, üretim sektöründe dijital dönüşümü teşvik etmeyi hedeflemektedir (BMBF, (2015b); Xu ve ark., 2021: 530). Endüstri 3.0 döneminde bilgisayarlar ve otomasyonların kullanımı yaygın görülürken; bugün Endüstri 4.0, akıllı ve kendi kendini yöneten sistemlere sahip endüstri fırsatları sunmuştur. Artık otomasyonlar, bağımsız çalışan robotları ifade etmekten daha fazlasını temsil etmektedir. Endüstriyel pazarlar, büyük veri, endüstriyel nesnelerin interneti (IIoT) ve veri analitiği gibi güçlü teknolojik çözümlerden faydalanmaktadır. Endüstri 4.0, veri ve makine öğrenimi ile desteklenen bu yeni teknolojileri kullanarak üretim süreçlerini daha verimli, dayanıklı ve akıllı hale getirmeyi hedeflemektedir. Bu dönemde, endüstriler birbirlerine entegre, veri odaklı ve optimize edilmiş organizasyonlar oluşturmak için dijital teknolojileri benimsemekte ve geliştirmekte olan otomasyon çözümlerini kullanmaktadır (Fraunhofer, 2013; Gölçek, 2023: 550; Wang ve ark., 2016; 2-3). Akıllı fabrikaların, üretim süreçlerini optimize etmek ve verimliliği artırmak için büyük miktarda veriyi analiz eden ve makine öğrenimiyle kendini geliştiren sistemleri mevcuttur. Bu sayede üreticiler, gerçek zamanlı verilere dayalı kararlar alabilmekte, tedarik zinciri yönetimini iyileştirebilmekte ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilme yetisine sahip olabilmektedir. Endüstri 4.0, imalat sektörünü daha esnek, verimli ve rekabetçi hale getirerek gelecekteki üretim süreçlerinin temelini oluşturmaktadır.

Endüstri 3.0 döneminde, süreçlerin ölçülmesi ve analiz edilmesi için Kalite Yönetimi ve İstatistiki Süreç Kontrolü (SPC) gibi araçların kullanımı önem kazanmıştır. Bu dönemde, altı sigma ve planla, uygula, kontrol et, önlem al (PDCA) gibi tekniklerin kullanılmasıyla mevcut üretim süreçleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Endüstri 3.0, veri toplama süreçleriyle bilgi elde etmeyi içerirken bu bilgiler Endüstri 4.0 teknolojileriyle daha etkin hale getirilmiştir. Bu dönemde, imalat endüstrileri sürekli olarak süreçlerini analiz ederek iyileştirmeler yapmaya çalışmış ve verimliliği artırmak için istatistiksel araçlardan faydalanmışlardır. Endüstri 4.0 ise bu süreci daha da ileri götürerek, otomatik veri toplama ve analiz sistemleriyle daha hızlı, daha doğru ve daha verimli süreçlerin oluşturulmasını sağlamıştır (BMBF, 2015a; Elangovan, 2021). Bu sayede imalat endüstrileri daha öngörülebilir, dayanıklı ve verimli hale gelebilir, müşteri taleplerine daha iyi yanıt vererek rekabet avantajını elde edebilir duruma gelmişlerdir.

Endüstri 4.0, esas gücünü siber-fiziksel sistemlerin ve Endüstriyel Nesnelerin İnternet'inin (IIoT) entegrasyonundan almaktadır. Bu entegrasyon sayesinde, üretim tesisleri daha akıllı hale gelerek büyük miktarlarda veriye ve üretim prosedürlerine erişim sağlamaktadır. Gelişen akıllı makineler, bu verilere dayanarak daha etkili kararlar alabilmekte ve üretim süreçlerini optimize edebilmektedir. Kablosuz bağlantı ve siber fiziksel çözümler, endüstriyel sektörleri dönüştürerek uzaktan izleme ve yönetim imkânı sunmaktadır. Bu da üretim süreçlerine yeni bir boyut kazandırmıştır (Evans & Annunziata, 2012; Kusiak, 2017). Makineler, insanlar ve süreçler, ağ bağlantılı bir döngü içerisine dahil edilerek genel izleme, kontrol süreçleri daha güvenilir ve akıcı hale gelmektedir. Endüstri 4.0, üretim

sektörünü daha verimli, esnek ve rekabetçi hale getirirken, yenilikçi teknolojilerin ve dijital dönüşümün de itici gücü olmuştur.

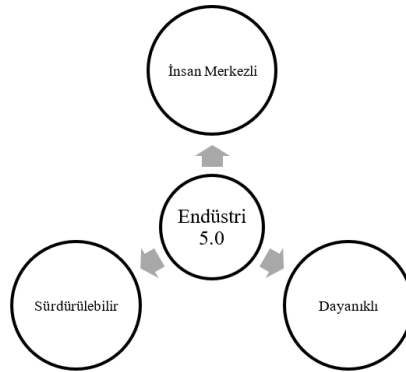
Organizasyonların yeni iş değeri yaratmasına yardımcı olarak genel verimliliği artırmanın yanı sıra kaynak kullanımını da optimize eden Endüstri 4.0, organizasyonun sahip olduğu ekipleri, dinamik ve analitik şekilde iş süreçlerini filtreleyip güncel bilgileri paylaşarak daha etkin bir iş birliği sağlamaktadır. Bu sayede, iş süreçleri iyileştirilerek daha rekabetçi ve inovatif hale gelmektedir. Bir imalat endüstrisinin üretim sisteminin yaşam döngüsü ele alındığında süreçlerin etkinliğinin, verimliliğinin, güvenilirliğinin sağlanması ve ekolojik taleplerin karşılanması için Endüstri 5.0'ın geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir (Elangovan, 2021; Fraunhofer, 2013).

III.V. Endüstri 5.0

Endüstri 5.0, Almanya'da 2011 yılında bir gelecek projesi olarak ortaya atılan Endüstri 4.0'ın köklerine dayanmaktadır. Bu kavram, ülkenin yüksek teknoloji stratejisinin bir parçası olarak benimsenmiş, iş dünyası, bilim insanları ve karar vericiler tarafından yaygın bir şekilde kabul görmüştür. Endüstri 5.0'ın temel amacı, üretimdeki çalışan sayısını korurken daha etkili bir şekilde iş yapmayı, karbon nötr ve enerji verimliliğine sahip bir endüstri için yeşil üretime odaklanmayı sağlamaktır. Bu yaklaşım, ekonomik ve ekolojik gereksinimleri daha iyi karşılamayı hedeflemektedir (Momenta, 2022). Diğer bir ifade ile, Endüstri 5.0, insanın zihinsel yetenek ve yaratıcılığında faydalanarak makineler ve insanların entegrasyonu ile süreç performansının iyileştirilmesi sonucu üretkenliğin maksimize edilmesini temel ilke edinmiştir. Bu yeni yaklaşım, küresel endüstriyel ekonomideki yeni zorluklara çözüm sağlamaktadır (Bendig ve ark., 2021; Petrescu ve ark., 2023: 87-88).

Endüstri 4.0'da yer alan teknoloji odaklı yaklaşımın aksine Endüstri 5.0, süreçlerin insani yönüne daha fazla vurgu yapmaktadır. Söz konusu süreçler, robotlar, makineler ve insanlar arasındaki iş birliğinin artması için otomasyonlar, cihazlar ve sistemler çalışma ortamına entegre edilmektedir. Böylelikle personellere, cihazların ve robotların çok daha iyi çalışmasında etkin rol oynamaları için yardımcı olmaktadır. İmalat sanayilerin hedefleri arasında olan sıfır atık, Endüstri 5.0 ile mümkün olabilecektir. Zira süreçlerdeki malzeme ve atık yönetimi, üretim maliyetlerini düşüreceğinden, çevresel ve ekonomik anlamda önemli değişimler meydana gelebilecektir (Xu ve ark., 2021: 532-533).

Sanal ve fiziksel dünyaları birleştirerek üreticilerin verileri analiz etmesi, üretim süreçlerini izlemesi, riskleri yönetmesi ve arıza süresini azaltması Endüstri 5.0'ın ana hedefidir. Dijital ikizlerin ortaya çıkışıyla elde edilen simülasyonlar, büyük veri işleme ve yapay zekâ inovasyonlarıyla daha gerçekçi modeller oluşturmayı mümkün kılmaktadır. Dijital ikizler, öngörülemez durumları temsil ederken aynı zamanda sistemle iş birliği yaparak verimsizliği azaltmaya olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. Endüstri 5.0'ın Değer Zinciri

Kaynak: European Commission 2021; Xu & Wang, 2021.

Şekil 1.0’da Endüstri 5.0’in temel bileşenleri verilmiştir. Buradan hareketle görülür ki Endüstri 5.0, Endüstri 4.0’da ortaya çıkan yenilikleri kullanarak insan faktörünü endüstriyel üretimin merkezine yerleştirmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0’a kıyasla daha sosyal bir yaklaşımdır. Endüstri 5.0, sadece tüketicilere istedikleri ürünü sunmakla kalmaz, aynı zamanda çok daha amaçlı olan görevleri hızla yeni boyutlara taşımaktadır. Bu nedenle daha akıllı fabrikaların ve daha akıllı üretim süreçlerinin gelişmesi tahmin edilebilir bir durumdur. Nitekim akıllı fabrikalar ve akıllı üretim, bilgi teknolojisi ve üretim teknolojisinin gelişmesi ve entegrasyonu ile sürekli gelişen genel bir kavramdır. Genel olarak, akıllı üretim, dijital üretim ve dijital ağa bağlı imalat aşamalarından geçmiştir ve internette meydana gelen son hızlı gelişme örneğinin büyük veri ve yapay zeka (AI) gibi ve etkili atılımlar ile yeni nesil akıllı üretime (NGIM) doğru ilerlemektedir. Endüstri 4.0’ın parametreleri olduğu gibi ortaya çıkan bu gelişmeler ile yeni nesil sanayi devrimi, Endüstri 5.0’in, belli parametreleri olacaktır (Universal Robots, 2023a; Universal Robots, 2023c; Elangovan, 2021; Momenta, 2022; European Commission 2021).

a. İnsan siber fiziksel sistemler (HCPS – Human Cyber Physical Systems)

İnsanoğlunun alet edevatlar ile tanışması iki milyon yıldan daha uzun bir süre öncesine dayanmaktadır. Taş Devri’nden, Maden Devri’ne kadar uzanan basit üretim sistemleri, insanlar ve hayvanların emekleri ile güçlendirilmiştir ve bir milyon yıldan fazla sürmüştür. Buhar makinesinin icadı Endüstri 1.0’ın, elektrik motorunun icadı Endüstri 2.0’ingelişimine damgasını vurmuştur. Bu gelişmelerle insanlar, makinelerin icat edildiği ve sürekli geliştirildiği bir sirkülasyona girmiştir. Böylelikle her türlü ürünün imalatını yapabilme yetisine ulaşmışlardır. Fiziksel makineler ve insan bileşenlerinden oluşan bu geleneksel üretim sistemleri, el emeğinin yerini almıştır. Nitekim üretim kalitesi, verimliliği ve toplumsal üretkenlik önemli ölçüde artmıştır (Xu, 2017: 1893-1895).

Günümüzde geleneksel olarak adlandırılan imalat süreci, insanlar ve fiziksel makinelerden oluşan iki ana bileşenden meydana gelmekte ve “İnsan-Fiziksel Sistemler (HPS)” olarak ifade edilmektedir. Bir HPS’de insanlar hem fiziksel sistemlerin yatacısı hem de yöneticisidir. Süreçlere yönelik algı, analiz, karar verme, kontrol ve operasyon gibi faaliyetlerin çoğunluğu insanlar tarafından yürütülmelidir. Artan ve gelişen ağ teknolojisi, 20. yüzyılın sonlarına doğru dijital üretime ardından ağa bağlı dijital üretime geçişi sağlamış ve geniş çapta imalat endüstrilerine uygulanmıştır (Liu & Wang, 2020: 1536). İnternet ve dijital üretimin entegrasyonu sonucunda meydana gelen bu akıllı üretim sistemi “İnsan Siber Fiziksel Sistemler (HCPS)” olarak devam etmektedir. Aralarındaki en önemli fark siber sistemlerdir. HCPS’de insanları, fiziksel makineleri, ilgili siber sistemleri birbirlerine bağlayabilen internet ve bulut platformları, sistem entegrasyonu için araç niteliğindedir ve kritik bir bileşenlerdir. Kısacası, ağa bağlı dijital imalat, ağlar aracılığıyla insanların, nesnelerin, verilerin ve süreçlerin aralarındaki entegrasyonun sağlanmasına dayanmaktadır. Böylelikle şirket içerisinde ve şirketler arası entegrasyon, iş birliği, paylaşım ve optimizasyon ile üretim değer zinciri yeniden şekillenebilecektir (Zhou ve ark., 2018: 13-17).

Modern imalat endüstrilerinin artan nüfus ve küreselleşme gibi faktörlerin de etkisi ile kalite, verimlilik ve hız konularında iyileştirilmeye yönelik güçlü talepleri mevcuttur. Söz konusu talepler, devrim niteliğinde bir endüstriyel gelişime yönelik ihtiyaçlar olup teknik anlamda, ağa bağlı dijital endüstrilerde karşılaşılan zorluklar ile üstesinden gelinmesi henüz güç bir durumdur. Bu sebeple yeni ve gelişmiş teknolojik gelişmeler arzu edilmektedir. 21. yüzyılın başından itibaren, bulut bilişim, büyük veri gibi bilgi teknolojilerinde önemli gelişmeler olmuştur (Kusiak, 2017; Evians, 2012; Ji ve ark., 2019: 627). Gelişen teknolojilerin entegrasyonu, güncel bilimsel ve teknolojik devrimin temeli olan AI stratejisine yol açmıştır. (Zhou ve ark., 2018: 13). Gelişmiş üretim teknolojisi ve yeni nesil AI teknolojisinin entegrasyonu sonucunda ortaya çıkan NGIM (Ji ve ark., 2019: 624) ile imalat endüstrilerinin teknolojik mimarileri, üretim süreçleri, endüstriyel modelleri yeniden şekillenmektedir (Pan, 2016: 410).

b. Yeşil üretim (GM – Green manufacturing)

Yeşil üretim (GM), üretim süreçlerinde ileri teknolojilerin kullanılarak çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliğinin hedeflendiği bir üretim şeklidir. GM ile endüstriyel üretimin çevresel etkisi azaltılarak, verimliliğin ve kalitenin optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşımda akıllı üretim ile yeşil üretim ilkeleri entegre edilerek daha verimli ve çevre dostu üretim yöntemi oluşturulmaktadır. Üretim operasyonlarının performansını artırarak, enerji tüketiminin azaltılması, atık oluşumunun en aza indirilmesini hedefleyen GM, yalnızca çevresel boyutlara odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik uygulanabilirliği ve sosyal sorumluluğu da dikkate almaktadır. Akıllı teknolojileri ve sürdürülebilir uygulamaları birbirlerine entegre ederek, imalat sektöründe çevresel yönetim, ekonomik büyüme ve toplumsal refah arasında bir denge kurmayı hedeflemektedir (European Commission 2021; Momenta, 2022).

Üretim süreçlerinde istenmeyen ve istenilen çıktılar meydana gelmektedir. Üretimdeki yeşil inovasyon faaliyetlerini istenen ve istenmeyen çıktıları 2022 yılında yaptıkları çalışma ile Yang ve arkadaşları, "teknoloji teşvik etkisi" ve "maliyet azaltma etkisi"nin etkilediğini ileri sürmüştür. Teknoloji teşvik etkisi üretim zekasının, tasarım, Ar-Ge, imalat, depolama, lojistik ve satış olmak üzere bütün süreçlerinde ve tüm zincir inovasyonu için mevcut üretim modelinin yeniden yapılandırılması gerekliliğine değinmişlerdir.

İmalat endüstri hizmeti, teknolojik performansını ve inovasyon sürecinin özünü geliştirmek, tamamlayıcı inovasyonu teşvik etmekle birlikte inovasyon süreci endüstriyel zincir sinerjisi ve teknik enerji verimliliğini sağlayabilmektedir. Böylelikle imalat endüstrilerinin yenilik faaliyetlerinde arzu edilen çıktı etkili bir şekilde artırılabilirken istenmeyen çıktı azaltılabilecektir. Maliyet azaltma etkisi, imalat endüstrilerinde üretim zekasının inovasyon sürecinde belirsizliği azaltmaya ve enerji kullanım verimliliğini artırmaya yardımcı olduğu ifade edilmektedir. Bu belirsizliğin azalması, inovasyon için AR-GE fonları, AR-GE personeli, enerji tüketimi ve inovasyon kaynaklarının israfı gibi faktörlerin etkin bir şekilde tasarruf edilmesine imkân vermektedir. Süreçlerinin optimize edilmesine ve akıllı sistemlerin kullanılması, imalat endüstrilerinin inovasyon maliyetlerini ve enerji tüketiminin azalmasına yardımcı olacaktır. Nitekim, inovasyon faaliyetlerinde istenmeyen çıktılardan olan aşırı kaynak kullanımı ve israf önemli ölçüde azalırken, istenen çıktılar etkin bir şekilde artırılabilir ve ekolojik verimlilik sağlanabilecektir (Lee ve ark., 2022: 2-3; Yang ve ark., 2022: 3-4; Deif, 2011: 1554).

Hem statik verimlilik hem de dinamik üretkenlik perspektifinden imalat endüstrilerinin yeşil üretime teşvik edilmesi veya üretimdeki yeşil inovasyon performansının iyileştirilmesi için oldukça elverişlidir. Üretim zekası, yeşil yenilik performansının desteklenmesinde etkili olabileceken, yeşil zekanın, üretim zekasında verim ve değer sağlayabileceği aşıkardır (Yang ve ark., 2022: 14).

c. Endüstride insan robot iş birliği (HRC – Human robot collaboration)

Robotlar günümüzde, endüstriyel üretim ve hizmet faaliyetler, tıbbi bakım, eğlence gibi oldukça fazla roller üstlenmektedir. Genelde robotlardan, tekrarlayan, karmaşık ve daha az yapılandırılmış görevlerde ve bu görevleri tamamlamak için gereken insan etkileşiminde faydalanılmaktadır. Fonksiyonel olarak çeşitliliği ve insan ile entegrasyonu, yeni İnsan-Robot Etkileşimi (HRI) ortaya çıkarmaktadır. HRI ile insanlar ve robotların nasıl etkileşime gireceği ve bu etkileşimli görevlerin nasıl gerçekleştirilebileceği, en iyi insan-robot sistemlerinin nasıl tasarlanıp uygulanacağına dair çalışmalar ele alınmaktadır. HRI'nin esas amacı, insanlar ile güvenli, etkili etkileşim kurabilen ilke ve algoritmaların geliştirildiği robot sistemleri oluşturmaktır (Feil-Seifer ve ark., 2009: 4644).

Endüstriyel robotlar, özellikle ergonomik olmayan görevlerde personellerin yerini alan robotlar ile ilgidir. Ağır yüklerin taşınmasında, zehirli veya sıcak nesnelere ile yapılan tehlikeli görevlerde endüstriyel robotlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte hatasız üretim gerektiren, monoton işlemlerde veya rahatsız edici şekilde tekrar eden görevlerde robotlara rastlanmaktadır. Bunun esas nedeni robotların görevlerini insanlardan daha hızlı, minimum hata oranı ve düşük maliyetler ile tamamlamasıdır. Uzun yıllardan beri süregelen bu bakış açısı ile hata üretme ihtimali olan insan faktörünün, imalat endüstrilerindeki cazibesinin kaybolmasına neden olmuştur. Ancak zaman içerisinde

süreçlerde değişiklikler meydana gelmiş ve bazı işlemlerin gerçek koşullara uyarlanma ihtiyacı doğmuştur. Bu süreçlerde robotların düşünmesi ve çözümlemesi mümkün değildir. Yalnızca kendilerine tanımlanmış komutları ve önceden öğrenilmiş hareketleri yerine getirmektedirler ve programları ile sınırlandırılmışlardır. Diğer yandan esneklik için tasarlanmış hareket robotları genellikle hareket eksenlerinde altı veya yedi serbestlik derecesine sahip olacak şekilde tasarlanmışken, insan vücudunun üst uzuvlarının hareketleri bu rakamların beş katıdır. Nitekim insan robot arasındaki bu tür engeller, İnsan Robot İşbirliğini (HRC) gerekli kılmaktadır. İşbirlikçi robotlar, robotik asistanlar veya cobotlar olarak adlandırılan HRC, imalat endüstrilerinde yerlerini almaya başlamıştır. İnsan ve robotların iş birliğinin üst seviyeye taşınması birbirleriyle eş zamanlı hareket etmelerini sağlayacaktır (Vysocky & Novak, 2016; Fraunhofer IPA, 2012; Universal Robots, 2023b; Weistroffer ve ark. 2014: 379-383).

V. ENDÜSTRİ 5.0'İN GELECEĞİ

Müşteri memnuniyeti, endüstri gelişiminin önemli bir yönüdür ve ürün konumlandırmasını etkilemektedir. 2016 yılında yapılan bir anket çalışmasında, 512 üretim yöneticisi, üretkenliklerini etkileyen faktörler olarak operasyonel verimlilik, sürdürülebilirlik ve özelleştirme olduğunu öne sürmüşlerdir. Endüstri 5.0 ise müşterilerin tercihlerini tasarım aşamasında belirleyebilmesini ve üretim sürecine maliyetsiz bir şekilde entegre edebilmesini imkân vermektedir. Endüstri 4.0 sürecinin popüler aksiyonları, dijital dönüşüm, akıllı üretim tesisleri ve internete bağlı cihazlardır. Bu bileşenler sayesinde endüstriler, tedarik zinciri boyunca bilgi üretir, biriktirir ve analiz ederek kalite iyileştirmesi, süreç optimizasyonu, maliyet azaltma ve uyum sağlama yöntemlerini belirlemektedir (Witkowski, 2017: 766; Xu ve ark, 2021: 532). Endüstri 5.0, endüstriyel otomasyonu insan zekasıyla birleştirerek hız ve hassasiyeti optimize etmektedir. Dayanıklı ve çevre dostu politikalar, minimum atık oluşumu ve daha etkili bir organizasyon sağlamaktadır (Elangovan, 2021).

Bu bağlamda Endüstri 5.0, yeni teknolojilerden faydalanarak, daha hızlı, ölçeklenebilir ve insan odaklı bir gelişimdir. Bu sürecin gelişmiş insan makine arayüzleri, robotlar ile oluşturulmuş otomasyonlar, insan beyninin gücü, yaratıcılığı ve artırılmış entegrasyon ile gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Nitekim Endüstri 5.0 hakkında bazı yöneticiler, bir sonraki Sanayi Devrimi'nin kişiselleştirilmiş ürünlere yönelik yüksek talebini karşılamak için gerekli olduğunu öne sürmektedir. Endüstri 5.0'a dair diğer destekleyici bir unsur ise kirlilik ve atığın önlenmesine yönelik sürdürülebilir olma potansiyelidir. Endüstri 5.0'ın endüstriyel dönüşümü sürdürülebilir hale getirmek için çevreye duyarlı üretim ve enerji verimliliği gibi konularda hedefleri bulunmaktadır. Böylelikle ortaya çıkan GM endüstriler, çevre bilinci ve sorumluluğu sayesinde devletlerin ve uluslararası kuruluşların desteğini alabilecek ve bununla birlikte çevre dostu iş modellerini destekleyen büyüyen bir müşteri tabanı ile rekabet avantajı sağlayabilecektir (Xu ve ark., 2021: 534; George&George, 2020: 229-230; Elangovan, 2021).

Endüstriyel süreçlerde tekrarlayan, kirlili ve riskli görevleri robotların devralması ile üretim süreçlerinde bir devrim gerçekleşecektir. Akıllı sistemlerin ve robotların gelişimi tedarik zincirlerini ve imalat endüstrilerini ileri boyuta taşıyacaktır. Yüksek düzeyde optimize edilmiş endüstriyel üretim süreçlerinin operasyonel verimliliği artacak, çevre dostu olacak, iş kazaları azalacak ve üretim zaman döngülerini kısacaktır. Ancak Endüstri 5.0, ilk düşüncelerin aksine, insan gücünün ihtiyaç duyulmadığı, artık personel istihdamın sağlanmayacağı anlamına gelmemektedir (Günther ve ark., 2022: 2-3; Nahavandi, 2019: 10). Akıllı sistemlerin oluşturduğu sahada, yapay zekanın geliştirilmesi, robotik programlama, makine ve sistemlerin bakımı, eğitimi ve daha pek çok alanda yeni iş modelleri ortaya çıkaracaktır. Bununla birlikte, sık tekrarlayan görevlerin insanlar tarafından yapılmayacağı için, iş süreçlerinde farklı robotların kullanılmasına teşvik edecek ve yaratıcılığın artırılmasına imkân verecektir (Tropschuh ve ark., 2021; Elangovan, 2021; Pan, 2016: 431). Farklı bir bakış açısından Endüstri 5.0, küresel anlamda gerek donanım gerekse yazılım bakımından özel robotik çözümler sağlayan yeni bir ekosistem ortaya çıkacaktır. Bu durum ise küresel ekonominin canlanmasını ve nakit akışının artmasına imkân verecektir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Endüstri 5.0, üretkenliği artırmanın ve imalat sanayide çalışan personellerin refahının sağlanmasında sürdürülebilir bir yol olarak görülmektedir. Bu yaklaşım, insanların yeteneklerini ve yaratıcılıklarını kullanarak, otomasyon ve dijitalleşme ile çalışmaya teşvik etmektedir. Endüstri 5.0, personellerin yapay zekâ ve robotik sistemlerin birlikte çalıştığı bütünleşik bir ortamı hedeflemektedir. Böylelikle, monotona bağlanmış insanların rutin ve tekrarlayan işlerinden uzaklaşarak daha karmaşık ve yaratıcı görevlere odaklanması mümkün olabilecektir. Bu şekilde, üretkenlik artırılırken personel refahı sağlanabilecek ve insan odaklı üretim yaklaşım benimsenebilecektir. Aynı şekilde endüstri 5.0'a yönelik yürütülen çalışmalar, akıllı sistemlerin insanlar ile arasındaki artan iş birliğine odaklandığını öne sürmektedir. Atwell (2017)'e göre üretim süreçleri, endüstriyel otomasyonların hızı ve insanların bilişsel, analitik düşünme becerileriyle birleşmesi sonucunda değer kazanacaktır. Diğer bir ifadeyle sürekli tekrarlanan ve monoton görevlerin mekanik sistemlere ve yaratıcılık içeren görevlerin ise insan unsuruna bırakılması gerekmektedir. Bu yol ile personeller üretim kalitesinin yükseltilmesinde daha fazla sorumluluk alacaktır (Tropschuh ve ark., 2021; Bendig ve ark., 2021; George&George, 2020:232). Buradan hareketle Endüstri 5.0'ın akıllı cihaz, akıllı otomasyon ve akıllı sistem ana bileşenleri, insan zekasının iş birliğiyle reel ortama tamamen entegre olduğunda ortaya çıkacaktır. Robotlar ve insanların bir araya gelerek sağladığı güven ve güvenilirlik, maksimum verimlilik, minimum atık, hatasız üretim ve özelleştirilebilir üretim sağlayacaktır (Günther ve ark., 2022: 10; Nahavandi, 2019: 11).

Tüm bu meydana gelecek gelişmelerin öngörülebildiği gibi ortaya çıkabilecek sorunlar da tahmin edilebilmektedir. Yıllar itibarıyla gözlemlediğimiz bu endüstriyel devrimlerin her biri beklendik bir değişim olsa da alışılmıştın dışına çıkmak, yerleşik düzeni bozmanın kabulü ve eylemi her zaman zor olmuştur. Yine aynı şekilde toplumlar, endüstriler ve devletler için söz konusu değişimde standardizasyonun sağlanması ve ilgili yazılı kanunların oluşturulması mikro ve makro boyutta problemlere sebebiyet verebilecektir. Yeni gelişmelere uyum sağlarken güvenlik sorunları ve geçiş sürecinin yaratacağı organizasyonel problemler ile birtakım ihlaller veya aksaklıklar yaşanabilecektir. Bununla birlikte artan makineleşme etik ilkeleri ve çözümlerine dair bazı belirsizlikler ortaya çıkarabilecektir. Otonom yürütülen süreçlerde de etik olgusu göz önüne alınmalı ve doğrulamaya tabii tutulmalıdır. Daha hızlı ve daha verimli üretimin vermiş olduğu imkanlar doğrultusunda aşırı üretim meydana gelmesi muhtemeldir. Bu nedenle uygulamaların şeffaflığı dikkate alınmalıdır. Diğer yandan ortaya çıkacak yeni işkollarındaki temel beceri boşlukları doldurulmalı ve nitelikli uzmanların yetiştirilmesi için akademinin hızla harekete geçmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Atwell C. (2017). Yes, Industry 5.0 is Already on the Horizon. Erişim adresi: <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835933/yes-industry-50-is-already-on-the-horizon>
- Bendig, D., Lau, K., Schulte, J. & Endriss, S. (2021), Industrie 5.0 - Die Europäische Kommission auf den Spuren der nächsten industriellen Revolution?. *Industrie 4.0 Management*, 37, 20-22. https://doi.org/10.30844/I40M_21-6_S20-22?
- BMBF, (2015a). Industrie 4.0 kommt auf den Hallenboden. Erişim adresi: 13, <https://www.bmbf.de/de/industrie-4-0-kommt-auf-den-hallenboden1016.html>.
- BMBF, (2015b). Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Forschung - BMBF. Erişim adresi: <http://www.bmbf.de/de/9072.php>.
- Deif, A. M. (2011). A system model for green manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 19(14), 1553–1559. <https://doi:10.1016/j.jclepro.2011.05.022>

- Elangovan, U. (2021). *Industry 5.0: The Future of the Industrial Economy*. USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003190677>
- European Commission (2021). Industry 5.0. Erişim adresi: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/#>
- Evans, P. C. & Annunziata, M. (2012). *Industrial Internet: pushing the boundaries of minds and machines*. Boston: General Electric.
- Feil-Seifer, D., & Matarić, M. J. (2009). Human Robot–robot interaction (HRI) InteractionInteraction human robot. R. A. Meyers (Eds.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, (pp. 4643–4659). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3>
- Fraunhofer, IAO, (2013). Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0. Fraunhofer IAO. Erişim adresi: https://www.busol.de/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4_0.pdf
- George, A. S., & George, A. H. (2020). Industrial revolution 5.0: the transformation of the modern manufacturing process to enable man and machine to work hand in hand. *Journal of Seybold Report*. 15(9), 214-234.
- Gölçek, A.G. (2023). Dijital ekonomide vergi planlaması: Vergilemede zorluklar ve fırsatlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 16(2), ss. 543-573. <https://doi.org/10.25287/ohuibf.1231016>
- Günther, N., Prell B., Stephan, J. R. (2022). *Industrie 5.0 - von der Vision des menschenzentrierten Ansatzes zu soziocyberphysischen Produktionssystemen für die Praxis*. 18. AALE-Konferenz. <https://doi.org/10.33968/2022.26>
- Ji, Z., Yanhong, Z., Baicun W. ve Jiyuan, Z. (2019) “Human–Cyber–Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing”. *Engineering*. 5, 624-636. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.07.015>
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing must embrace big data. *Nature*. 544, 23–25. <https://doi.org/10.1038/544023a>
- Lee, C.C., Qim, Shuai, Li, Y. (2022). Does industrial robot application promote green technology innovation in the manufacturing industry?. *Technological Forecasting and Social Change*. 183. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121893>
- Leignel, J.-L., Ungaro, T., & Staar, A. (2016). *Transformation Numérique*. USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119377986>
- Liu, Z. & Wang, J. (2020). Human-cyber-physical systems: concepts, challenges, and research opportunities. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. 21(11), 1535-1553. <https://doi.org/10.1631/FITEE.2000537>
- Momenta, Digital Delivered (2022), “Industry 5.0 Purpose-Driven Technology Adoption for People and the Planet”. Erişim adresi: <https://www.momenta.one/hubfs/Resources/Reports-and-Surveys/Momenta-Industry%205.0-Report-2022.pdf>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11(16), 1-13. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Pan, Y. (2016). Heading toward Artificial Intelligence 2.0. *Engineering*, 2(4), 409–413. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2016.04.018>
- Petrescu M. G., Neacşa, A., Laudacescu, E. & Tanase, M. (2023). *Energy in the Era of Industry 5.0 – Opportunities and Risks*. Machado, C.F., Davim, J.P. (Eds.) *Industry 5.0: Crative and Innovative Organizations* (pp. 71-90). Springer Cham: Switzerland.
- Pilevari, N. & F. Yavari, (2020). Industry Revolutions Development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in Manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*. 5(2). ss: 44-63.
- Tropschuh, B., Dillinger, F., Korder, S., Maier, M., Gärtner, Q. and Vernim, S. (2021). Industrie 5.0 – ein menschenzentrierter Ansatz: Ansätze zur flexiblen und menschenzentrierten Einbindung und Unterstützung der Mitarbeitenden in der digitalisierten und vernetzten Produktion der Zukunft. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 116(6), 387-392. <https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0091>
- Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2022). *Foundations of the Digital Transformation*. Queiroz, M. M., & Wamba, S. F., *Managing the Digital Transformation* (pp. 1-5). USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003226468-1>

- Universal Robots (2023a). Robots, Cobots and Human Labor. Erişim adresi: <https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Robots%20Cobots%20and%20Human%20Labor.pdf?submissionGuid=9dd679cf-5540-4a40-b453-544781efcfc0>
- Universal Robots (2023b). The Role of Cobots in Industry. Erişim adresi: https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Welcome%20to%20Industry%205.0_Esben%20%C3%98stergaard.pdf?submissionGuid=00c4d11f-80f2-4683-a12a-e821221793e3
- Universal Robots (2023c). Welcome to Industry 5.0. Erişim adresi: https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Welcome%20to%20Industry%205.0_Esben%20%C3%98stergaard.pdf?submissionGuid=00c4d11f-80f2-4683-a12a-e821221793e3
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Vysocky, Ales ve Novak, Petr (2016). Human - Robot collaboration in industry. *MM Science Journal*. 1(02). 903-906. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2016_06_201611
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/doi:10.1155/2016/3159805>
- Weistroffer, V., Paljic, A., Fuchs, P., Hugues, O., Chodacki, J.P., Ligot, P., & Morais, A. (2014). Assessing the acceptability of human-robot co-presence on assembly lines: A comparison between actual situations and their virtual reality counterparts. *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. <https://doi.org/10.1109/roman.2014.6926282>
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry w4.0—innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering* 182, 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser B. (2021). “Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception”. *Journal of Manufacturing Systems*. 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Xu, X. (2017). Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 92, 1893–1900. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0300-7>
- Yang, H., Li, L. ve Liu, Y. (2022). “The effect of manufacturing intelligence on green innovation performance in China”. *Technological Forecasting and Social Change*. 178, 1-15 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121569>
- Ji, Z., Peigen, L., Yanhong, Z., Baicun, W., Jiuyan, Z., & Liu, M., (2018). *Toward New-Generation Intelligent Manufacturing. Engineering*, 4(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.01.002>

Etik Beyanı : Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde ÖHÜİİBF Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazar(lar)ına aittir.

Bu çalışmada kullanılan veriler, herkesin kullanımına açık şekilde paylaşıldığından ve etik kurul izni gerektiren araştırmalar içerisinde bulunmadığından etik kurul izni alınmamıştır.

Teşekkür : Yayın sürecinde katkısı olan hakemlere ve editör kuruluna teşekkür ederiz.

Ethics Statement : The authors declare that ethical rules are followed in all preparation processes of this study. In case of detection of a contrary situation, ÖHÜİİBF Journal does not have any responsibility and all responsibility belongs to the author (s) of the study.

Since the data used in this study is shared publicly and does not include research requiring ethics committee approval, ethics committee approval has not been obtained.

Acknowledgement : We thank the referees and editorial board who contributed to the publishing process.
