

Sanayi Devrimlerinin Serüveni: Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a

Raziye KILIÇ^{1,*}



TELHİS (ÖZ)

Araştırma Makalesi

Takvim-i Vekayi
ISSN: 2148-0087

Basım (Published): 31.12.2023
Kabul (Acceptance): 29.12.2023
Gönderi (Submitting): 25.12.2023

Cilt (Vol): 11
No (Issue): 2
Sayfa (Pages): 276-291

Adres:
1 Atatürk Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, Erzurum, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-9238-7710

*Sorumlu Yazar (Corresponding);
E-mail: raziyekilic@atauni.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Sanayi
Devrimleri, Üretim, Teknoloji
Endüstri 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0.

Sanayi devrimleri, insanlık için tarihteki en önemli dönüm noktalarından olmuştur. Bu devrimler, mekanizasyon döneminden, seri üretim dönemine, bilişim teknolojisi döneminden akıllı üretim dönemine kadar uzanan geniş bir süreci kapsamaktadır. Sanayi devrimleri makineleşmiş üretime geçişi işaret ederken, toplumsal, ekonomik ve teknolojik açıdan köklü bir değişimi beraberinde getirmiştir. Ayrıca bu devrimlerde, endüstriyel üretim modelleri ve teknolojileri bütün ülkelerde hızla yayılarak tüm dünyayı etkilemiştir ve bu da uluslararası ticaretin ve ekonominin dönüşümüne yol açmıştır. Bütün devrimler, dünyanın şeklini dönüştürerek insanlık üzerinde kalıcı etkiler bırakmıştır. Bugünün dünyasında, sanayi devrimlerinin etkileri hala hissedilmektedir. Teknoloji ve endüstri alanında yaşanan gelişmelerin devam etmesi sayesinde bu devrimlerin devamının geleceğini apaçık ortadadır. Bu çalışmada sanayi devrimlerinin gelişim ve dönüşüm süreci ele alınmaktadır. Birinci Sanayi devriminden, beşinci sanayi devrimine kadar olan teknolojik ilerlemeler anlatılmaktadır. Her bir sanayi devriminin gelişmelerinden bahsedilerek bu devrimler hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır.



The Adventure of The Industrial Revolutions: From Industry 1.0 to Industry 5.0

Research Article

ABSTRACT

The industrial revolutions have been one of the most important turning points in human history. These revolutions cover a broad period ranging from mechanization to mass production, from information technology to the smart production. While the industrial revolutions marked the transition to mechanized production, they brought about a radical change in social, economic and technological terms. Moreover, the industrial production models and technologies of these revolutions spread rapidly across countries and impacted the entire world, transforming international trade and economies. All revolutions have had a lasting impact on humanity by changing the shape of the world. In today's world, the effects of the industrial revolutions are still being felt. It is obvious that these revolutions will continue thanks to the continuous developments in technology and industry. This study looks at the development and transformation process of the industrial revolutions. The technological advances from the first industrial revolution to the fifth industrial revolution are explained. The developments of each industrial revolution are mentioned and detailed information about these revolutions is provided.

KEYWORDS

Industrial Revolutions, Manufacturing, Technology, Industry 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0.

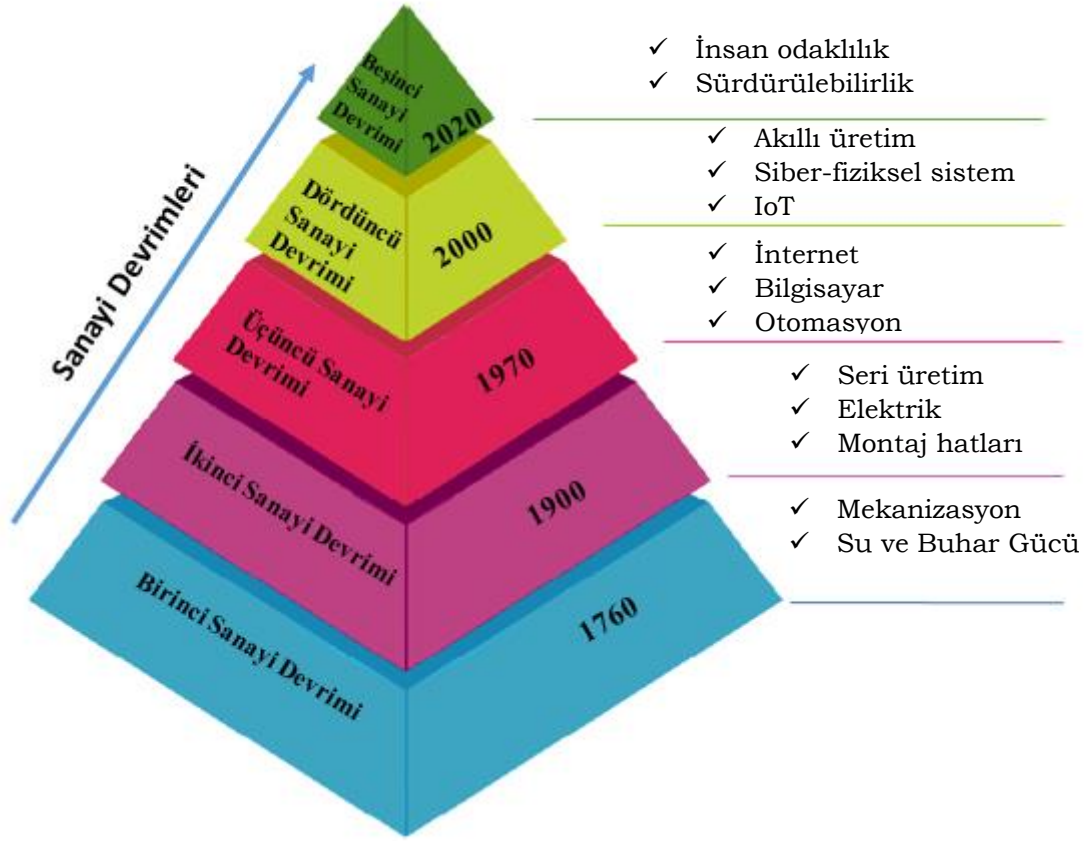
1. GİRİŞ

Devrimler, tarih boyunca önemli dönüm noktaları olmuştur. Bir ulusu, bölgeyi ya da toplumu etkileyen bu çalkantılı ve dönüştürücü olaylar veya seriler, endüstriyel ve iş dünyasını değiştirmeye yönelik büyük birer hareket olarak kabul edilir (Groumpos, 2021). Sanayi devrimleri, insanlık tarihindeki belirgin kilometre taşlarıdır. Bu devrimler bilimsel ve çoğunlukla teknolojik paradigmalardaki değişikliklere dayanır ve insanların katılımını gerektirir (Pinheiro et al., 2019).

On sekizinci yüzyılın ortalarında buhar makinesinin icadıyla başlayan sanayi devrimi, tarım ve feodal toplumdaki sanayi ve kapitalist topluma, ardından sanayi ve hizmet toplumuna geçişe olanak tanıyan çeşitli aşamaları içermektedir (Prisecaru, 2016). Bu dönemler, teknolojik yeniliklerle birlikte toplumsal, ekonomik ve kültürel değişimlere de öncülük etmiş, insanlığın bu yolculuğunda önemli bir rol oynamıştır. Sanayi devrimleri, geleneksel yöntemlerin iyileştirme potansiyelinin tükenmeye başladığı kritik bir noktayı işaret ederek düşük maliyetli, yüksek kaliteli ürünler ve bu ürünlerin üretilmesinde yeni yöntem ve teknoloji arayışındaki ölçütleri zamanla değiştirmiştir.

Sanayi devrimleri, insanlığın teknolojik yolculuğunu beş temel çağa bölmüştür: birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci sanayi devrimi (Şekil 1). Birinci Sanayi devrimi, buhar gücüyle çalışan makinelerin yükselişi ve makineleşme süreciyle özdeşleşmiştir. İkinci Sanayi Devrimi, elektriğin yaygınlaşmasıyla öne çıkmış, ardından bilgisayar ve bilgi teknolojisinin varlığı, toplumu Endüstri 3.0 çağına taşımıştır. Dördüncü Sanayi Devrimi olan Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemlerin ortaya çıkışı ve gerçek zamanlı teknolojilerin uygulanmasıyla anılmıştır. Bugün, Beşinci Sanayi Devrimi'nin eşliğindeyiz. Bu yeni dönem, yapay zekâ, nesnelerin interneti, biyoteknoloji ve uzay endüstrisi gibi hızlı ilerlemelerle şekillenmektedir. Beşinci Sanayi Devrimi, teknolojik, ekonomik ve toplumsal düzeyde derin etkiler yaratarak insanlığın geleceğini şekillendirecek büyük bir potansiyele sahiptir. Bu devrim, sadece teknolojik bir evrim değil, aynı zamanda insanlığın yaşam biçimini, iş yapma tarzını ve iletişim şeklini temelden değiştirecek bir güç taşımaktadır.

Bu çalışma, sanayi devrimlerinin gelişimini ve bu dönemlerde yapılan teknolojik olaylar hakkında bilgi sağlamak ve literatüre katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Alt bölümlerde her bir sanayi devrimi ile ilgili detaylar sunulmaktadır.



Şekil 1. Sanayi devrimlerinin gelişim süreci

2. SANAYİ DEVRİMLERİ

2.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)

Birinci Sanayi Devrimi dönemi (Endüstri 1.0), 1760'dan 1840'a kadar süren buhar gücünün kullanımı ve üretimin makineleşmesiyle başlayan süreci ifade etmektedir. Bu dönemde buhar gücü zaten bilinmekteydi fakat endüstriyel amaçlarla ve insan üretkenliğini arttırmada kullanılmıyordu. Elle üretim yöntemlerinden makinelere uzanan ilk devrimde, buhar gücü ve su gücü, sanayi devriminin büyümesinde en önemli atılımdı (Vinitha et al., 2020). 18. yüzyılda endüstriyel makineleri çalıştırmak için buhar ve su gücünden yararlanmaya yönelik mekanizmaların geliştirilmesiyle toplumun odağı tarımdan sanayiye doğru kaydı. Bu dönemde o zamana kadar elle üretilen ürünleri üretebilen makineler ortaya çıktı (Raschke, 2022). Mekanik imalat çağı olarak bilinen Endüstri 1.0 devrimi insanlık için kritik bir dönüm noktası olmuştur. Bu dönemde, tekstil, gemi yapımı ve demiryolu gibi sektörler, derinlemesine değişimlere sahne olmuştur (Güdek, 2023). Birinci Sanayi Devrimi'nin temel özelliği olan buhar gücü endüstrilerde verimliliğin gelişmesine ve artmasına yol açmıştır. Buhar gücünün kullanılmaya başlanmasının ardından buharlı gemilerde ve buharlı lokomotiflerde iyileştirmeler yapılmış ve bu dönemde büyük dönüşüme neden olmuştur. Yine

bu dönemde, iplik endüstrisinde kas gücünün yerini buhar gücü almıştır (Yavari & Pilevari, 2020).

Endüstri 1.0 döneminde, tarım, imalat, madencilik ve ulaştırma gibi alanlarda yaşanan gelişmeler ve makinelerin ortaya çıkmasıyla, öncesinde insanların veya hayvanların kullanıldığı işlerde bu makineler kullanılmaya başlanmıştır. Her ne kadar ilk başta iş seviyesi nedeniyle insanlar biraz kısıtlanmış olsalar da, iş yükü verimliliği açısından onlara oldukça yardımcı olmuştur (Apriliyanti, 2022).

Endüstri 1.0'daki temel fikir, Adam Smith'in, fiyatın arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu düzeltmek için otomatik bir araç olarak tanımlandığı Wealth of Nations adlı ekonomi biliminden gelmiştir. Endüstri 1.0 döneminde endüstriyel ürünlere olan talebin tek bir boyutu vardı: bu da ürün hacmiydi. Bu dönemde arzlar taleplerden daha küçüktü. Sanayi ürünlerinin çıktıkları toplumun taleplerini düzeyde değildi (Yin et al., 2018). Bu dönem, üretkenliğin ve çıktının artmasına da yol açarak bu sorunu ortadan kaldırmış ve küresel ekonomik ortamda devrim yaratmıştır. Ekonomik açıdan Birinci Sanayi Devrimi yeni üretim teknolojilerini, ulaşım yollarını ve fabrika sistemini beraberinde getirmiştir. Sosyal açıdan, Avrupa ve Amerika'da demografik değişikliklere ve kentleşmenin hızlanmasına neden olmuştur. Devrim aynı şekilde işçilere kötü muamele, toplumsal eşitsizlik ve yoksulluğun ortaya çıkması, protestoların ve toplumsal istikrarsızlığın patlak vermesi gibi toplumsal sorunlar da yaratmıştır. Siyasi değişim açısından ise, sosyalizm ve komünizm gibi yeni siyasi ideolojilerin doğmasına neden olmuştur. Ayrıca bu devrim, sömürgecilik ve emperyalizm de dahil olmak üzere mevcut Avrupa ve Amerika siyasi ideolojilerini pekiştirmiştir (Feng, 2023).

2.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)

İkinci Sanayi Devrimi olan Endüstri 2.0, endüstriyel ürünlerin hem miktar hem de çeşitlilik bakımından büyük ölçüde geliştiği bir dönemi işaret etmektedir. Bu dönemin teknolojik yenilikleri arasında elektrik, elektronik, mekanik cihazlar ve arabalar yer almaktadır. Endüstri 2.0'ın kilometre taşlarından biri, modern yönetim teorisine ilişkin ilk yayın olan Frederick Taylor'ın Bilimsel Yönetim Prensibi'ydi. Taylor 'Yönetimin Babası' olarak kabul edilmektedir. Henry Ford ve Taiichi Ohno gibi iki yenilikçi, Taylor'ın teorisini benimseyerek ve genişleterek çalıştılar. Ford, seri üretim montaj hatlarını kullanarak talep artışını karşılamada öncü oldu. Ohno ise Toyota Üretim Sistemi'nin öncüsü olarak, müşteri çeşitliliğine odaklanarak ürün yelpazesini genişletti (Yin et al., 2018).

19. yüzyılda elektrik üretimi ve montaj hatlarının icadıyla yeni bir dönem başladı. Endüstri 2.0 döneminde Henry Ford hareketli montaj hattını hayata geçirdi ve muazzam bir üretim başladı (Mohajan, 2021). Henry Ford toplu işleme kavramını Chicago'daki bir mezbahadan aldı: domuzlar taşıma bantlarına asıldı ve her bir kasap, kasaplıkla ilgili farklı bir kısmı yaptı. Henry

Ford bu fikri araba imalatında uyguladı ve süreçte önemli ölçüde ilerleme kaydetti. Arabanın tamamı önceden tek bir platformda monte edilirken, artık konveyör bandı üzerinde kısmi adımlarla monte ediliyordu. Böylece üretim çok daha hızlı ve daha düşük maliyetle yapılmaya başlandı. Üretimdeki teknolojik ilerlemeler diğer endüstrileri de etkiledi (Sharma & Singh, 2020). Çelik endüstrisi, kimya endüstrisi, elektrik, ulaşım, tarım ve gıda işleme ve diğer imalat sektörleri alanlarındaki gelişmeler aşağıda açıklanmıştır (Mokyr & Strotz, 1998).

Çelik endüstrisi, 1856'da Henry Bessemer tarafından çeliğin icadı ile başlamıştır. Demir çağı 1850 yılına gelindiğinde tamamen yerleşmişti fakat demir kullanım açısından çelikten daha kötüydü. Demir makine parçaları, raylardaki aşınma ve yıpranmadan dolayı bunların kullanımını pahalı hale getirdi. Özellikle makinelerde ve inşaatlarda olmak üzere birçok kullanım alanında demir yeterince dayanıklı ve elastik değildi. Çeliğin icadının ardından çelik endüstrisi hızla gelişti ve İkinci Sanayi Devrimi'ni simgeleyen bir kavram haline geldi.

Kimya Endüstrisi, İkinci Sanayi Devrimi döneminde bu alanında pek çok gelişme yer almaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir; organik kimyanın yaratılması, yapay boyaların keşfi, soda yapımı, dinamitin keşfi, gübre üretimindeki gelişmeler, kauçuğun endüstriyel kullanımı, sentetik plastiğin üretimi, ilaç üretiminin başlaması dönemin önemli gelişmelerindendir.

Elektrik, 1821'de elektrik motorunu ve 1831'de dinamonun icat edilmesiyle başlayıp, telgrafın, ark lambası, halka dinamonun kullanımıyla önemi giderek artmıştır. 1870'lerde elektrik kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Elektrikli demiryolları, elektrikli battaniye ve ocaklar, elektrikli tramvaylar, modern ampulün kullanımı, çok fazlı elektrik motoru, transformatör gibi icatlarla elektrik gittikçe önemli bir hale gelmiştir.

Ulaşım, İkinci Sanayi Devrimi sırasında demiryolları daha hızlı, daha güvenli ve daha konforlu hale gelmiştir. 1870'den sonra gemiler giderek daha fazla çelikten inşa edildi. Bu gelişme, daha büyük daha güçlü ve daha hızlı gemilerin inşa edilmesini mümkün kıldı. 1884 yılında buhar türbininin icadı ve bunun ardından gelen iyileştirmeler denizcilikte büyük bir devrime yol açtı. Bu dönemde, büyük ölçüde eğlence amaçlı olarak çeşitli bisiklet türleri denendi. 19. yüzyılın sonlarında yapılan arabalar el yapımı olduğundan dolayı pahalı, hızları yavaş ve dik tepelere tırmanamıyordu. 19. yüzyılın sonlarındaki değiştirilebilir parçalar ve seri üretim fikirleriyle otomobil endüstrisi gelişmeye başladı. 1914'e gelindiğinde Henry Ford yılda neredeyse çeyrek milyon T modeli otomobil sattı. Uçağın gelişimi, birçok bakımdan, İkinci Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan yeni teknolojik ilerleme tarzının paradigmatik bir örneğidir.

Tarım ve Gıda İşleme, Tarım dışındaki teknolojik ilerleme, gıda arzını birçok yönden etkiledi. Çelik aletler, drenaj ve sulama boruları, buharla çalıştırılan harman makineleri, ekim makineleri ve mekanik orak makineleri

yavaş ama kesin bir şekilde verimliliği artırdı böylece gıda ve hammadde tedarikini genişletti. İçten yanmalı motorun kullanılmasıyla Birinci Dünya Savaşı'nın arifesinde ilk traktörler ve biçerdöverler kullanılmaya başlandı.

Diğer İmalat Sektörleri, Tekstilde 1870'den sonra ilerleme kademeli oldu ve büyük atılımlar yaşanmadı. Bu dönemde ortaya çıkan büyük yeniliklerden biri dikiş makinesiydi. Dokumada, 1850'den sonra mekanik dokuma tezgâhı el tezgâhı dokumacılarının yerini almaya devam etti. İlk otomatik dokuma tezgâhı 1894 yılında inşa edildi ve sonraki yirmi yılda geniş çapta benimsendi. Santral (1878) ve yükleme bobini (1899) gibi tamamlayıcı icatlarla, telefon tüm zamanların en başarılı icatları arasına girdi. Yine bu dönemde kablosuz telgraf, bilimin teknolojiyi yönlendirdiği yeni düzenin bir başka olağanüstü örneğidir. Bilgi teknolojisi üzerinde çok büyük etkisi olan daktilo bu dönemde icat edildi. İlk döner baskı makinesi 1846'da Philadelphia'da kullanılmaya başlandı. 1886 ve 1890 yılları arasında, harf kalıplarının yapıldığı yüzlerce matrisi kontrol eden bir klavyeyi kullanarak bir seferde bütün bir çizgiyi oluşturan ve ayarlayan linotip makinesi icat edildi.

2.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0)

Üçüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 3.0), ABD şirketlerinin ulusal ve uluslararası işlemlerinin artmasıyla 1950'lerin son yarısında üretim, dağıtım ve enerji alanlarında teknolojik temelli başlamıştır (Topsakal et al., 2018) Bu dönem üretimin sayısallaştığı, bilişim teknolojisi dönemidir. Sentetik ürünler, bilgisayar teknolojisi, fiber optikler, telekomünikasyon, biyogenetikler, lazer teknolojisi ve biyotarım bu dönemin belirleyici unsurlarını oluşturur. Aynı zamanda, bu dönemin temel yapı taşları arasında bilgi işleme teknikleri, iletişim yöntemleri ve bu teknolojilerin gerçekleştirilmesindeki kilit oyuncu olan mikro-elektronik bulunmaktadır (Davutoğlu, 2020).

İnternet, Üçüncü Sanayi Devrimi'nin ana faktörüdür. Bilgisayar donanımı, yazılımı ve telekomünikasyondaki teknolojik gelişmelerin mümkün kıldığı İnternet, şirketlerin kendilerini ve iş yapma şekillerini yeniden keşfetmeye zorladı. İş uygulamalarındaki bu dönüşüm, hem verimlilikteki gelişmeler hem de yeni pazarların yaratılmasıyla birlikte üretkenlikte benzeri görülmemiş kazanımlar sağladı. Aynı zamanda İnternet, insanların birbirleriyle iletişim kurma, kendilerini ifade etme ve eğlenme şekillerini de derinden değiştirdi (Smith, 2001). Bu dönem, yarı iletkenlerin, ana bilgisayarların (1960'lar), kişisel bilgisayarların (1970'ler ve 80'ler) ve internetin (1990'lar) ilerlemesiyle belirginleşen bir süreç olduğundan, genellikle 'Bilgisayar Devrimi' olarak anılmaktadır (Öcal & Altıntaş, 2018). Bu dönemde, yazılım üretimi başlamış ve bilginin dijitalleşme süreci hız kazanmıştır. Yeni yazılımların devreye girmesiyle birlikte, yeni üretim araçları ve son teknoloji donanımların kullanımına başlanmıştır (Didem, 2020). Üçüncü Sanayi Devrimi, bilgisayar ve internetin hızla ilerleyerek bilgi teknolojilerinin geliştiği bir dönem olarak özetlenebilir.

Ayrıca, üretimde dijitalleşmenin artmasıyla birlikte elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanımını da kapsamaktadır (Davutoğlu, 2020).

Endüstri 3.0, bilgisayarın üretim süreçlerine dâhil olmasıyla 'Dijital Devrim' olarak da bilinir. Bu dönem, sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçişi tanımlar. Mekanik ve elektrikle çalışan hesap makinelerinden bilgisayarların geliştirilmesine geçiş, ardından da bilgisayar sistemlerinin birbirine bağlanmasını sağlayacak bir ağ arayışı, internet tarihinin başlangıcı sayılmaktadır (Ziewitz & Brown, 2013). Bilgisayarların işlem gücündeki hızlı artış, 'Akıllı Makineleri' ortaya çıkarmış ve robotik endüstrisinin hızlı bir şekilde gelişmesine yol açmıştır. Bu durum, üretimde insan gücünün azalmasına ve robot makinelerin üretimde daha yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Elektronik ve bilgisayarın, makine endüstrisine entegrasyonu, üretim sistemlerinin otomatikleşmesine yol açmıştır. Böylece elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin ilerlemesiyle üretimin otomasyonu sağlamıştır (Genç, 2018). İnsan gününün yerini bu teknolojiler aldığından dolayı üretim süreci otomatikleştirilmiştir. Bu dönemin bir diğer gelişmesi Programlanabilir Lojik Denetleyici (PLC)'nin kullanılmasıdır (Mulyani et al., 2021).

Bu dönemde imalatta, planlama ve izleme de dâhil olmak üzere geleneksel olarak manuel şekilde gerçekleştirilen bir dizi operasyon, mühendislik, elektronik ve bilgi teknolojileri için merkezileştirilmiştir. İleri İmalat Teknolojisi (AMT) terimi 1980'lerde bu yeniliklerin yaygınlaşmasıyla ortaya çıkmış olup, Bilgisayarla Bütünleşik İmalat (CIM), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) gibi bir dizi teknolojiye atıfta bulunmaktadır. Daha kısa üretim süreleri, daha kişiselleştirilmiş ürünler, tüketici taleplerine daha hızlı yanıt vermek için Esnek İmalat Sistemleri (FMS) kullanılmaya başlanmıştır (Sharma & Singh, 2020).

Endüstri 3.0 devriminde, yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgâr gibi kaynaklar, yenilenemez kaynaklardaki sorunlar ve çevresel endişelerle paralel olarak önem kazanmıştır (Davutoğlu, 2020). Üçüncü Sanayi Devrimi terimi, 'Yeşil Sanayi Devrimi', 'Verimlilik Devrimi' ve 'Yeşil Kapitalizm'e doğru köklü bir dönüşüm olarak kapsamlı bir ayaklanmayı ifade etmektedir. Bu farklı katkıların tümü, hem gerekli hem de olası teknik değişimin radikal doğasını vurgulamaktadır. Sanayi devrimi kavramına ilişkin genel olarak iki farklı anlayış bulunmaktadır. Dar anlayış yalnızca enerji tabanının değişimini ifade ederken, daha geniş değerlendirme enerji, teknolojik, ekolojik ve sosyal koşullardaki kapsamlı değişiklikleri ve gerekli hükümet liderliğini içermektedir (Jänicke & Jacob, 2009). Jeremy Rifkin'e göre, Birinci Sanayi Devrimi'nde buhar, İkinci Sanayi Devrimi'nde petrol temel rol oynadı; Üçüncü Sanayi Devrimi ise yenilenebilir enerjiye dayanmaktadır. Rifkin, bu devrimin gerçekleşebilmesi için beş sürecin eş zamanlı ve birbirini tamamlayıcı olarak gerçekleşmesi gerektiğini vurgulamıştır. İlk olarak, yenilenebilir enerjiye geçiş sağlanmalıdır. Ardından, her binanın kendi enerjisini yenilenebilir kaynaklardan toplayabileceği mikro enerji santrallerine dönüştürülmesi

gerekmektedir. Üçüncü olarak, kesintili enerji kaynaklarını depolamak için her bina ve altyapıda hidrojen ve diğer depolama teknolojileri kullanılmalıdır. Dördüncü aşamada, her kıtadaki enerji şebekesini, internet gibi enerji paylaşımına olanak tanıyan bir ağa dönüştürmek için internet teknolojisi kullanılmalıdır. Son olarak, ulaşım araçları, akıllı, kıtasal ve etkileşimli bir enerji şebekesi üzerinden elektrik alıp satabilen elektrikli ve yakıt hücreli araçlarla değiştirilmelidir (Sezgin, 2018).

Üçüncü Sanayi Devrimi, insanların üretim, tüketim, eğitim, iletişim araçlarını, mekanizmalarını ve içeriğini değiştiren teknolojilerde karmaşık ve derin dönüşümler içeriyordu. Özel ve kamu kuruluşlarının ürettiği bilimsel buluşlar yeni teknolojilere, benzersiz makine, ekipman ve cihazlara dönüştü. Teknolojiler spesifik yatırım, tüketim, mal ve hizmetlerine dönüştü. Finansal sistem, ulusal ve mali politika açısından zorlu zorunlulukları olan küresel bir sistem haline geldi. Yasama organlarının rekabeti, kişisel ve mülkiyet güvenliği sistemleri, kültür ve gelenekler, eğitim sistemleri ve sağlık sistemleri zorlu bir rekabete girdi (Pozdnyakova et al., 2019). 20. yüzyılın sonlarında birçok imalat faaliyeti sanayileşmiş ülkelere az gelişmiş ülkelere, özellikle de Asya'ya taşındı. Küreselleşmeden kaynaklı iletişim ihtiyaçları nedeniyle bilgi teknolojileri uygulamalarını yoğunlaştırdı (Klingenberg & Antunes, 2017).

2.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)

Endüstri 4.0 ilk olarak 2011 yılında Hannover Fuarı'nda tanıtılmıştır. 2013 yılında imalat sektöründe devrim yaratan endüstrilerde öncü bir rol üstlenmeyi amaçlayan bir Alman stratejik girişimi şeklinde resmi olarak duyuruldu. Endüstri 4.0, Dördüncü Sanayi Devrimi'nin başlangıcıdır (Xu et al., 2018). Endüstri 4.0 evriminin ardındaki temel amaç, Hindistan ve Çin gibi ayaklanan ülkelerle rekabet edebilmek ve Avrupa Birliği ve ABD gibi gelişmiş ülkelerden zenginlik akışını engellemektir. Bu zenginlik akışının ardındaki en önemli neden, gelişmiş ülkelerdeki iş gücünün azalması ve başta Hindistan ve Çin olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde büyük bir ucuz iş gücü havuzunun bulunmasıdır (Kumar et al., 2020).

Endüstri 4.0, cihazların hem kendi aralarında hem de insanlar arasında iletişim kurduğu, ayrıca uzaktan erişilebildiği ve iyileştirici aksiyonlar alabildiği, son derece karmaşık ve otomatikleştirilmiş üretim sistemleri, hizmetleri ve iş süreçleri için kullanılan genel bir terimdir (Kumar et al., 2020). Buradaki ana fikir, internet ve Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin kullanılabilirliği, şirketlerdeki teknik süreçler ile iş süreçlerinin entegrasyonu ve verilerin yorumlanarak anlamlı bilgilerin üretilmesi, gerçek dünyanın dijital haritalanması ve sanallaştırılması, 'akıllı' endüstriyel üretim araçlarını ve 'akıllı' ürünleri içeren 'akıllı' fabrika gibi yeni teknolojilerin ve kavramların potansiyellerinden yararlanmaktır (Albayrak & Erkayman, 2023; Rojko, 2017).

Endüstri 4.0 konsepti, akıllı ürünler üreten ve diğer fabrikalarla yatay ve dikey olarak bağlantılı olan akıllı fabrika etrafında geliştirilmiştir. Nesnelerin

İnterneti, bulut bilişim, siber fiziksel sistemler, katmanlı üretim ve büyük veri gibi teknolojiler, cihazlar ve makineler arasında birlikte çalışabilirliğe, süreçlerin modülerliğine, merkezi olmayan karar alma ve bilgi şeffaflığına, akıllı sistemlerin geliştirilmesi için koşulların yaratılmasına olanak tanımaktadır. Akıllı sistemler, stok seviyesi, sipariş değişiklikleri veya ürün spesifikasyonları hakkında bilgi alışverişi yapma yeteneğine dayanır, süreçler arasında merkezi olmayan bir koordinasyonu mümkün kılar ve özelleştirmeyi kolaylaştırır. Endüstri 4.0'ın uygulanması, kuruluş genelinde derin bir dönüşüm ve yeni iş gücü yetkinlikleri gerektirir. Bağlantı olanakları diğer firmalarla uzmanlaşmaya ve işbirlikçi uygulamalara izin vererek inovasyon ortamı için koşullar yarattığından iş modelleri üzerinde güçlü bir etkisi olmaktadır (Castelo-Branco et al., 2022).

Endüstri 4.0'ı destekleyen bazı teknolojiler aşağıda açıklanmıştır.

Nesnelerin İnterneti (IoT): IoT, interneti aralarında iletişim ve veri iletimi aracı olarak kullanarak fiziksel ve sanal alanları birleştirmeyi amaçlayan dinamik bir ağ çerçevesidir. Kendi kendini yapılandıran IoT altyapısında iletişim protokollerinin kullanılmasıyla fiziksel ve sanal dünyalar tek bir büyük veri ağında mükemmel bir şekilde birleştirilir (Balaji et al., 2019).

Simülasyon: Simülasyon, gerçek dünyadaki bir sistemin veya senaryoların bilgisayar ortamında yeni bilgiler elde etmek amacıyla taklit edilmesidir. İyi bir simülasyon modeli, sistem davranışının analiz edilmesine ve üretimde karşılaşılan tüm sorulara cevap vermesine olanak tanır (Kilic & Erkayman, 2021).

Büyük Veri: Büyük veri, çok büyük bir boyuta sahip olan ve geleneksel veritabanı araçları tarafından saklanamayan, yönetilemeyen, analiz edilemeyen ve yakalanamayan veri kümeleri olarak kabul edilir. Büyük veri, büyük miktarda veriyi analiz etmek ve onun temel özelliklerini yakalamak için araştırılan yeni nesil teknolojiler ve mimariler olarak tanımlanabilir (Deepa et al., 2022).

Siber Fiziksel Sistemler (CPS): Fiziksel dünya ve onun süreçleriyle sürekli bağlantı halinde olan, internet üzerinden veri erişimi ve veri işleme hizmetleri sağlayabilen, verileri kullanabilen, ortak hesaplamalar yapabilen sistemlerdir. Bu amaçla, CPS'ler şunları yapabilir: kendilerine ve çevrelerine gönderilen verileri toplayabilir, işleyebilir ve değerlendirebilir, diğer sistemlere bağlanıp iletişim kurabilir ve eylemler başlatabilir (Kılıç & Erkayman, 2023).

Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik: Sanal gerçeklik, fiziksel bir varlığı olmayan, yazılım işleme yoluyla ortaya çıkan yeni bir sahne yaratmak anlamına gelirken, artırılmış gerçeklik, onu iyileştirmeye, geliştirmeye yardımcı olan yazılım bileşenlerinin yanı sıra, fiziksel ve duyuşsal bileşenleriyle gerçekliği de içeren yeni bir sahne yaratmak anlamına gelir (Asaad, 2021).

Yapay Zekâ: İnsanın akıllı davranışlarını simüle etmek için bilgisayarları kullanır ve bilgisayarları öğrenme, yargılama ve karar verme gibi insan

davranışlarını öğrenmeleri için eğitir. Yapay zeka, makine öğrenimini, duygu tanımayı, insan-bilgisayar etkileşimini, veri depolamayı ve karar vermeyi entegre etme yeteneğine sahip çok disiplinli bir teknolojidir (Zhang & Lu, 2021). Ayrıca tüm alanlarda kullanılabilen yapay zekâ, uygulamaların akıllı hale getirilmesini, süreçlerin esnek ve verimli bir yapıya dönüştürülmesine olanak sağlar (Albayrak Ünal et al., 2023).

Ekllemeli İmalat: Ekllemeli imalat, malzemeleri füzyon, bağlama veya katılaştırma yoluyla harmanlayarak, örneğin sıvı reçine ve tozlar gibi malzemeleri kullanarak parçaların katman katman oluşturulduğu bir üretim tekniğidir. 3D CAD modelleme aracılığıyla parçaların üretimi sağlanır. Bu yöntem, düşük üretim hacimleri, karmaşık tasarım gereklilikleri ve sık tasarım değişiklikleri gibi durumlarda son derece kullanışlıdır. Ayrıca, geleneksel üretim yöntemlerinin kısıtlamalarını aşarak karmaşık parçaların üretimini mümkün kılar (Abdulhameed et al., 2019).

Endüstri 4.0, daha az emek gerektiren, vasıflı kişilerin çalışma yaşını uzatabilen ve çok özel taleplere yanıt vererek satışları artırabilen bir dizi teknolojiyi içermektedir (Klingenberg & Antunes, 2017). Endüstri 4.0 terimi, imalat sektörüne uygulanabilir teknolojilerle güçlü bir şekilde ilişkili olsa da, bazı tanımlar diğer ekonomik sektörleri de kapsamaktadır. Bu teknolojilerin çoğunun hizmetler alanında uygulanabileceğini kabul etmektedir. İnşaat, ulaşım, lojistik, ticaret, konaklama ve imalat ilgili hizmetler Endüstri 4.0 perspektifi altında analiz edilen sektörlerden bazılarıdır (Castelo-Branco et al., 2022).

2.5. Beşinci Sanayi Devrimi (Endüstri 5.0)

Beşinci Sanayi Devrimi (Endüstri 5.0), Avrupa Komisyonu (EC) tarafından ortaya atılan bir terimdir. EC'ye göre, 'Endüstri 5.0, sürdürülebilir, insan odaklı ve dayanıklı bir Avrupa endüstrisine geçişin itici güçleri olarak araştırma ve yeniliği öne çıkararak mevcut Endüstri 4.0 paradigmasını tamamlamaktadır (Ivanov, 2023). İşletmeler Endüstri 4.0'ı benimsemeye başladıkça devamında Beşinci Sanayi Devrimi gelmiştir. Endüstri 5.0, üretimi gezegenimizin sınırlarına saygılı hale getirerek ve endüstri çalışanlarının refahını üretimin merkezine yerleştirerek, istihdamın ve büyümenin ötesinde toplumsal hedeflere ulaşmak, esnek bir refah sağlayıcısı olmak için endüstrinin gücünün tanınması olarak anlaşılmaktadır. Endüstri 5.0 kavramı farklı bir odak ve bakış açısı sağlar ve endüstrinin gezegen sınırları dahilinde insanlığa uzun vadeli hizmet vermesini desteklemek için araştırma ve yeniliğin önemini vurgular (Xu et al., 2021).

Teknoloji odaklı bir sanayi devrimi olan Endüstri 4.0, geçtiğimiz on yıllarda teknolojiye, endüstrilerde ve toplumsal kalıplarda ve süreçlerde yaşanan hızlı değişimi kavramsallaştırmaktadır. Endüstri 4.0 yeni teknolojilerin ortaya çıkması ve gelişmesiyle üretim verimliliğini ve kalitesini daha yüksek bir seviyeye yükseltmektedir. Ancak Endüstri 4.0, endüstriyel sürdürülebilirlik ve

çalışanların refahından ziyade endüstrinin verimliliğini ve esnekliğini teşvik etmeye daha fazla önem vermektedir (Huang et al., 2022). Endüstri 5.0, endüstriyi daha sürdürülebilir, insan odaklı ve dayanıklı hale getirmeyi amaçlayan bir kavramdır. Bazıları bunu Endüstri 4.0 kavram ve uygulamalarına dayanan evrimsel, artan bir ilerleme olarak görürken, diğerleri Endüstri 5.0'ı Endüstri 4.0 paradigmasının devamı olarak görmektedir. Ancak Endüstri 5.0'ın temel eğiliminin insan-robot ortak çalışma ortamının getirilmesi ve akıllı toplumun yaratılması olduğu görülmektedir (Akundi et al., 2022).

Endüstri 5.0, insan odaklılık, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık olmak üzere üç temel özelliğe dayanmaktadır. Bu temel özellikler aşağıda açıklanmıştır (Zizic et al., 2022);

İnsan odaklılık, insan ihtiyaçlarını üretim sürecinin merkezine yerleştiren, teknolojinin çalışanlar için neler yapabileceğini ve nasıl faydalı olabileceğini sorgulayan insan merkezli yaklaşımdır.

Sürdürülebilirlik, doğal kaynakların yeniden kullanılmasına, yeniden amaçlandırılmasına ve geri dönüştürülmesine, ayrıca atıkların ve çevresel etkilerin azaltılmasına odaklanmaktadır.

Dayanıklılık, endüstriyel üretime sağlamlığın getirilmesi anlamına gelir. Bu sağlamlık, özellikle bir kriz meydana geldiğinde esnek süreçler ve uyarlanabilir üretim kapasiteleri aracılığıyla destek sağlar.

Endüstri 5.0 için altı etkinleştirici teknoloji tanımlanmıştır (Xu et al., 2021);

- İnsanların ve makinelerin güçlü yönlerini birbirine bağlayan ve birleştiren kişiselleştirilmiş insan-makine etkileşimi teknolojileri
- Biyolojiden esinlenen ve geri dönüştürülebilir özelliklere sahip malzemelerin gelişmiş özelliklerle donatılmasını mümkün kılan akıllı malzemeler ve gömülü sensörlerle desteklenen teknolojiler
- Dijital ikizler ve simülasyon gibi sistemlerin bütünsel modellenmesini sağlayan teknolojiler
- Verileri ve sistemin birlikte çalışabilirliğini yönetebilen veri iletimi, depolama ve analiz teknolojileri
- Yapay zekâ teknolojileri
- Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve depolama teknolojileri

Önceki sanayi devrimleri, üretim sistemleri ve stratejilerinin daha fazla üretkenlik ve verimliliğe doğru sürekli olarak değiştiğini göstermektedir. Endüstri 5.0, daha hızlı, sürdürülebilir ve insan odaklı bir yaklaşımı benimseyerek yeni teknolojilerden faydalanır. Bu dönemdeki gelişmiş insan-makine arayüzleri, robotlar aracılığıyla gerçekleşecek otomasyonlar ve insan beyninin gücü ile artırılmış entegrasyonun ön planda olması beklenmektedir. Sürdürülebilirlik, Endüstri 5.0'ın önemli unsurlarından biridir ve bu kapsamda kirliliğin önlenmesi, çevre dostu üretim ve enerji verimliliği gibi hedefler

belirlenmiştir. Bu yaklaşım, endüstrilerin çevreye duyarlı iş modellerini benimseyerek çevresel bilinç ve sorumluluğu destekleyen müşteri tabanı ile rekabet avantajı elde etmesine olanak tanıyacaktır (Güdek, 2023). Endüstri 5.0 devrimi ile çalışanların sıkıcı, kirli ve tekrarlayan görevlerinin ortadan kalkacağı, akıllı robotlar ve sistemlerin üretim ve tedarik zincirlerine yüksek düzeyde nüfuz edeceği, üretkenlik ve operasyonel verimliliğin artacağı, daha çevre dostu olunacağı, iş kazalarının azalacağı ve üretim süresi döngülerini kısılacağı düşünülmektedir (Nahavandi, 2019).

3. SONUÇ

Sanayi devrimleri teknolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda silinmez bir iz bırakarak insanlık tarihinin önemli bölümleridir. Bu devrimler, toplumları tarımdan sanayi ve bilgi odaklı çağlara sürükleyen benzeri görülmemiş teknolojik ilerlemelerin habercidir. Aynı zamanda ekonomik yapıları yeniden şekillendirerek, küresel ticaret dinamiklerini değiştirmiş ve modern kapitalizmin temellerini oluşturmuştur. Dahası, toplumsal yapı, kırsal yaşamdan kent yaşamına geçişe, endüstriyel işgücünün yükselişine ve toplumsal hiyerarşilerdeki değişikliklere tanık olarak önemli değişikliklere uğramıştır.

Bugün bu devrimlerin etkileri devam eden teknolojik evrime yansımaktadır ve her bir dönem bir sonraki dönemin devamı ve habercisi niteliğindedir. Dördüncü ve Beşinci Sanayi Devrimi gibi kavramlar, teknolojinin iş ve üretim süreçleri üzerindeki sürekli etkisini ve değişimi vurgulamaktadır. Sonuç olarak sanayi devrimlerinin sonuçları çok yönlüdür ve bu dönemlerin bugünümüzü ve geleceğimizi nasıl şekillendirmeye devam ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada sanayi devrimleri kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Her dönemin yıkıcı teknolojileri ve etkilerinden bahsedilerek kendi dönemlerine ait gelişmeler sunulmuştur. Sanayi devrimleri, Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a kadar olan uzun bir serüvendir. Teknolojinin her geçen gün gelişmesi ve insan ihtiyaçlarının değişmesiyle birlikte gelecekte yeni sanayi devrimlerinin yaşanacağı muhtemeldir.

- Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., & Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1687814018822880.
- Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5(1), 27.
- Albayrak, O., & Erkayman, B. (2023). A Multi-criteria Analysis for Critical Success Factors Through Industry 4.0. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1-16.
- Albayrak Ünal, Ö., Erkayman, B., & Usanmaz, B. (2023). Applications of artificial intelligence in inventory management: A systematic review of the literature. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(4), 2605-2625.
- Apriliyanti, M. (2022). Challenges of The Industrial Revolution Era 1.0 to 5.0: University Digital Library In Indoensia. *Library Philosophy and Practice*, 1-17.
- Asaad, R. R. (2021). Virtual reality and augmented reality technologies: A closer look. *International Research Journal of Science, Technology, Education, & Management (IRJSTEM)*, 1(2).
- Balaji, S., Nathani, K., & Santhakumar, R. (2019). IoT technology, applications and challenges: a contemporary survey. *Wireless personal communications*, 108, 363-388.
- Castelo-Branco, I., Oliveira, T., Simões-Coelho, P., Portugal, J., & Filipe, I. (2022). Measuring the fourth industrial revolution through the Industry 4.0 lens: The relevance of resources, capabilities and the value chain. *Computers in Industry*, 138, 103639.
- Davutoğlu, N. A. (2020). Üçüncü Ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel Ve Sistemik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi. *Management and Political Sciences Review*, 2(1), 176-194.
- Deepa, N., Pham, Q.-V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., Fang, F., & Pathirana, P. N. (2022). A survey on blockchain for big data: Approaches, opportunities, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 131, 209-226.
- Didem, K. (2020). Sanayi devrimlerinin tarihsel arka planı ve işgücü becerileri üzerindeki yansımaları. *OPUS International Journal of Society Researches*, 16(31), 4531-4558.
- Feng, Y. (2023). The First Industrial Revolution's Consequences and Repercussions for Europe and America. *History: HKU History Journal Society*, 57-67.
- Genç, S. (2018). Sanayi 4.0 Yolunda Türkiye. *Sosyoekonomi*, 26(36), 235-243.
- Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 464-471.
- Güdek, B. (2023). Endüstriyel dönüşüm ve endüstri 5.0. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(4), 1129-1142.
- Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424-428.
- Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1683-1695.
- Jänicke, M., & Jacob, K. (2009). A Third Industrial Revolution? Solutions to the crisis of resource-intensive growth. *Solutions to the Crisis of Resource-Intensive Growth*.

- Kilic, R., & ErKayman, B. (2021). A simulation approach for transition to JIT production system. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(3), 489-500.
- Kılıç, R., & ErKayman, B. (2023). Multi-criteria analysis through determining production technology based on critical features of smart manufacturing systems. *Soft Computing*, 27(11), 7071-7096.
- Klingenberg, C., & Antunes, J. (2017). Industry 4.0: what makes it a revolution. *EurOMA 2017*, 1-11.
- Kumar, S., Suhaib, M., & Asjad, M. (2020). Industry 4.0: Complex, disruptive, but inevitable. *Management and Production Engineering Review*.
- Mohajan, H. (2021). Third industrial revolution brings global development.
- Mokyr, J., & Strotz, R. H. (1998). The second industrial revolution, 1870-1914. *Storia dell'economia Mondiale*, 21945(1).
- Mulyani, M. A., Yusuf, S., Siregar, P., Nurihsan, J., Razzaq, A., & Anshari, M. (2021). Fourth industrial revolution and educational challenges. 2021 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech).
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- Öcal, F. M., & Altıntaş, K. (2018). Dördüncü sanayi devriminin emek piyasaları üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi ve çözüm önerileri. *OPUS International Journal of Society Researches*, 8(15), 2066-2092.
- Pinheiro, P., Putnik, G. D., Castro, A., Castro, H., Dal, B. F. R., & Romero, F. (2019). Industry 4.0 and industrial revolutions: An assessment based on complexity. *FME Transactions*, 47(4), 831-840.
- Pozdnyakova, U. A., Golikov, V. V., Peters, I. A., & Morozova, I. A. (2019). Genesis of the revolutionary transition to industry 4.0 in the 21st century and overview of previous industrial revolutions. *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, 11-19.
- Prisecaru, P. (2016). Challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, 8(1), 57.
- Raschke, S. U. (2022). Limb Prostheses: Industry 1.0 to 4.0: Perspectives on Technological Advances in Prosthetic Care. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 3, 854404.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, 11(5).
- Sezgin, S. (2018). Üçüncü Sanayi Devrimi: Yanal Güç, Enerjiyi, Ekonomiyi ve Dünyayı Nasıl Dönüştürüyor? *İş Ahlakı Dergisi*.
- Sharma, A., & Singh, B. J. (2020). Evolution of industrial revolutions: A review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(11), 66-73.
- Smith, B. L. (2001). The third industrial revolution: Policymaking for the Internet. *Colum. Sci. & Tech. L. Rev.*, 3, 1.
- Topsakal, Y., Yüzbaşıoğlu, N., & Cuhadar, M. (2018). Endüstri devrimleri ve turizm: Türkiye Turizm 4.0 SWOT analizi ve geçiş süreci önerileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), 1623-1638.
- Vinitha, K., Prabhu, R. A., Bhaskar, R., & Hariharan, R. (2020). Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3956-3960.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.

- Yavari, F., & Pilevari, N. (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2), 44-63.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.
- Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224.
- Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N., & Celent, L. (2022). From industry 4.0 towards industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology. *Energies*, 15(14), 5221.