

ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMSAL ÇERÇEVE*


Cansu DOĞAN GİRGIN¹, Sinan YILMAZ²

ÖZ

Çalışmanın amacı Endüstri 4.0 kavramı hakkında bilgi vermektir. Dördüncü Sanayi Devrimi olarak ifade edilen Endüstri 4.0, adlandırıldığı 2011 yılından itibaren gündemde olan ve gittikçe yaygınlaşan bir konsept olarak ele alınmaktadır. Endüstri 4.0, dijital dönüşümü elde etmek için makinelerin birbirleriyle iletişime geçebildiği ve iş birliği yapabildiği üretimi sağlamayı hedefleyen bir süreçtir. Çevre koşullarının değişmesi, yeni teknolojik imkanların gelişmesi, devlet politikalarının sürdürülebilirlik ve verimlilik beklentileri, küresel rekabet ve entegrasyon süreçleri nedeniyle Dördüncü Sanayi Devrimi tüm dünya için önemli hale gelmiştir. Dijital dönüşümle birlikte yüksek rekabet ortamında yer alan şirketler ve ülkelerin Endüstri 4.0 uygulamalarını yakından takip etmesi ve uygulaması gerekmektedir. Almanya, Çin, Amerika gibi gelişmiş ülkelerin Endüstri 4.0 uygulamalarına, hedef politika ve planlamalarına geniş çapta yer verdiği görülmektedir. Türkiye’de de bu süreçle alakalı çalışmaların her geçen gün arttığı gözlemlenmektedir. Çalışmada sırasıyla Endüstri 4.0 kavramı, yeni bir devrim olarak nitelendirilen sürecin model olarak incelenmesi, Endüstri 4.0 bileşenleri, Türkiye’de yer alan Model fabrikalar, literatür araştırmaları ve Dünya’da yürütülen çalışmalar yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0 Bileşenleri, Model Fabrikalar.

* Bu çalışma Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı’nda Dr. Sinan Yılmaz danışmanlığında Cansu Doğan Girgin tarafından yürütülmekte olan doktora tezinden türetilmiştir.

¹ Doktora Öğrencisi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye, cansu.dgmn@hotmail.com, 
<https://orcid.org/0000-0002-0956-7834>

² Dr. Öğr. Üyesi, Bülent Ecevit Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Zonguldak, Türkiye, yilmazs@beun.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8576-9913>

INDUSTRY 4.0 CONCEPTUAL FRAMEWORK*


Cansu DOĞAN GİRGIN¹, Sinan YILMAZ²


ABSTRACT

The purpose of the study is to provide information on the concept of Industry 4.0. Industry 4.0, expressed as the fourth Industrial Revolution, is considered a concept that has been on the agenda since 2011, and has become increasingly widespread. Industry 4.0 is a process that aims to ensure the production that machines can communicate and collaborate with each other in order to achieve digital transformation. Due to the change of environmental conditions, the development of new technological facilities, the sustainability and efficiency expectations of state policies, global competition and integration processes, the fourth Industrial Revolution has become important to the world. With digital transformation, companies and countries in a high competitive environment need to closely follow and implement Industry 4.0 applications. It is seen that developed countries such as Germany, China, America have a wide range of Industry 4.0 applications, target policies and plans. In Turkey, studies related to this process have been observed to increase day by day. The study, respectively, includes the concept of Industry 4.0 as a model of the process, its components, Model factories in Turkey, literary research and studies carried out on land.

Keywords: Industry 4.0, Digital Transformation, Industry 4.0 Components, Model Factories.

* This study was derived from the doctoral dissertation carried out by Cansu Doğan Girgin under the supervision of Dr. Sinan Yılmaz at Bülent Ecevit University Institute of Social Sciences.

¹ Doctoral student, Bülent Ecevit University, Institute of Social Sciences Department of Business Administration, Zonguldak, Türkiye, cansu.dgnm@hotmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-0956-7834>

² Assistant Professor, Bülent Ecevit University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Zonguldak, Türkiye, s.yilmaz@beun.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0002-8576-9913>

1. GİRİŞ

Ekonomik, siyasi ve politik alandaki gelişmeler yüzyıllardır insanların yaşamlarında köklü değişikliklere neden olmuş ve tarih bu değişimlerle şekillenmiştir. İnsan yaşamını etkileyen temelde iki köklü değişim vardır. Bunlardan birincisi tarım, ikincisi ise sanayi devrimidir (Özsoylu, 2017, s. 42). Sosyal, ekonomik ve teknolojik değişimler tüm sanayi devrimlerinin nedenidir (Nikolic vd., 2017, s. 0797). 18. yüzyılın sonunda buhar ve su gücü kullanılarak mekanik üretimin tanıtılması Birinci Sanayi Devrimi'ne öncülük etmiştir. Elektrik kullanarak seri üretim, 19. yüzyılın sonundaki İkinci Sanayi Devrimi'nin anahtar kavramı olarak görülmektedir. 1990'lı yıllarda bilişim sistemlerinin ve otomasyonun kullanılmasıyla Üçüncü Sanayi Devrimi gerçekleşmiş ve günümüzde CPS (Cyber Physical Systems)'nin merkezileşmesi ile Dördüncü Sanayi Devrimi ya da diğer bir ifadeyle Endüstri 4.0 ekonomiyi değiştirmeye başlamıştır (Kazancıoğlu & Özkan-Ozen, 2017, s. 892).

Tarımdaki gelişmeler daha sonra sanayi alanında devrimleri beraberinde getirmiştir. 18. yüzyılın sonlarında İngiltere başta olmak üzere Avrupa'da üretim sistemlerinde köklü değişimler gerçekleşmiştir. James Watt'ın buluşu olan buhar makinesi, 1. Sanayi Devrimi'nin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Metalürjide değişimler meydana gelmiş ve dokuma sanayi gelişmiştir. Demiryolları çelik üretiminin artışı ve deniz yolunda gelişen sanayiler ortaya çıkmıştır (Bulut & Akçacı, 2017, s. 52). Atölye üretiminden fabrikaya, parça başı üretiminden yığın üretime geçilmiştir (Soylu, 2018, s. 44). Dönemin genel olarak 1760-1840 yılları kapsadığı kabul edilmektedir. Demiryollarının inşası ve buhar motorunun icadı ile mekanik üretime girilen süreci ifade etmektedir (Schwab, 2017, s. 11). Elektrik teknolojilerinin fabrikalarda kullanılması 2. Sanayi Devrimi'nin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında elektriğin ve montaj hattının gelişmesiyle desteklenen seri üretime geçiş sağlanmıştır (Schwab, 2017, s.11). Bilgisayar ya da dijital devrim olarak adlandırılan 3. Sanayi Devrimi'nin 1960'larda başladığı kabul edilmektedir. Programlanabilir makinelerin geliştirilmesiyle sanayi alanında yeni bir döneme geçilmiştir. Üretim süreçlerinde elektronik ve bilgi teknolojileri ile otomasyon sağlanmıştır. 3. Sanayi Devrimi, kişisel bilgisayarların üretiminden internet kullanımının yaygınlaşmasıyla elektronik ve bilgisayar temelli üretim yapısını sağlamıştır (Soylu, 2018, s. 44). Sanayi devrimlerinin gerçekleşmesiyle dördüncü sanayi devriminin oluşumuna zemin hazırlanmıştır.

Dördüncü endüstriyel devrim, değişimin baş döndürücü hızı ve tüm bireysel, ekonomik, kurumsal ve toplumsal düzeylerde meydana gelen değişimlerle önceki devrimlerden oldukça farklı görülmektedir. Bazı uzmanlar tarafından üçüncü devrimin devamı olarak kabul edilse de yeni devrimi bir öncekinden farklı kılan unsurlar barındırmaktadır. Bu unsurlar; devrimin içerdiği teknolojik gelişmelerin oldukça hızlı olması; bireyleri, iş dünyasını, toplumun diğer kesimlerini ve dijital teknolojiler alt yapısını kapsamaya açısından geniş ve derin yapıda olması; tüm yönetim bilişim sistemleri yanında teknolojinin içerdiği tüm unsurları birbirine bağlaması ve sistem etkisini içermesidir (Fırat & Fırat, 2017, s. 213). 4. Sanayi Devrimi, 2011 yılında Almanya'da Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından organize edilen "Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020 Eylem Planı Konferansı"nda ilk kez adlandırılmış ve Endüstri 4.0'dan 3. Sanayi Devrimi etkilerinin yoğun olduğu bir süreç olarak bahsedilmiştir (Tozkoparan & Ernur, 2018, s. 5). Alman hükümetinin 2013 yılında küresel rekabet gücünü artırma stratejilerini sunmasından bu yana endüstriler, Endüstri 4.0'ı karakterize eden ileri teknolojileri denemiştir. Küresel üretim sürecinde üretim sanayisini desteklemek ve küresel rekabet edilebilirliği artırmak için politikacılar yerli şirketler kurmuş ve teknoloji programları geliştirmiştir (Thoben vd., 2017). Karmaşık teknolojinin gelişmesi ve daha geniş toplulukta kullanılmasıyla bu fenomen, dünya çapındaki üreticilerde ortaya çıkmaya başlamıştır (Yunus, 2020, s. 1215). Endüstri 4.0, üretim alanı başta olmak üzere birçok farklı alanda etkisini göstermiştir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında sırasıyla; Endüstri 4.0 kavramı, yeni bir endüstriyel model olarak Endüstri 4.0, Dördüncü Sanayi Devrimi'nin önemli kaynaklarını oluşturan teknolojiler, Türkiye'de yer alan Model fabrikalar, literatür araştırmaları ve Dünya'da yürütülen çalışmalar yer almaktadır.

2. Endüstri 4.0

Genellikle "4. Sanayi Devrimi" olarak kabul edilen Endüstri 4.0, üretim alanında meydana gelen kökten yeni ve teknolojik bir değişimi ifade etmektedir. Son zamanlarda akademisyenler ve uygulayıcılar arasında artan ilgiyi çekmesine rağmen, Endüstri 4.0'ın üzerinde ortak bir tanım henüz belirlenmemiştir (Raji vd., 2021). Endüstri 4.0; makinelerin rutinleri basitçe operasyonel hale getirdiği bir üretim paradigmasından, birbirleriyle iletişim kurabildiği ve özerk bir şekilde iş birliği yapabildiği dijital üretime geçmek için kullanılan bir araçtır

(Manesh vd., 2021, s. 289). Dördüncü Sanayi Devrimi, Almanya Federal Hükümeti tarafından başlatılmış ve 2011'de ilk kez adlandırılmıştır. 2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi (Acatech) tarafından yayımlanan "INDUSTRIE 4.0 Stratejik Girişimini Uygulamak İçin Öneriler" raporunda araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin uygun sanayi ve politika kararlarıyla birlikte uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Murugaiyan & Ramasamy, 2021). Dördüncü Sanayi Devrimi, ilk olarak imalat sanayiinde meydana gelen dijital devrim olarak düşünülmüştür ancak güncel olarak endüstriyel değer zincirlerinin bütünlüğü içinde dijital dönüşüm olarak anlatılmaktadır (Ghobakloo & Iranmanesh, 2021).

Yüksek küresel rekabet edilebilirliği desteklemek amacıyla sanayide uzmanlaşmanın gerekliliği bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Bu araştırmalar sonucunda ekonomik sistemlerde sanayileşme süreci başlamıştır. Temel olarak Endüstri 4.0, katma değerli ağların kurulmasını sağlamak için üretim tesislerinin, tedarik zincirlerinin ve hizmet sistemlerinin entegrasyonundan oluşmaktadır (Salkin vd., 2018, s. 5-6). Erik Brynjolfsson ve Andrew McAfee, Endüstri 4.0'ı dijital teknolojiler temelinde organize edilmiş ve tam otomatik hale getirilmiş makine endüstrisinin altın çağı olarak tanımlamıştır (Sukhodolov, 2019, s. 4-5). Dikey ve yatay olarak entegre üretim sistemlerine sahip olunmasını sağlayan akıllı fabrikaların, nesnelerin internetinin ve hizmetlerin üretime dahil edilmesi Endüstri 4.0'ı ifade etmektedir (Thoben vd., 2017, s. 4).

Endüstri 4.0, imalat endüstrisinin teknoloji temelinde yapısal bir değişikliği içermekte ve ürün özellikleri, kalite, tasarım, üretim hacmi, üretim zamanlaması açısından esnekliğe izin vermektedir. Sadece şirketler içindeki değer zinciri aracılığıyla değil, aynı zamanda sektördeki şirketlerin tüm tedarik zinciri aracılığıyla gerçekleşmektedir (Ortt vd., 2020, s. 826). Braccini ve Margherita (2019), Endüstri 4.0'ın benimsenmesinde imalat sektörü için farklı ekonomik ve sosyal faktörleri araştırmış, çalışma sonucunda Endüstri 4.0 için teslim süresini %30 ve ürün kusur oranlarını %21 azaltmak gibi çeşitli ekonomik iyileştirmeler sağladığını saptamıştır. Birçok kuruluş, Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanarak değer üretmenin yollarını aramaktadır. Endüstri 4.0, akıllı ve bağlantılı ürünler ve sistemler potansiyeli ile tedarikçiler, üreticiler ve müşteriler için yeni dijital çözümler sunmaktadır (Erboz vd., 2021). Makroekonomik açıdan Endüstri 4.0, bir ulusun yeni rekabet avantajı olarak algılanmaktadır (Erro-Garcés, 2019, s. 1858).

Değişen çevre koşulları, yeni teknolojik olanaklar ve devlet politikasına yön verenlerin beklentileriyle kurumsal uygulamalar, mevcut endüstriyel teknolojik yenilikleri tetiklemektedir. Şirketler, artan küresel rekabet ve entegrasyon nedeniyle teslim sürelerini, ürün kalitesini ve genel üretkenliği iyileştirmeye teşvik edilmektedir. Yeni türde taleplerin kapsamı ve bileşimi, şirketlerin değer zincirlerini yeniden düşünmesini ve yeniden yapılandırmasını gerektirmektedir. Teknoloji ise yeniden yapılandırmada kilit bir rol oynamaktadır. Bu çerçevede Endüstri 4.0, ürün yaşam döngüsünün tüm değer zinciri üzerinde kontrol uygulamak için dinamik ve entegre bir sistemi ifade etmektedir (Vereycken vd., 2021, s. 1018). Yeni teknolojilerin sağladığı şeffaflık ve izlenebilirlik tüm değeri etkilemektedir. Çeşitli teknolojilerin tamamı Endüstri 4.0 kapsamında yerini almıştır ve kavram, üretim faaliyetlerinin nasıl, ne zaman ve nerede gerçekleştiği üzerine potansiyel olarak yıkıcı bir etkiye sahiptir. Rekabet senaryosunu etkileyen yeni teknolojiler, firmaların ürünlerini ve iş modellerini yeniden düşünmesini sevk etmiştir (Bettiol vd., 2021, s. 14). Endüstri 4.0, gelişmiş ülkelerde üretim ortamını tamamen dönüştürmeye başlamıştır ve önümüzdeki on yıllarda tüm dünyaya yayılması beklenmektedir. Dördüncü Sanayi Devrimi ile ilgili araştırma çalışmaları literatürde hızla artmakta ve çalışmaların çoğu doğrudan üretim ortamını kapsamaktadır. Endüstri 4.0 henüz başlangıç aşamasında olduğu için çalışmaların çoğu kavramsal modeller oluşturmaya dayanmaktadır (Kazancoğlu & Ozkan-Ozen, 2017, s. 891-893). Zaman içerisinde kavramsal modellerin yanında uygulama araştırmalarının da artması beklenmektedir.

2.1. Yeni Bir Endüstriyel Model Olarak Endüstri 4.0

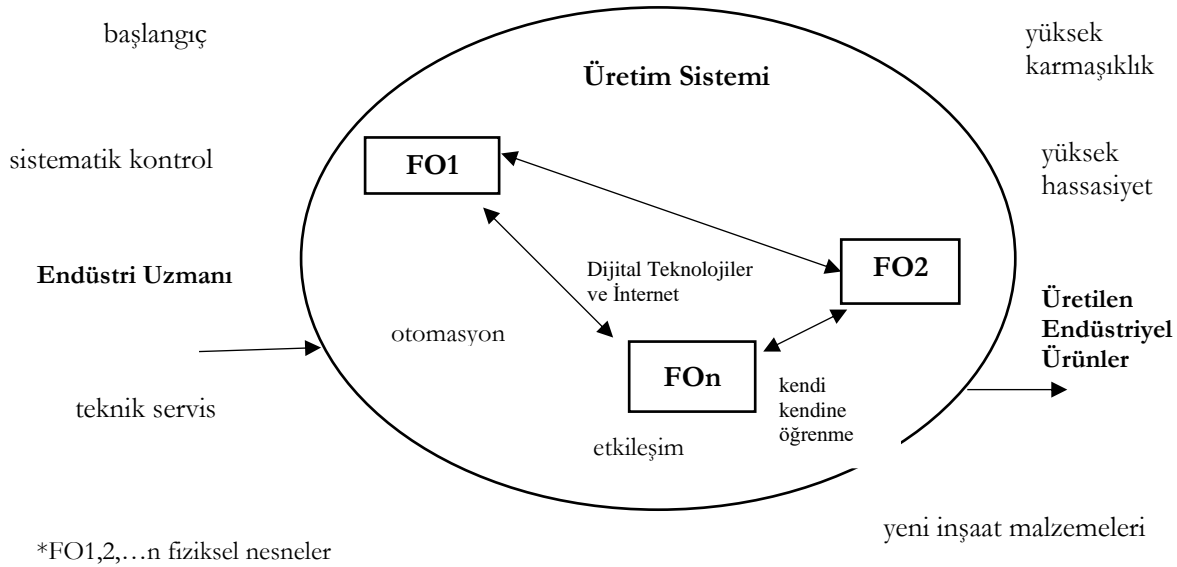
Küreselleşmenin getirdiği olanaklarla şirketlerin en büyük amacı dünyaya açılmak ve markalaşmak olmuştur. Bu gelişmeler, sanayi alanında uzmanlık, üretimde etkinlik, kalite ve ucuzluk sağlamıştır. Bilişim ve haberleşme alanlarında yapılan yenilikler, bilgisayarların ve internetin hızla yayılması, teknolojinin kullanım alanlarının artmasıyla dördüncü sanayi devriminin temelleri atılmıştır (Özsoylu, 2017, s. 44-45). Literatür araştırmalarında Endüstri 4.0; akıllı üretim, gelişmiş üretim, entegre sanayi, endüstriyel internet, iş modelleri gibi kavramları da içermektedir (Ibarra vd., 2017, s. 4).

Endüstri 4.0'ın özellikleri; izleme, birlikte çalışabilirlik, kontrol, gerçek zamanlı bilgi işleme ve özelleştirme, enerji tüketimi, esneklik ve malzemelerin ileri-geri akışı olarak ifade edilmektedir (Rajput & Singh, 2019, s. 1717). Endüstri 4.0, fiziksel, dijital ve biyolojik unsurlar arasındaki etkileşim yoluyla gerçek ve sanal dünyaları birbirine bağlayan teknolojik yeniliklerle ilgilidir. Bu teknolojilerin yaşama, çalışma ve iletişim kurma biçimini

değiştirme, değer yaratmada değişikliklere neden olma ve şirketlerin yeni iş modeli keşif ve geliştirmeden kazanılan beceri ve yetkinliklere yatırım yapmasını sağlama potansiyeli vardır (Acioli vd., 2021, s. 989). Buna bağlı olarak, iletişim profesyonellerinin Endüstri 4.0 devrimi ile ilgili değişiklikleri yönetmeye hazır olup olmadıklarını, bu tür ihtiyaçlar arttığında yeterli becerilere sahip olup olmadıklarını ve dijital yetkinliklere güvenip güvenmediklerini araştırmak çok önemlidir (Lee & Meng, 2021). Endüstri 4.0'ın kapsamı yalnızca tedarik zinciri veya üretim süreçlerinde yer almamakta, organizasyonun, sektörün ve hatta toplumun her yönünü kapsamaktadır (Sony & Naik, 2018, s. 2220).

Endüstri 4.0 vizyonu, tek bir üretim tesisinin otomasyonu ile sınırlı değildir. Amacı; üretim, tedarik ve depolamadan nihai ürünün satışına kadar tüm temel işlevlerin dikey ve yatay entegrasyonlarını birleştirerek daha hızlı ürün geliştirme, özelleştirilmiş üretim, üretim ortamlarının gelişmiş yönetimi, daha hızlı tedarik zincirleri vb. sağlamaktır. Bu yüksek düzeyde entegrasyon, daha fazla verimlilik sağlayacak yeni teknolojilerle birleştiğinde, dijitalleşme, teslimat ve kullanıcılar için net karar önerileri dahil olmak üzere çeşitli zorluklarla başa çıkan duyarlı ve tahmine dayalı üretim sistemlerinde ve iş süreçlerinde yüksek düzeyde şeffaflık sağlamaktadır (Nikolic vd., 2017, s. 0797). Endüstri 4.0, önceki birçok sanayi devrimi gibi, ileri teknolojilerden etkilenebilecek çok çeşitli sektörler için açıktır. Verilere dayanan herhangi bir işletme, karar vermek için Endüstri 4.0'dan etkilenecektir (Bahadori, 2021, s. 1038). Şeffaflık, verimlilik, hızlı karar alma gibi özellikleri sunması yeni endüstriyel devrimi cazip hale getirmektedir.

Yeni bir endüstriyel model olan Endüstri 4.0, örgütlenmeye özgü ve tam otomatik, öğretici ve etkileşimli üretim sistemlerinin yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Dijital ve internet teknolojilerini ifade eden bu modelde insanın rolü, modern endüstri uzmanlarından yeni yeterlikler gerektiren ve sosyal değişimlerin eşlik ettiği başlangıç, kontrol ve teknik bakımlarla sınırlı olmaktadır. Şekil 1.1'e göre Endüstri 4.0 modelinde insan (endüstri uzmanı), üretim sisteminin dışındadır. Bu sistem, Şekil 1.1'de, farklı geometrik şekillerle gösterilen fiziksel nesnelerin (FO1, 2,..., n) sadece üretim sistemindeki heterojen fiziksel nesneler arasındaki etkileşimin (Şekil 1'de çift yönlü oklarla gösterilmiştir) olasılığını ve gerekliliğini yansıtan biçim ve boyuttadır. Fiziksel nesneler, sanayide kullanılan üretim ekipmanıdır (Popkova vd., 2019, s. 7-8).



Şekil 1. Yeni Bir Endüstriyel Model Olarak Endüstri 4.0 (Source: Popkova vd., 2019, p. 7.)

3. Endüstri 4.0 Bileşenleri

Endüstri 4.0 projesine destek veren konsept; müşteriler, tedarikçiler, tedarik zincirinin diğer üyeleri ve değerli paydaşlar ile veri alışverişinde bulunmak için bilgi ve iletişim sistemi ile birbirine bağlı otomatik üretim sistemi ve robotiklerin kullanılmasıdır. Böylece makineler, insanlar ve kaynaklar birbirleriyle etkileşime

girebilir. Endüstri 4.0 üç temele dayanmaktadır: Siber-Fiziksel Sistemler, Nesnelerin İnterneti ve Hizmetlerin İnterneti (Lödding vd., 2017, s. 40). Gelişen teknolojilerin üretim modelleri, yaklaşımlar, kavramlar ve hatta işletmeler üzerinde oyunun kurallarını değiştiren etkileri olabilir. Üç ana gelişmiş üretim teknolojisi olarak Akıllı Üretim, Nesnelerin İnterneti (IoT) Özellikli Üretim ve Bulut Üretimi gösterilmektedir (Zhong vd., 2017, s. 617-618). Endüstri 4.0 alanında üretim senaryoları ve ortaya çıkan/gelişen teknolojiler, dijital tasarım ve üretim, araştırmacıların ve endüstrinin karşılaştığı zorluklar incelenmektedir. Bu teknolojilerin örnekleri; Ekllemeli İmalat, Siber Fizik Sistemler (CPS), Büyük Veri gibi Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT), Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay zekâ (AI), Dijital İkiz (Digital Twin) ve SMAC (Sosyal, Mobil, Analitik, Bulut) ve Smart gibi ürün ve tasarım teknolojisi Akıllı Ürünler, Kullanıcı Deneyimi (UX) ve İnsan Merkezli Tasarım (HCD) olarak gösterilmiştir (Qin & Cheng, 2017, s. 1047).

Araştırmacılar ve şirketler, Endüstri 4.0 konsepti ve vizyonları hakkında farklı bakış açılarına sahiptir ancak gelecekteki üretim vizyonuna hitap eden ana yönler hakkında fikir birliği vardır. Bunlar; akıllı fabrika, akıllı ürünler, iş modelleri ve müşterilerdir (Pereira & Romero, 2017, s. 1208). Endüstri 4.0, temel olarak birkaç yenilikçi teknolojiye dayanmaktadır. Tasarım ve imalatta modelleme, simülasyon ve sanallaştırma; ürün geliştirme ve kullanımının tüm aşamalarında bilgiyi dijitalleştirmek ve çeşitli sistemleri entegre etmek için bilgi ve iletişim teknolojisi (BİT); makineleri, sistemleri, iş ürünlerini ve insanları birbirine bağlayan kablosuz ve internet teknolojilerini içeren ağ iletişimi; robotlar, akıllı araçlar ve artırılmış gerçeklik dahil olmak üzere insan işçiler için daha fazla BİT tabanlı destek; fiziksel süreçleri ve sistemleri izlemek ve kontrol etmek için BİT kullanan siber-fiziksel sistemler; gömülü sensörler ve akıllı robotlar olarak ifade edilmektedir (Wang & Wang, 2016, s. 5). Bahsedilen literatürle birlikte Endüstri 4.0'ın pek çok bileşene sahip olduğu görülmektedir. Bu bileşenlerin birbiriyle uyumu ve bütünleşmesi sağlandığında süreç başarılı bir şekilde yürütülebilmektedir. Aşağıda, sırasıyla Endüstri 4.0 ile ilgili yaygın olarak ifade edilen bileşenlere yer verilmiş ve kısaca açıklanmıştır.

3.1. Büyük Veri

Büyük veri; toplumsal medya paylaşımları, ağ günlükleri, bloglar, fotoğraf, video, log dosyaları gibi değişik kaynaklardan toparlanan yapısal olan veya olmayan tüm verinin, anlamlı ve işlenebilir hale dönüştürülmüş şekli olarak tanımlanmaktadır (Akbaba; 2018, s. 10). Büyük veri, firmaların bulundurması gereken sunucu (server) ihtiyacını azaltmakta, üretim için gerekli bilgiye ulaşmayı ve bilginin kamusal niteliğinin de görünür olmasını sağlamaktadır. Böylelikle şirketler maliyet avantajı elde etmektedir. Büyük veri sistemlerinin internet erişimine açık olması, bu platformların siber güvenliğinin de önemini artırmaktadır (Erçağ, 2017, s. 25). Büyük veri analitiği, son kullanıcıların tercihlerini belirlemek, teknolojik etkinleştiricilerin davranışlarını daha iyi anlamak veya verilerin birleştirilmiş ve istatistiksel işlenmesinden türetilen sorunları ilişkilendirmek gibi endüstriyel kuruluşların tüm katmanlarındaki verileri değerlendirmek için birçok fırsat sunmaktadır (Raptis vd., 2019, s. 97075). Büyük veri, şirketin stratejik kararlarını ve risklerini yönetebilmesi açısından Endüstri 4.0 bileşenleri arasında önemli bir konumda yer almaktadır.

3.2. Nesnelerin İnterneti

İlk olarak Kopetz (2011) tarafından kullanılan Nesnelerin interneti (IoT - Internet of Things), bir işyerinde ya da fabrikada elde edilen verilerin toplanması, çoğaltılması ve organize edilmesini ifade etmektedir. Nesnelerin interneti, süreç kontrollerini hızlandıran bağlantısız bir veri yönetimi içermektedir. Bu platform, büyük veri (big data)'den yararlanarak ve siber fiziksel sistemleri harekete geçirerek bilginin dönüştürülmesini mümkün kılmaktadır (Erçağ, 2017, s. 24). Bulut bilişim, veri analitiği, makine öğrenimi ve yapay zekâ ile Nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin kullanımının küresel ekonomiye büyük kazanç getireceği beklenmektedir. Bunu sağlayan teknoloji, yeni analitik yöntemler de dahil olmak üzere dijital alan ile tesisin fiziksel alanı ve tedarik zinciri arasındaki köprüyü sağlayan IoT'dir. 2013'teki başlangıcından bu yana Endüstri 4.0, IoT'nin gelişmiş akıllı üretim için etkinleştirici merkezi kilit rolü kabul etmiştir (Tuftuk & Hailes, 2018, s. 93).

3.3. Bulut Bilişim

Bulut; ölçeklenebilir ve hesaplanabilir bilgi iletişim teknolojileri (BİT) kaynaklarına uzaktan erişilmesi amacıyla tasarlanmış ayrı bir bilişim teknolojileri ortamı olarak tanımlanmaktadır. Küme ve yığın anlamında kullanılmaktadır (Akbaba, 2018, s. 17). Bulut üretiminde çeşitli üretim kaynakları ve kapasiteler akıllıca

algılanabilir ve buluta bağlanabilir. Farklı kullanıcılar, sanal bir üretim ortamı veya platform aracılığıyla nitelikli hizmetleri arayabilir, erişebilir ve çağırabilir (Zhong vd., 2017, s. 617).

Bulut bilişim veya işlevsel anlamıyla çevrim içi bilgi dağıtımı; bilişim aygıtları arasında ortak bilgi paylaşımını sağlayan hizmetlerdir. Bilgisayarlar ve diğer cihazlar için istenildiği zaman kullanılabilir ve paylaşımlı veri işleme, depolama vb. yüksek işlem gücüne sahip internet tabanlı yapılandırılabilir bilişim hizmetlerinin genel ifadesidir. Bulut bilişim sistemleri sayesinde daha çok bilgiye ulaşılması ve üretim sistemlerinde bilgiye bağlı hizmetlerde verimlilik artışının mümkün olması beklenmektedir (Demirkol & Özcan, 2018, s. 281-282). Bulut üretimi, üretim kaynaklarını, yetenekleri ve verileri üretim hizmetlerine dönüştürmekte, bu faaliyetlerin tam paylaşımını ve dolaşımını sağlamaktadır. Oldukça karmaşık olan otomasyon sistemlerinin kurulması için büyük insan çabası gerekmektedir ve bulut hizmetleri; tedarik zinciri, zaman ve maliyetleri büyük ölçüde azaltabilir (Raptis, vd., 2019, s. 97078).

3.4. Siber-Fiziksel Sistemler

Siber-fiziksel Sistemler (CPS), fiziksel varlıkları ve hesaplama yetenekleri arasında birbirine bağlı sistemleri yönetmek için dönüştürücü teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Sensörlerin, veri toplama sistemlerinin ve bilgisayar ağlarının daha yüksek kullanımı ve satın alımı ile sonuçlanan son gelişmelerle birlikte, güncel endüstrinin rekabetçi doğası, daha fazla fabrikayı yüksek teknoloji metodolojilerini uygulamaya geçirmeye zorlamaktadır. Ayrıca CPS'yi mevcut endüstriyel uygulamalarda üretim, lojistik ve hizmetler ile entegre ederek, günümüz fabrikalarını önemli ekonomik potansiyele sahip Endüstri 4.0 fabrikasına dönüştürecektir (Lee vd., 2015, s. 18).

Siber-fiziksel sistemler, siber-uzay (bilgi işlem ve iletişim altyapısı) ile dünya (gerçek sistemler) arasında fiziksel verilerin sıkı bir entegrasyonunu sağlayan yeni nesil otomatik sistemlerdir. Akıllı şebeke, otonom sürüş, sağlık hizmetleri, endüstriyel süreç kontrol sistemleri, robotik ve havacılık CPS'nin çok sayıda örneklerinden birkaçıdır. Endüstri 4.0'da CPS'nin çeşitli izleme ve çalıştırma için yoğun olarak kullanılması beklenmektedir (Chhetri vd., 2018, s. 54). Siber-fiziksel Sistemler (CPS), gömülü yazılım ve bilgi işlem gücüne sahip basit fiziksel nesnelere. Endüstri 4.0'da üretilen ürünlerin daha çok akıllı ürünler olarak CPS olması beklenmektedir (Almada-Lobo, 2015, s. 17). Bir fabrikadaki değer yaratma modülü, gömülü bir Siber-fiziksel Sisteme karşılık gelmektedir. Takım tezgâhları veya montaj aletleri, ürünler veya insanlar gibi üretim ekipmanlarını değer yaratan faktörlere tanımlamak ve lokalize etmek ve ayrıca üretim süreçlerini izlemek için sensör sistemleri kullanılmaktadır (Stock & Seliger, 2016, s. 539). Bulut teknolojileri tarafından desteklenen sistemler, Endüstri 4.0 alanında yeni yaklaşımları beraberinde getirmiştir.

3.5. Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar

3 Boyutlu ya da 3D olarak da ifade edilen yazıcı, dijital 3 boyutlu bilgisayar verilerini elle tutulabilecek gerçek nesnelere dönüştüren bir makine olarak tanımlanmaktadır. Elektronik parçalar ve motorlar dışında neredeyse bütün mekanik parçalar 3D yazıcı tarafından basılabilmektedir (Ege Bölgesi Sanayi Odası, 2015, s. 10). Üç boyutlu yazıcıların avantajları arasında; bilgisayar ortamında çizimi yapılabilen her çeşit ürünün kısa sürede somut nesnelere dönüştürülebilmesi, geleneksel yöntemlerle yapılan üretim esnasındaki frezeleme, tormalama, talaş temizleme gibi emek gerektiren işler ve ihtiyaç duyulan makinelerin ve teçhizatın ortadan kalkması, karmaşık yüzey geometrisine sahip tasarımların rahatlıkla gerçek nesnelere dönüştürülebilmesi, kişiye özel ürünlerin üretimi, bulut tabanlı üretimle sipariş veren firma/kişinin talebinin otomatik algılanması, ürünü yazıcıdan çıkmasıyla teslim hazır hale getirmesi, zaman tasarrufu sağlaması ve üretim maliyetlerini düşürmesi yer almaktadır (Akbaba, 2018, s. 25). 3D baskının bazı uygulamaları, hızlı prototipleme, talep üzerine parça baskısı, kişiselleştirilmiş 3D baskı (örneğin tıbbi amaçlar için) ve kırık parça değiştirmedir (Cohen vd., 2019, s. 3569).

3.6. Otonom Robotlar

Otomasyon ile ilişkilendirilen ilk kavram robotlardır. Robotlar, belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma ile kendilerine çeşitli işler yaptırılabilen otomatik araçlar olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu [TDK], 2022). Günümüzde robotların en yaygın kullanıldığı alan endüstriyel üretimdir. Özellikle otomotiv endüstrisinde çok sayıda robot kullanılmaktadır. Robotlar, üretimin farklı süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstri 4.0'ın sunduğu imkanlarla robotlar daha özerk, esnek ve işbirlikçi dizayn edilmektedir. Birbirleriyle iletişim kurmaya programlı ve insanlarla çalışmaya elverişli şekilde üretilmektedir (Mohamad vd., 2018, s. 2204).

3.7. Sistem Entegrasyonu

Şirketler, tedarikçiler ve müşteriler birbiriyle çok yakından bağlantılıdır ancak mühendislik, üretim ve servis gibi bölümlerde bağlantı kısıtlıdır. Endüstri 4.0 ile şirketler, departmanlar, fonksiyonlar ve yetenekler, evrensel veri entegrasyon ağları geliştikçe ve gerçekten otomatik değer zincirleri sağladıkça bilgisayar destekli sistemlerin daha uyumlu hale getirilmesi sağlanmaktadır (Rüßmann vd., 2015, s. 3-4). Sistem entegrasyonu birden fazla sistemin bir araya getirilerek tek bir sistem olarak çalışmalarını mümkün kılmaktadır. Sistem mevcut birçok sistemin birbirleri ile entegrasyonunu içermektedir (Wikipedia, 2022). Üretim sistemleri, gelecekteki durumlarda nasıl davranacaklarını bilmeleri için makinelerin mevcut davranış kalıplarını benimsediği kalıp tanıma tekniğini kullanarak öğrenmektedir. Bu şekilde üretim sistemleri, tüm üretim ortamında gelecekteki olayları tahmin etme özelliklerine sahip akıllı sistemler haline gelmektedir (Nikolic vd., 2017, s. 0797).

3.8. Akıllı Üretim

Akıllı üretim sistemi, Endüstri 4.0 çağında akıllı üretimi mümkün kılmak için en son teknolojileri tam olarak kullanarak tasarım, üretim, kontrol ve karar vermeyi entegre eden geniş bir üretim paradigması olarak tanımlanmaktadır. Akıllı tasarım; CAD gibi tasarım yazılımları, CPS ve AR ile entegre 3D baskı sayesinde gerçek zamanlı olarak fiziksel akıllı prototip sistemleriyle etkileşime girebilmektedir. Akıllı işleme; Endüstri 4.0'da akıllı robotlar ve diğer çeşitli akıllı nesnelere yardımcıyla sağlanabilir. Akıllı izleme; çeşitli sensör türlerinin yaygın olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Akıllı kontrol; son kullanıcıların akıllı telefonları aracılığıyla bir makineyi veya robotu kapatmasını sağlamaktadır. Kararlar daha sonra robot tabanlı montaj hatları veya akıllı makineler gibi ön saflardaki üretim sahalarına zamanında yansıtılabilir. Akıllı zamanlama; temel olarak sensörlerden yakalanan verilerden yararlanmak için gelişmiş modeller ve algoritmalar içermektedir (Zhong vd., 2017, s. 2).

3.9. Artırılmış Gerçeklik ve Karma Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik, sanal nesnelere kullanılarak zenginleştirilmiş gerçek dünyalar olarak ifade edilmektedir. Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin yaygın kullanımı olarak giyilebilir teknolojiler öne çıkmaktadır (Erbaş & Demirel, 2014, s. 8-9). Artırılmış gerçeklik, artırılmış bir ortam yaratarak gerçek dünyadaki gerçek nesnelere birlikte var olmak ve etkileşim kurmak için sanal nesnelere gömerek kullanıcıların gerçek dünya deneyimini geliştirir. Google Glass'da veya diğer medya türlerinde verilen montaj talimatları, montaj atölyelerine şimdiden girmeye başlamıştır (Cohen vd., 2019, s. 3569). Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyayı sanal objelerle güçlendirmeyi hedeflemekte ve bir kameraya ihtiyaç duymaktadır. Sanal gerçeklik ile artırılmış gerçekliğin en iyi özelliklerini bir araya getirmeyi amaçlayan karma gerçekliktir. Karma gerçeklik sayesinde gerçek dünyaya paralel olarak, görülen sanal içeriklerle de etkileşim haline girmek mümkündür. Sadece sanal objelerin ve görüntülerin gerçek dünya üzerinde görüntülenmesi değil, aynı zamanda gerçek dünyaya ait görsel ve verilerin sanal dünyalar içerisinde yer alması sağlanabilmektedir (Avcı & Taşdemir, 2019, s. 71-72).

3.10. Simülasyon

Ürünlerin üretim aşamasında üç boyutlu simülasyonlar kullanılmaktadır. Endüstri 4.0'a konu olacak sanal modellerde, makineler ve ürünlerin insanlarla birlikte sanal gerçekliği oluşturması amaçlanmaktadır. Bu sayede birçok şey simülasyonla yapılabilir hale gelmektedir. Ürünün üretim aşamaları tasarlanarak projeler üzerinde testler yapılmaktadır. Kurulması planlanan fabrikaların simülasyon ortamında test edilerek en verimli şekilde kurulması sağlanmaktadır. Ürünlerin hammaddeden son sürece kadar simülasyonu oluşturularak hazırlık süreleri kısa hale getirilmektedir (Genç, 2018, s. 28-29).

Geleneksel simülasyon teknolojileri çoğunlukla tasarım ve mühendislik aşamalarında kullanılırken, geleceğin fabrikalarında çok disiplinli simülasyonun her alanda uygulanması planlanmaktadır. Bu durum "eş zamanlı simülasyon" olarak adlandırılmaktadır. Esnek eş zamanlı simülasyon konseptine dayalı olarak gerçek üretim hattındaki ürün, bağlama ekipmanları, kaynak makineleri, robot kolları gibi tüm bileşenlerin dijital bir temsili gerekmektedir (Çelen, 2017, s. 16-17).

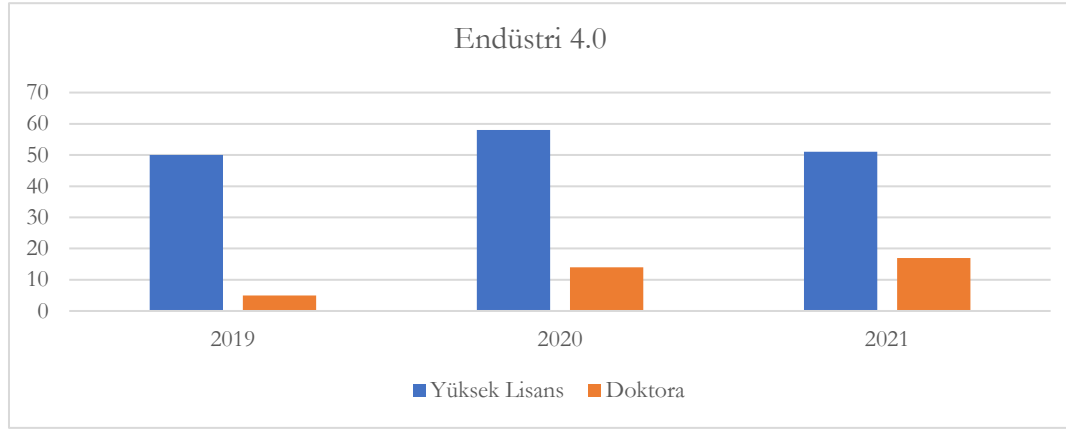
3.11. Akıllı Fabrikalar

Akıllı fabrika; tüm süreçlerin otomasyon kullanılarak ve sürecin kendi kendine iyileşmesinin mümkün olduğu makine ve ekipman temelli bir işletme ortamını ifade etmektedir (Şekeli & Bakan, 2018, s. 205). Akıllı

fabrika, içeriğe duyarlı insanlara ve makinelere görevlerini yerine getirmelerinde yardımcı olan fabrikalardır. Fiziksel sistemlerin nesnelerin interneti üzerinden iletişim kurduğu, insanlara ve makinelere yardımcı olduğu bir fabrika olarak tanımlanmaktadır (Hermann vd., 2015:10). Entegrasyon, yeni sanayi devrimini ele alan sayısallaştırmanın, esnek yapıların ve akıllı çözümlerin kullanımından oluşan çeşitli gelişmelerden kaynaklanan kilit yönlerden biridir. Bu üretim çözümleri, tüm değer zinciri boyunca akıllı bir ortamın yaratılmasına izin vererek esnek ve uyarlanabilir süreçlerin performansını mümkün kılmaktadır (Pereira & Romero, 2017, s. 1209). Akıllı fabrikalar; nesnelerin endüstriyel interneti, akıllı endüstri veya gelişmiş üretim olarak bilinen teknolojik gelişmelerle büyük ölçüde örtüşmektedir (Senvar & Akkartal, 2018, s. 52).

4. Türkiye’de Yürütülen Endüstri 4.0 Araştırmaları

Literatür çalışmalarına bakıldığında son yıllarda Türkiye’de Endüstri 4.0 kavramına artan ilginin mevcut olduğu görülmektedir. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi’nden elde edilen bilgilere göre 2019-2021 arasında içeriği “Endüstri 4.0” olan tez sayıları aşağıdaki grafikte yer almaktadır:



Şekil 2: Endüstri 4.0 Hakkında Yapılan Lisansüstü Çalışma Sayıları

Yukarıdaki grafiğe göre; 2019 yılından itibaren Endüstri 4.0 hakkında yapılan doktora tez sayısında artış gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmaların toplamına bakıldığında 163 adet Yüksek Lisans ve 33 adet Doktora çalışması tespit edilmiştir. Çalışmaların ağırlıklı kısmı (73 çalışma) İşletme Ana Bilim Dalı’nda yürütülmüştür (Yükseköğretim Kurulu [YÖK], 2022). Ekonomi, Endüstri Mühendisliği, Bilim ve Teknoloji, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri bölümleri diğer başlıca ana bilim dallarını oluşturmaktadır.

Dijital toplum, dijital çağ, dijital eğitim ve yeterlilikler hakkında yürütülen çalışmada, dijital dönüşüm sürecinde önceliğin insan ve sonraki odak noktaların sırasıyla süreç tasarımı ve dijital teknolojilerin olması gerektiğini vurgulanmıştır (Bozkurt vd., 2021). Endüstri 4.0 bilgi düzeyinin inovasyon çalışmalarını nasıl ve ne düzeyde etkilediğine yönelik çalışmada, Endüstri 4.0 farkındalığı ve inovasyon alt boyutları arasında pozitif yönlü ilişki belirlenmiştir. Buna göre Endüstri 4.0 farkındalığı, inovasyonu orta düzeyde etkilemektedir (Çetinkaya, 2021). Endüstri 4.0 hakkında 2017 yılından itibaren sistematik yayın taramasını içeren çalışma mevcuttur (Karadayı-Usta, 2021).

Çalışanların, dijital dönüşüm gereklerini etkin hale getirebilmesi ve kurum için faydalı hale gelebilecek şekilde dönüşümü yönetebilmesini incelemek amacıyla farklı sektörlerde dijital dönüşüm örneklerine yer verilmiştir (Kosif-Kurtulmuş, 2019). Kurumlarda, dijital dönüşüm ve stratejik karar alma etkileri, dijital dönüşüme entegre sistemler, yeni teknolojiler ve stratejik yönetim alanı incelenmiştir (Uçansoy, 2019). Dijital dönüşüm odaklı olgunluk modeli oluşturmak amacıyla beş boyutlu olgunluk modeli geliştirilmiştir. Liderlik, strateji, insan kaynakları, ortaklar ve kaynaklar, ürün, süreç ve hizmetler modelin boyutlarını oluşturmaktadır. Dijital dönüşümün lider davranışlarına etkisi incelenmiştir (Kapucu, 2020). Dijital dönüşümde değer zinciri analizi kullanılarak otomotiv ve üretim sektörü için model geliştirilmiştir (Sert, 2020). Çalışanların dijital dönüşüm sürecinde değişikliğe açıklığı ve liderlik tarzları incelenmiştir (Sönmez, 2019). Örgütsel bağlılığın dijital dönüşüme direnç etkisinde liderliğin rolü, değişime açıklık ölçeği kullanılarak araştırılmıştır (Odabaşı, 2020). Dijital dönüşüm çağında fonksiyon bazında yönetici kararlarının otomasyona geçişinin incelendiği araştırma mevcuttur (Uslu, 2019).

Küçük ve orta ölçekli işletmelerde dijital dönüşüm modeli ve teknoloji kullanımı incelenmiştir (Dündar, 2020; Öztürk, 2019). Sanayi bölgesinde yer alan işletmelerde dijital dönüşüm farkındalık ve algı düzeyleri

incelenmiştir. Çalışmada, Türkiye’de sanayileşme süreci ve dördüncü sanayi devrimi alanında yapılan akademik çalışmalar yer almaktadır (Metin, 2019). Sanayi kuruluşlarına yönelik Sanayi 4.0 alanında çalışma yürütülmüştür (Dökme, 2020). Endüstri 4.0 sürecinde dijital dönüşüm, insan kaynakları alanında mesleki yeterlikler üzerinden incelenmiştir (Demirci, 2019). Büyük veri ile dijital dönüşümün tüketiciye yansımalarını inceleyen araştırma mevcuttur (Konya, 2019). Dijital şirketlerin dijital dönüşüm engelleri üzerine araştırma mevcuttur (Üstdağ, 2020). Dijital dönüşüm, iş modelleri dahil edilerek Kuşak Yol Projesi üzerinden incelenmiştir (Almaier, 2019). Dijital dönüşümün ekonomik büyümeye etkisi bilgi teknolojileri ve bilgi toplumu üzerinden incelenmiştir (Pakdemirli, 2016).

Öğretmenlerin dijital dönüşümden yararlanma düzeyleri, teknoloji farkındalığı boyutu, eğitimde dijital dönüşüm teknolojilerini kullanma düzeyleri ve dijital dönüşüme yönelik genel yaklaşımları ölçülmüştür (Yılmaz, 2020). Değişim yönetimi açısından dijital dönüşüm ve teknolojik okunabilirlik incelenmiştir (Dağlı-Kaya, 2020). Dijital dönüşümde öğretim elemanlarının yetiştirilmesi ve geliştirilmesi üzerinde araştırma mevcuttur (Özbek-Akgün, 2019). Turizm, reklamcılık, depolama operasyonları, bankacılık, telekomünikasyon, havacılık ve yerel yönetimler gibi farklı alanlarda dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 çalışmaları yürütüldüğü gözlemlenmiştir (Aygün, 2020; Bostan, 2020; Çelik, 2016; Çeşit, 2019; Özkaya, 2018; Polat- Savıcı, 2019; Turan, 2020; Yavuz, 2020). Yapılan araştırmalardan hareketle Endüstri 4.0’ın oldukça geniş bir alanda yürütüldüğü görülmektedir.

4.1. Model Fabrikalar

Türkiye ekonomisinde verimlilik artışının düşük olmasının nedenleri arasında küçük firmaların büyüme motivasyonlarının sınırlı kalması ve ölçek ekonomilerinden yeterince yararlanamamaları, işletmeler arası etkileşimin zayıflığı sonucunda değer zincirlerinin gerekli ölçüde güçlenememesi, teknoloji geliştirme ve kullanım kapasitesinin yetersiz kalması ve iş gücü niteliğinin ortalamada düşük olması yer almaktadır. Bu nedenle verimlilik algısını geliştirme çalışmaları yanında, kurumsallaşmanın artırılması, üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve ölçek sorunlarının azaltılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi planlanmaktadır (Özkara & Karakaya, 2017, s. 4).

Türkiye’de Uygulamalı Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) Yetkinlik Merkezi diğer adıyla Model Fabrika, işletmelerde gerçekleşen operasyonel süreçlerin en iyi hale getirilmesine yönelik deneysel öğrenme tekniklerinin kullanılarak, ölçeklenebilir bir şekilde yaygınlaştırılmasını sağlayan bir araç olarak tanımlanmaktadır. Fabrikalar, bu öğrenme tekniklerini kullanarak teori ve pratiği birleştirmeleri ve bu sebeple yetkinlik kazanımlarını kalıcı hale getirmeleriyle diğer merkezlerden ayrılmaktadır.

Model Fabrika projesi; Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) iş birliğiyle uygulanmaktadır. Projenin sonunda, Türkiye’de Model Fabrika kurmak ve işletmek için uygun modellerin tespit edilmesi ve fabrikanın işlevsel hale getirilmesi için gereken çalışmaların ve analizlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Hedef kitle ise KOBİ’lerden oluşmaktadır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı [UNDP], 2022). Model fabrikaların vizyonu; bölgedeki ve ildeki işletmelerin hedeflenen zaman içerisinde yalın felsefeyi benimsemeleri ve kendi bünyelerinde uygulamalarını sağlamaları, bununla birlikte yalın dönüşüm ile dijitalleşmiş işletmelerin dünyada öncü ve örnek işletmeler haline gelmesidir (Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi [MTOSB], 2021). Bu bağlamda model fabrikalar, Endüstri 4.0’ın amacına hizmet etmektedir.

Model fabrika yaklaşımının temelinde, imalat sanayiinde faaliyet gösteren KOBİ’lere “yalın” üretim yöntemlerinde teorik eğitim ile uygulamalı deneyimi birleştirme fırsatını sağlamak yatmaktadır. Model fabrikalarda tam donanımlı bir üretim hattı mevcuttur ve katılımcılar, sektör uzmanlarının gözetimi altında, farklı yöntemler ve araçların kullanılmasını tecrübe edebilmektedir. UNDP, ayrıca istihdam olanakları yaratmak için doğrudan işverenler ve işçilerle birlikte de çalışmaktadır. Örneğin, KfW finansmanı ile sağlanan beceri eğitimi ve küçük işletme desteği yoluyla UNDP; Ankara, Kayseri ve Konya’da Suriyeli ve Türk vatandaşı 2.000 kişi için istihdam yaratmıştır. Model Fabrikalarda sağlanan eğitim ve danışmanlık hizmetleri sayesinde yüzde yüze (%100) varan verimlilik artışı sağlanmıştır. 2019-2023 yıllarını kapsayan On Birinci Kalkınma Planı’nda model fabrika sayısının 14’e çıkarılması hedeflenmiştir. Fabrika örnekleri, 2015 yılında Ankara’da, sanayi ve ticaret odaları ile üniversitelerin katıldığı yenilikçi kamu-özel ortaklığı olarak başlamış ve bugüne kadar Adana, Bursa, Gaziantep, İzmir, Kayseri, Konya ve Mersin’i de kapsayacak biçimde genişletilmiştir (UNDP, 2022).

Model Fabrika eğitimci havuzunun genişletilmesi amacıyla Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı aracılığıyla Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ve Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü (TUSSİDE)'ne bağlı "Model Fabrika Eğitimci Yetiştirme Programı" hayata geçirilmiştir (Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu, 2022). Programın amacı, Ankara, Bursa, Konya, Kayseri, Gaziantep, Mersin ve Adana'da yer alan Model Fabrikalar'da eğitimci havuzunda yer almasını sağlamaktır (TUSSİDE, 2022).

5. Dünya'da Yürütülen Endüstri 4.0 Araştırmaları

Dördüncü Sanayi Devrimi, fiziksel, dijital ve biyolojik dünyaları bir araya getiren giderek daha karmaşık teknolojilerin çoğalmasıyla karakterizedir (Marivate vd., 2021, s. 14). Endüstri 4.0'ın tasarım, üretim, pazarlama, satış ve dağıtım sistemleri alanlarında tüm endüstrilerde derin değişim yaratması beklenmektedir. Birçok ülke endüstri devrimini karşılamak için ulusal stratejiler hazırlamakta ve uygulamaktadır. Örneğin; Almanya, siber-fiziksel sistemler, IoT ve bulut bilişim dahil olmak üzere üretim teknolojilerinde otomasyonu ve veri alışverişini teşvik etmek için bir plan olan "Endüstri 4.0"ı başlatmıştır. ABD, "Ulusal Stratejik Plan"ı kabul etmiştir. Kore, imalat sektöründe ve endüstride inovasyon için zemin hazırlayan "Manufacturing Industry Innovation 3.0"ı tanıtmıştır (Hyun Park vd., 2017, s. 935-936). Çin, ülkenin kendisini nicelik üreticisinden kaliteli bir üreticiye dönüştürmeyi planladığı "Made in China 2025"i duyurmuştur. "Made in China 2025" 2015'te ortaya çıkmıştır ve teknolojik gelişmeyi yükseltmek ve hızlandırmak, üretim stratejilerini diğer düşük işgücü maliyetli ülkelere gelen rekabetleri uyarlamak için yeniden yapılandırmak ve Çin markalarını tanıtmaya amacı taşımaktadır (Yang & Gu, 2021, s. 1320).

Avrupa Birliği'nin dijital performansına ilişkin göstergelerini özetleyen ve AB ülkelerinin ilerlemesini takip eden "Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI)" mevcuttur. DESI 2021 Avrupa Komisyonu, 2014 yılından bu yana Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) raporları aracılığıyla üye devletlerin dijital ilerlemesini izlemektedir (Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi [DESI], 2021). Avrupa ülkeleri birbirleriyle kıyaslandığında, Endüstri 4.0 kalite unsurlarının farklı yönetilebilirliğe sahip olduğu belirlenmiştir. En yönetilebilir unsurun bilgi transferi, en az yönetilebilir unsurun yazılım korsanlığı olduğu saptanmıştır. Doğu Avrupa ülkelerinde öncelikli amacın küreselleşme, ekonomik özgürlük, ekonomiye yatırım akışı olduğu gözlemlenirken; Batı Avrupa ülkelerinde öncelikli amacın ekonomik özgürlük, kurumsal sorumluluk ve küreselleşme olduğu saptanmıştır (Matytsin & Rusakova, 2021, s. 1076-1077).

Almanya, ABD ile "Endüstriyel İnternet Konsorsiyumu", Fransa ile "Alliance Industrie du Futur", Japonya ile "Robot Revolution Initiative" ve Çin ile iş birliği yapmaktadır. Japonya, Mitsubishi Electric, Fujitsu, Nissan Motor ve Panasonic dahil olmak üzere otuz şirketiyle, 2015 yılında bir endüstriyel değer zinciri girişimi başlatmıştır. 2019 yılında, "Toplum 5.0" kavramını oluşturulmuştur. "Toplum 5.0"ın temel konsepti; siber uzayda insanları, nesnelere ve sistemleri entegre etmektir (Yang & Gu, 2021, s. 1318- 1319). 2011 yılında ABD, endüstriyi, akademisyenleri ve federal hükümeti bir araya getirmeyi amaçlayan Advanced Manufacturing Partnership'i başlatmıştır. Program, yüksek kaliteli üretim yaratmak ve küresel rekabet gücünü artırmak için gelişen teknolojilere odaklanmıştır (Bonvillian, 2013). Dijital dönüşüme uyum sağlamak amacıyla yapılan planlamalarda özellikle gelişmiş ülkelerin önde geldiği görülmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Dördüncü Sanayi Devrimi olarak ifade edilen Endüstri 4.0 kavramı hakkında bilgi verilmiştir. Tarım ve sanayi alanında gerçekleşen köklü değişimler beraberinde Dördüncü Sanayi Devrimi'ni getirmiştir. Endüstri 4.0, dijital dönüşümü elde etmek için makinelerin birbirleriyle iletişime geçebildiği, iş birliği yapabildiği ve üretimi sağlamayı hedefleyen bir süreçtir. Dördüncü Sanayi Devrimi, devlet ve özel sektör politikalarının sürdürülebilirlik, maliyet avantajı, büyüme ve istihdam beklentileri; çevre şartlarının değişmesi ve yeni teknolojik imkânların gelişmesi; küresel rekabet ve entegrasyon süreçlerinin hızlanması nedeniyle tüm dünya için önemli hale gelmiştir.

İncelenen kaynaklarda Dördüncü Sanayi Devrimi'nin uygulanabilmesi için belirli bileşenler yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu bileşenler; büyük veri, nesnelere interneti, bulut bilişim, siber-fiziksel sistemler, üç boyutlu yazıcılar, otonom robotlar, sistem entegrasyonu, akıllı üretim, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik, simülasyon ve akıllı fabrikalar olarak yer almaktadır. Bu kavramlar makalede kısaca açıklanmıştır.

Dijital dönüşümle birlikte yüksek rekabet ortamında yer alan şirketler ve ülkelerin Endüstri 4.0 uygulamalarını yakından takip etmesi ve uygulaması gerekmektedir. Endüstri 4.0 uygulamalarına ve hedef politika ve planlamalarına geniş çapta yer veren Almanya, Çin, Amerika gibi gelişmiş ülkelerin yanında

Türkiye'nin de yer verdiği gözlemlenmektedir. Türkiye'de "Endüstri 4.0" odaklı araştırmaların artan şekilde literatürde yer aldığı belirlenmiştir. Bunun yanında Uygulamalı KOBİ Yetkinlik Merkezi diğer adıyla Model Fabrika, işletmelerde gerçekleşen operasyonel süreçlerin en iyi hale getirilmesine yönelik deneysel öğrenme tekniklerinin kullanılarak, ölçeklenebilir bir şekilde yaygınlaştırılmasını sağlayan bir araç olması amacıyla birçok şehirde kurulmuştur. Dünya'da ise, Amerika Birleşik Devletleri, "Ulusal Stratejik Planı"nı, Güney Kore, Manufacturing Industry Innovation 3.0'ı, Çin, "Made in China 2025"i Dördüncü Sanayi Devrimi çerçevesinde ülke politika ve hedeflerine eklemiştir.

Çalışma kapsamında Endüstri 4.0 hakkında kavramsal çerçeveyi oluşturmak ve literatürün mevcut durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır. Gelecek araştırmalar, tarihsel olarak daha kapsamlı ve farklı veri tabanlarını içeren makalelerle yürütülebilir. Daha sonraki çalışmalarda işletmeler de dahil edilerek eğitim, yönetim, toplumsal alandaki sorunlar ortaya konabilir. Bu sorunlara ve eksikliklere yönelik öneriler geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Acioli, C., Scavarda, A., & Reis, A. (2021). Applying Industry 4.0 Technologies in the COVID–19 Sustainable Chains. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2020-0137>
- Aimaier, Y. (2019). *Kuşak yol projesine türk firmaların bakış açısı ve dijital dönüşüm: bir araştırma* [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Akbaba, A. İ. (2018). *Dördüncü endüstri devrimine geçiş sürecinde üç boyutlu yazıcı kullanımının teknoloji kabul modeliyle ölçülmesi: otomotiv endüstrisinde bir araştırma* [Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 Revolution and The Future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of innovation management*, 3(4), 16-21. https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003
- Avcı, A. F., & Taşdemir, Ş. (2019). Artırılmış ve Sanal Gerçeklik ile Periyodik Cetvel Öğretimi. *Selçuk University Journal of Engineering Sciences*, 18(2), 68-83.
- Aygün, Ö. Y. (2020). *Yerel yönetimlerde dijital dönüşüm uygulamaları: trabzon ili örneği* [Yüksek lisans tezi, Avrasya Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Bettiol, M., Capestro, M., De Marchi, V., Di Maria, E., & Sedita, S. R. (2020). Industrial Districts and The Fourth Industrial Revolution. *Competitiveness Review: An International Business Journal*. <https://doi.org/10.1108/CR-12-2019-0155>
- Bonvillian, W. B. (2013). Advanced Manufacturing Policies and Paradigms For Innovation. *Science*, 342(6163), 1173-1175. DOI: 10.1126/science.12422
- Bostan, M. O. (2020). Industry 4.0 applications and digital transformation in warehouses [Master's thesis, Bahcesehir University]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Bozkurt, A., Hamutoğlu, N. B., Kaban, A. L., Taşçı, G., & Aykul, M. (2021). Dijital Bilgi Çağı: Dijital Toplum, Dijital Dönüşüm, Dijital Eğitim ve Dijital Yeterlilikler. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 35-63. <https://doi.org/10.51948/auad.911584>
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Chhetri, S. R., Faezi, S., Rashid, N., & Al Faruque, M. A. (2018). Manufacturing Supply Chain and Product Lifecycle Security in The Era of Industry 4.0. *Journal of Hardware and Systems Security*, 2(1), 51-68. <https://doi.org/10.1007/s41635-017-0031-0>
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F., & Yao, X. (2019). Design and Management of Digital Manufacturing and Assembly Systems in The Industry 4.0 Era. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3565-3577. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04595-0>
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve Simülasyon. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9-26. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/33982/376175>
- Çelik, N. (2016). *Reklamcılıkta dijital dönüşüm ve uygulamaları üzerine bir inceleme* [Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Çeşit, C. K. (2019). *Ödeme hizmetlerindeki dijital dönüşümde rekabet hukukununun rolü* [Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Çetinkaya, F. F. (2021). Endüstri 4.0 Farkındalığının İnovasyon Üzerindeki Etkisi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2), 571-598. <https://doi.org/10.18037/ausbd.959277>
- Dağlı-Kaya, Ç. (2020). *Internal marketing for organizational change an exploratory study on adoption of industry 4.0* [Master thesis, Yeditepe University]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Demirci, E. (2019). *Endüstri 4.0 sürecinde dijital dönüşüm ve sosyoekonomik yansımalar bağlamında insan kaynaklarının dönüşümü: disiplinlerarası bir yaklaşım* [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Demirkol, İ., & Özcan, S. (2018). Endüstri 4.0 ve Çağrı Merkezi Hizmetlerini Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma. *İşletme Bilimi Dergisi*, 6(3), 273-294. <https://doi.org/10.22139/jobs.476554>
- Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI). (2021). *The Digital Economy and Society Index* <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
- Dökme, S. (2020). *Sakarya dijital dönüşümüne yönelik sanayi kuruluşlarında karşılaştırmalı değerlendirme çalışması* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

- Dündar, M. M. (2020). *Kobi'lerin dijital dönüşümü* [Yüksek lisans tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Ege Bölgesi Sanayi Odası. (2015). *Endüstri 4.0*. İzmir: Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü.
- Erbaş, Ç., & Demirel, V. (2014). Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları: Google Glass Örneği. *Journal of Instructional Technologies and Teacher Education*, 3(2), 8-16. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jitte/issue/25084/264728>
- Erboz, G., Hüseyinoğlu, I. Ö. Y., & Szegedi, Z. (2021). The Partial Mediating Role of Supply Chain Integration Between Industry 4.0 and Supply Chain Performance. *Supply Chain Management: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2020-0485>
- Erçağ, G. (2017). *4. endüstri devrimi için yol haritası belirlenmesinde farklı ülke örneklerinin incelenmesi ve türkiye için model önerisi* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Erro-Garcés, A. (2019). Industry 4.0: Defining The Research Agenda. *Benchmarking: An International Journal*, 28(5), 1858-1882. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444>
- Fırat, O. Z., & FIRAT, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223.
- Genç, S. (2018). *Bir ileri teknoloji fabrikasının dördüncü endüstri devrimi'ne uyumu* [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Ghobakhloo, M., & Iranmanesh, M. (2021). Digital Transformation Success Under Industry 4.0: A Strategic Guideline for Manufacturing Smes. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8), 1533-1556. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0455>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review* [Working paper, Technische Universität].
- Hyun Park, S., Seon Shin, W., Hyun Park, Y., & Lee, Y. (2017). Building A New Culture for Quality Management in The Era of The Fourth Industrial Revolution. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(9-10), 934-945. <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1310703>
- Ibarra, D., Ganzarain, J., & Igartua, J. I. (2018). Business Model Innovation Through Industry 4.0: A Review. *Procedia Manufacturing*, 22, 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.002>
- Kapucu, H. (2020). *The effect of digital transformation on the leader behaviors: an implementation at intermediate goods industry* [Master's thesis, Bahcesehir University]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Karadayı-Usta, S. (2020). An Interpretive Structural Analysis For Industry 4.0 Adoption Challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67 (3), 973-978. DOI: 10.1109/TEM.2018.2890443
- Kazancoglu, Y. and Ozkan-Ozen, Y.D. (2018). Analyzing Workforce 4.0 in The Fourth Industrial Revolution and Proposing A Road Map From Operations Management Perspective With Fuzzy DEMATEL. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(6), 891-907. <https://doi.org/10.1108/JEIM-01-2017-0015>
- Kim, H. W., Bae, H., & Park, H. J. (2017). Classification of The Printability of Selected Food for 3D Printing: Development of An Assessment Method Using Hydrocolloids As Reference Material. *Journal of Food Engineering*, 215, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.017>
- Konya, O. (2019). *Büyük veri ile reklamda yaşanan dijital dönüşüm ve tüketiciye yansımaları* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Kosif- Kurtulmuş, F. (2019). *Kurumların dijital dönüşüm süreçlerinin incelenmesi: bir sağlık kurumu için öneri* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Lee, J. J., & Meng, J. (2021). Digital Competencies in Communication Management: A Conceptual Framework of Readiness for Industry 4.0 for Communication Professionals in The Workplace. *Journal of Communication Management*. <https://doi.org/10.1108/JCOM-10-2020-0116>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lödging, H., Riedel, R., Thoben, K. D., Von Cieminski, G., & Kiritsis, D. (Eds.). (2017, September 3-7). *Advances in Production Management Systems*. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2017, Hamburg, Germany. DOI 10.1007/978-3-319-66923-6
- Manesh, M. F., Pellegrini, M. M., Marzi, G., & Dabic, M. (2020). Knowledge Management in The Fourth Industrial Revolution: Mapping The Literature and Scoping Future Avenues. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(1), 289-300. DOI: 10.1109/TEM.2019.2963489

- Marivate, V., Aghoghovwia, P., Ismail, Y., Mahomed-Asmail, F., & Steenhuisen, S. L. (2021). The Fourth Industrial Revolution-What Does It Mean to Our Future Faculty?. *South African Journal of Science*, 117(5-6), 1-3. <https://doi.org/10.17159/sajs.2021/10702>
- Matytsin, D. E., & Rusakova, E. P. (2021). Strategy of Quality Management In Industry 4.0 and Formation Of Cognitive Economy Based on Industrial and Manufacturing Engineering in The Russian Federation and Countries of The Eu. *International Journal For Quality Research*, 15(4). DOI – 10.24874/IJQR15.04-03
- Metin, S. (2019). *İşletmelerin dijital dönüşüm (endüstri 4.0) farkındalık ve algı düzeyinin değerlendirilmesi: elazığ osb örneği* [Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Mohamad, E., Sukarma, L., Mohamad, N. A., Salleh, M. R., Rahman, M. A. A., Rahman, A. A. A., & Sulaiman, M. A. (2018). *Review on Implementation of Industry 4.0 Globally And Preparing Malaysia For Fourth Industrial Revolution*. In The Proceedings of Design & Systems Conference, The Japan Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1299/jsmedsd.2018.28.2203>
- Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi (MTOSB). (2021). *Model Fabrika Nedir?* <http://www.mtosb.org.tr/sayfa/353/model-fabrika-nedir/>
- Murugaiyan, P., & Ramasamy, P. (2021). Analyzing Interrelated Enablers of Industry 4.0 For Implementation in Present Industrial Scenario. *Management Research Review*, 44(9), 1241-1262. <https://doi.org/10.1108/MRR-08-2020-0499>
- Nikolic, B., Ignjatic, J., Suzic, N., Stevanov, B., & Rikalovic, A. (2017). Predictive Manufacturing Systems in Industry 4.0: Trends, Benefits and Challenges. *Annals Of Daaam & Proceedings*, 28. DOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.112
- Odabaşı E. (2020). *Örgütsel bağlılığın dijital dönüşüme direnç etkisinde liderliğin düzenleyici rolünün incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu. (2021). *Model Fabrika Eğitimi Yetiştirme Programı*. 11.01.2022 Tarihli Yazı. Sayı: E-56060262-770-3243017.
- Ortt, R., Stolwijk, C., & Punter, M. (2020). Implementing Industry 4.0: Assessing The Current State. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2020-0284>
- Özbek - Akgün, E. (2019). *Dijital dönüşümde öğretim elemanlarının yetiştirilmesi ve geliştirilmesi*. [Doktora tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Özkara, Y. & Karakaya, Ş. (2017). *Model Fabrikalar (Yetkinlik ve Dönüşüm Merkezleri)*. Kalkınmada Anahtar Verimlilik, 29(348), 6. Ulusal Verimlilik Kongresi. <https://verimlilikkutuphanesi.sanayi.gov.tr/Library/ShowPDF/930>
- Özkaya, M. (2018). *Dijital transformation of telecommunications industry* [Master's thesis, Bahcesehir University].
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 41-64.
- Öztürk, Ş. (2019). *Bir işletmecilik tecrübesi çerçevesinde dijital dönüşüm modeli önerisi: enerji sektöründe uygulama ve danışmanlık hizmeti veren bir kobi örneği* [Yüksek lisans tezi, Altınbaş Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Pakdemirli, B. (2016). *Dijital dönüşümün ekonomik büyümeye etkisi: türkiye örneği* [Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A Review of The Meanings and The Implications of The Industry 4.0 Concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Polat – Savıcı, Aygün (2019). *Havacılıkta dijital dönüşüm: İstanbul havalimanı örneği* [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Qin, S. F., & Cheng, K. (2017). Future Digital Design and Manufacturing: Embracing Industry 4.0 and Beyond. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(5), 1047-1049. <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0176-3>
- Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Industry 4.0 Technologies As Enablers of Lean and Agile Supply Chain Strategies: An Exploratory Investigation. *The International Journal of Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2020-0157>
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Industry 4.0 – Challenges to Implement Circular Economy. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0430>
- Raptis, T. P., Passarella, A., & Conti, M. (2019). Data Management in Industry 4.0: State of The Art and Open Challenges. *IEEE Access*, 7, 97052-97093. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929296

- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth In Manufacturing Industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.
- Saad, S. M., Bahadori, R., & Jafarnejad, H. (2021). The Smart SME Technology Readiness Assessment Methodology in The Context Of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2020-0267>
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0. *In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 3-23). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Senvar, O., & Akkartal, E. (2018). An Overview to Industry 4.0. *International Journal of Information, Business and Management*, 10(4), 50-57.
- Sert, E. (2020); *Dijital dönüşümde endüstri 4.0 değer zinciri temel faaliyetler analizi: otomotiv sektörü için model önerisi* [Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Key Ingredients for Evaluating Industry 4.0 Readiness for Organizations: A Literature Review. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 43-57. <https://doi.org/10.30794/pausbed.424955>
- Sönmez, P. K. (2019). *Endüstri 4.0 & dijital dönüşümde çalışanların değişime açıklığı ile yöneticilerinin liderlik tarzları ilişkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Popkova, E. G., Ragulina, Y. V., & Bogoviz, A. V. (Eds.). (2019). *Industry 4.0: industrial revolution of the 21st century* (Vol. 169, p. 249). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7>
- Sukhodolov, Y. A. (2019). *The notion, essence, and peculiarities of industry 4.0 as a sphere of industry*. In *Industry 4.0: Industrial Revolution of The 21st Century* (pp. 3-10). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7_1
- Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). Akıllı Fabrikalar. *Journal of Life Economics*, 5(4), 203-220. <https://doi.org/10.15637/jlecon.270>
- Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). Industrie 4.0 and Smart Manufacturing-A Review Of Research Issues and Application Examples. *International Journal Of Automation Technology*, 11(1), 4-16. <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
- Tozkoparan, G., & Ernur, O. (2018). *Dijital Dönüşüm Perspektifinde Endüstri 4.0 Sürecindeki İşletmelerin Karşılaştığı Durumlar Üzerine Bir Vaka Çalışması*. Uluslararası Sosyal Bilimler ve İnovasyon Kongresi, 385, 397.
- Tuhtuk, N., & Hailes, S. (2018). Security of Smart Manufacturing Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.04.007>
- Turan, Y. (2020). *Dijital dönüşümün bankacılık sektörü iç denetim süreç mekanizmaları üzerindeki etkisi ve vaka analizi* [Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü (TUSSİDE). (2022). <http://www.aso2osb.org.tr/wp-content/uploads/2022/02/Model-Fabrika-Egitmeni-yeti%C5%9Firme-program%C4%B1.pdf>
- Türk Dil Kurumu (TDK). (2022) <https://sozluk.gov.tr/>
- Uçansoy, M. (2019). *Kurumlardaki dijital dönüşümün stratejik karar alma üzerine etkileri* [Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP). (2021). <https://www.undp.org/tr/turkiye/press-releases/model-fabrikalar-turkiyede-verimliliği-artiriyor>
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) (2022). <https://www.undp.org/tr/turkiye>
- Uslu, C. İ. (2019). *Dijital dönüşüm çağında fonksiyon bazında yönetici kararlarının otomasyona geçişinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Üstdağ, M. F. (2019). *Identifying barriers to digital transformation for digital native companies in turkey- a research approach using propositions* [Master's thesis, Bahcesehir University]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

- Vereycken, Y., Ramioul, M., Desiere, S., & Bal, M. (2021). Human Resource Practices Accompanying Industry 4.0 in European Manufacturing Industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2020-0331>
- Wang, L., & Wang, G. (2016). *Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0*. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 6(4), 1-8. DOI: 10.5815/ijem.2016.04.01
- Wikipedia. (2022) <https://www.wikipedia.org/>
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, A Revolution That Requires Technology and National Strategies. *Complex & Intelligent Systems*, 7(3), 1311-1325. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00267-9>
- Yavuz, A. (2020). *Turizmde dijital dönüşüm: otel yöneticilerinin bakış açılarının incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Yılmaz, P. (2020). *Ortaöğretim öğretmenlerinin eğitimde dijital dönüşümden yararlanma düzeylerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- YÖK (2022). Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Yunus, E. N. (2020). The Mark of Industry 4.0: How Managers Respond to Key Revolutionary Changes. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2019-0590>
- Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., ... & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in The Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616-630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

ÇALIŞMANIN ETİK İZİNİ

Yapılan bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümü olan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir.”.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI

Bu çalışmada yazarların katkıları eşit düzeydedir.

ÇATIŞMA BEYANI

Araştırmada herhangi bir kişi ya da kurum ile finansal ya da kişisel yönden bağlantı bulunmamaktadır. Araştırmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

EXTENDED SUMMARY

The aim of the study is to explain the concept of Industry 4.0. Previously known as the Fourth Industrial Revolution, the term was changed to Industry 4.0 in 2011 and studies started on it as a trending concept. Industry 4.0 is defined as a process in which machines can communicate and collaborate with each other to achieve digital transformation, aiming to ensure production. The Fourth Industrial Revolution has become to be recognized as a significant concept for the entire world due to the changing environmental conditions, the increase in new technological advancements, the sustainability and efficiency-oriented state policies, and the global competition and integration markets. The Fourth Industrial Revolution's rapid technical advancements are different from the Third Industrial Revolution in a way that it is affecting people, businesses, and society. It also incorporates all aspects of technology as well as management information systems.

Industry 4.0 represents a fundamental shift in the manufacturing sector's technological foundation and offers flexibility in terms of product features, quality, design, production volume, and production schedule. It is created by the value chain within the organization as well as the overall supplier chain of the companies in the industry (Ortt vd., 2020, s. 826). Braccini ve Margherita (2019), analysed different economic and social factors in the adoption of Industry 4.0 for the manufacturing industry, and concluded that it provides several economic improvements for Industry 4.0 that increase lead time and reduce product defect rates. Many organizations are exploring the ways to create value production using Industry 4.0 technologies. Industry 4.0 offers new digital solutions for manufacturers, suppliers, and customers with the potential of smart products and networking systems (Erboz vd., 2021). From the macroeconomic prospective, Industry 4.0 is seen as a country's new source of competitive advantage (Erro-Garcés, 2019, s. 1858).

Researchers and companies approach the Industry 4.0 concept and visions from many angles, but they all agree on the key elements that it address the future manufacturing vision. There are originated from smart factories, smart products business model and customers (Pereira & Romero, 2017, s. 1208). Industry 4.0 basically covers certain technologies such as information and communication technology (ICT), network communication, ICT-based support systems, cyber-physical systems, embedded sensors and intelligent robots (Wang & Wang, 2016, s. 5). In the literature review, it has been noted that specific elements are incorporated for the Fourth Industrial Revolution's implementation. These components are big data, internet of things, cloud computing, cyber physical systems, 3D printers, autonomous robots, system integration, smart manufacturing, augmented reality and mixed reality, simulation and smart factories. These concepts are briefly explained in the article.

With digital transformation, companies and countries in the high competitive environment should closely monitor and implement Industry 4.0 applications. The spread of increasingly sophisticated technologies that combine the physical, digital, and biological worlds is what defines the Fourth Industrial Revolution (Marivate vd., 2021, s. 14). It is anticipated that Industry 4.0 will bring about significant change in all industries in the fields of design, production, marketing, sales, and distribution systems. Many countries are preparing and implementing national strategies to meet the industrial revolution. It has been noted that Türkiye also provides space for Industry 4.0 studies, in addition to industrialized nations like Germany, China, and America. It has been found that there are studies in the literature that are focused on "Industry 4.0". When the 2019-2021 graduate studies were examined, the number of doctoral theses about Industry 4.0 has been observed since 2019. Most of the studies were carried out in the Department of Business Administration with 73 studies (Higher Education Council [YÖK], 2022). The other major scientific fields include economics, industrial engineering, science and technology, labor economics, and industrial relations. Additionally, the Model Factories initiative is also present to serve as a tool that facilitates scalable distribution by utilizing a number of strategies for the enhancement of operational processes in the enterprises. In the current world, the United States, "National Strategic Plan", South Korea, "Manufacturing Industry Innovation 3.0", China, "Made in China 2025, France, "Industri Du Futur" within the framework of the Fourth Industrial Revolution has included their goals.

This study aims to develop a conceptual framework for Industry 4.0 and to present the current status of the literature in this area. In the future, research can be carried out by using publications that have historically distinct and have more extensive databases. Businesses can be included in future research to expose the problems in the management, education, and societal areas. Moreover, for these issues and deficiencies, suggestions might be developed.