

Investigation of Industry 4.0 and Its Technologies

Aysel KOÇAK¹, Aytaç YILDIZ^{2*}

¹Graduate Education Institute, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
0000-0002-2566-3033, aysel_karagoz_@hotmail.com

²Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
0000-0002-0729-633X, aytac.yildiz@btu.edu.tr

Abstract: Rapid developments in industrialization and informatics methods have provided tremendous advances in the development of next generation production technology. One of these advances is Industry 4.0, which was first introduced during the Hannover Fair in 2011 and symbolizes the beginning of the Fourth Industrial Revolution. Industry 4.0 is a technology-oriented digital transformation that enables decision-making based on real-time data by combining existing production and design technologies with modern information and communication technologies to increase the competitiveness of traditional production. This digital transformation process has begun to transform today's production paradigm into smart production with the emergence of Industry 4.0 technologies such as the internet of things, cloud computing, big data analytics, artificial intelligence and digital twin. Thus, it provides many advantages to businesses such as detecting problems in processes, speeding up the design cycle of products, identifying the source of quality problems and preventing errors.

In this study, it is aimed to examine the Industry 4.0 revolution, which should be at the center of their strategic agenda, not a "future trend" for businesses. In the study, firstly Industry 4.0 is explained, then Industry 4.0 technologies are mentioned, and finally, the results and evaluations related to Industry 4.0 are given.

Keywords: Industry 4.0, Digitization, Industry 4.0 Technologies

Endüstri 4.0 ve Teknolojilerinin İncelenmesi

Özet: Sanayileşme ve bilişim yöntemlerindeki hızlı gelişmeler yeni nesil üretim teknolojisinin geliştirilmesinde muazzam ilerlemeler sağlamıştır. Bu ilerlemelerden biri, ilk olarak 2011 yılında Hannover Fuarı sırasında tanıtılan ve Dördüncü Sanayi Devrimi'nin başlangıcını simgeleyen Endüstri 4.0'dır. Endüstri 4.0, geleneksel üretimin rekabet gücünü artırmak için mevcut üretim ve tasarım teknolojilerini modern bilgi ve iletişim teknolojileriyle birleştirerek gerçek zamanlı verilere dayalı karar vermeyi sağlayan teknoloji odaklı bir dijital dönüşümdür. Bu dijital dönüşüm süreci, nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve dijital ikiz gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte günümüzün üretim paradigmasını akıllı üretime dönüştürmeye başlamıştır. Böylelikle, süreçlerdeki sorunları tespit etmek, ürünlerin tasarım döngüsünü hızlandırmak, kalite sorunlarının kaynağını belirlemek ve hataları önlemek gibi işletmelere birçok avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, işletmeler için artık bir "gelecek trendi" değil de stratejik gündemlerinin merkezinde yer alması gereken Endüstri 4.0 devriminin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak Endüstri 4.0 açıklanmış, daha sonra Endüstri 4.0 teknolojilerinden bahsedilmiş ve son olarak Endüstri 4.0 ile ilgili sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dijitalleşme, Endüstri 4.0 Teknolojileri

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Aysel KARAGÖZ, Aytaç YILDIZ, 'Investigation of Industry 4.0 and Its Technologies', *Elec Lett Sci Eng*, vol. 18(2), (2022), 51-67

1. Giriş

Günümüze gelinceye kadar üç adet büyük sanayi devrimi gerçekleşmiştir [1]. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0), 18. yüzyılda buhar makineleri ile başlamış ve üretimin artırılması amacıyla ortaya çıkmıştır. İkinci Endüstri Devrimi (Endüstri 2.0), 20. yüzyılın başında elektrik enerjisinin kullanılarak seri üretime geçiş için yapılmıştır. Sonrasında ise, analog üretim sistemlerinin yerini dijital üretim sistemlerinin almasıyla Üçüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 3.0) ortaya çıkmıştır [1,

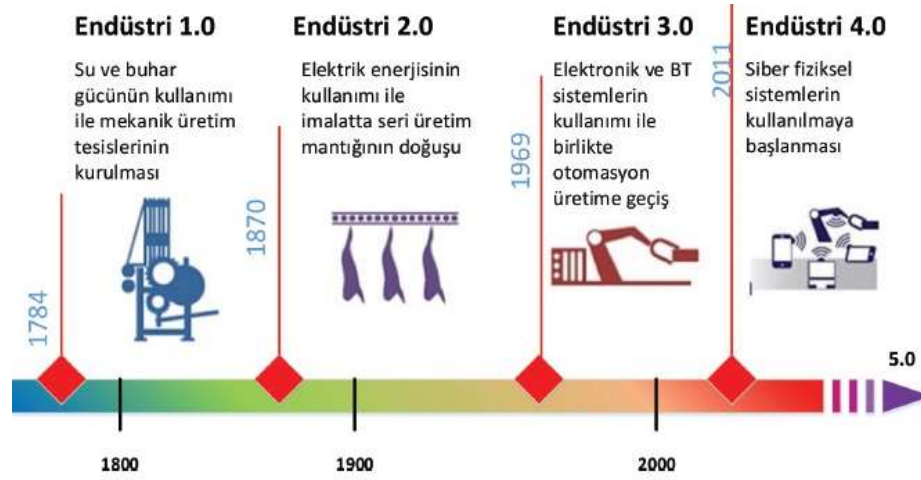
*Corresponding author; Tel.: 02243003726, aytac.yildiz@btu.edu.tr

2]. Ortaya çıkan bu üç sanayi devriminin de amacı, üretimde verimliliği arttırmaktır [1]. Ancak sadece verimliliği artırmak, dünyadaki üretim şirketlerini ön plana çıkaramamıştır. Şirketler, o dönemlerde meydana gelen çeşitli gelişmelere bağlı olarak ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmışlardır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için, tasarımdan dağıtımına kadar tüm zincir boyunca iş birliği ve adaptasyona fırsat tanıyan sanal ve fiziksel yapılara ihtiyaç duymuşlardır [3]. Bu yüzden, siber teknolojilerin gelişmesiyle birlikte “Endüstri 4.0” adı verilen dördüncü sanayi devrimi ortaya çıkmıştır. Fiziksel dünya ile sanal dünyayı Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) vasıtasıyla birleştiren Endüstri 4.0, üretim proseslerinin entegrasyonunu sağlayarak firmaların daha yüksek performans elde etmelerine yardımcı olmaktadır [4]. Bu endüstri devriminde, geleneksel üretim teknolojileri modern bilgi ve iletişim teknolojileri ile birleştirilmiştir [5]. Çünkü, geleneksel üretim yöntemleri büyük veriyi barındırmaya yönelik olmadıklarından dolayı veri odaklı ürün tasarımını desteklemek için doğrudan kullanılamamaktadır. Bunun sonucu olarak, dinamik olarak değişen verilere ve ortaya çıkan yeni durumlara hızlı bir şekilde cevap verememektedir [6]. Bu yüzden geleneksel imalat endüstrileri, Bulut Bilişim (Cloud Computing-CC), Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), Büyük Veri (Big Data-BD) ve Yapay Zekâ (Artificial Intelligence-AI) gibi yeni bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlanarak tasarımlarını ve üretimlerini dijitalleştirmek için büyük bir gayret göstermektedirler [5, 7, 8].

Bu çalışmada, firmaların verimliliklerini arttırmada büyük katkılar sunan Endüstri 4.0 devrimi ve teknolojilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bundan sonraki ikinci bölümünde Endüstri 4.0 devrimi açıklanmış, üçüncü bölümde Endüstri 4.0 teknolojileri incelenmiş ve son bölümde sonuçlara yer verilmiştir.

2. Endüstri 4.0

Belli bir alandaki hızlı, köklü ve nitelikli değişimler devrim olarak adlandırılırlar. Genel kabule göre insanoğlu iki temel devrim yaşamıştır. Bunlardan ilki avcı ve toplayıcı topluluklar halinde yaşayan insanları, çiftçi ve çoban topluluklara dönüştüren tarım devrimidir. Diğeri ise çiftçi ve çoban topluluklarını hizmet ve ürün üreticisi haline getiren endüstri devrimidir. Endüstri devrimiyle insanlar sınırsız bir biçimde mal ve hizmet üretebilme imkânı elde etmişlerdir. İnsanlar endüstri devrimini sahiplenerek Şekil 1’deki gibi safha safha geliştirmişlerdir. İlk safha, 18. yüzyılda insan gücünün yerini buharlı makinelerin almaya başlamasıyla birlikte, üretimi önemli şekilde değiştiren I. Endüstri Devrimidir. İkinci safha, 20. yüzyılda elektriğin üretime entegrasyonu ile seri üretimin başlamasına neden olan II. Endüstri Devrimi’dir. 1970’li yılların başında ise, üretimde ileri otomasyon sistemlerinin kullanılmasıyla üçüncü safha olarak III. Endüstri Devrimi insan hayatına girmiştir. Günümüzde ise insansız üretim gerçekleştirecek fabrikaların ön plana çıktığı dördüncü safha olan Endüstri 4.0 olarak adlandırılan IV. Endüstri Devrimindeyiz [9].



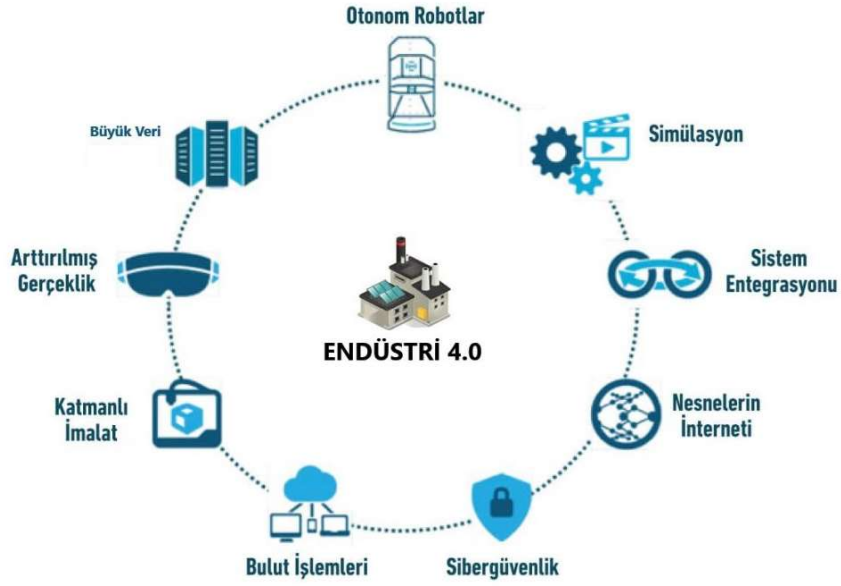
Şekil 1. Endüstri devrimlerinin gelişimi [10]

Endüstri 4.0, mevcut üretim teknolojilerinin modern bilgi ve iletişim teknolojileri ile birleşmesi olup arkasındaki itici güç, endüstrinin ve toplumun hızla dijitalleşmesidir. Endüstri 4.0'ın temel amacı, sipariş yönetimi, araştırma ve geliştirme, üretimin devreye alınması, kullanımı ve ürünlerin geri dönüştürülmesi gibi alanları etkileyen bireysel müşteri ihtiyaçlarını karşılamaktır [11].

Endüstri 4.0, normal makineleri kendi kendini tanıyan ve kendi kendine öğrenen makinelere dönüştürerek performanslarını ve çevre etkileşimi ile süreç yönetimini iyileştirmenin yanı sıra endüstriyel ağ bağlantılı bilgiyle açık ve akıllı bir üretim oluşturmayı hedeflemektedir [12, 13]. Endüstri 4.0 paradigması, sensörler, cihazlar ve kurumsal varlıklar gibi fiziksel öğelerin hem birbirine hem de internete bağlanmasını teşvik eder [14]. Gerçek zamanlı veri izleme, ürünün konumlarının takibi ve üretim proseslerini kontrol etmek Endüstri 4.0'ın temel hedeflerindedir [15]. Bu yüzden, şirketler Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamak için akıllı ürün ve akıllı süreçleri; ürün tasarımı, üretim, lojistik, pazarlama, satış ve satış sonrası hizmetler gibi temel işlevlerine dahil etmeye odaklanmalıdır [16].

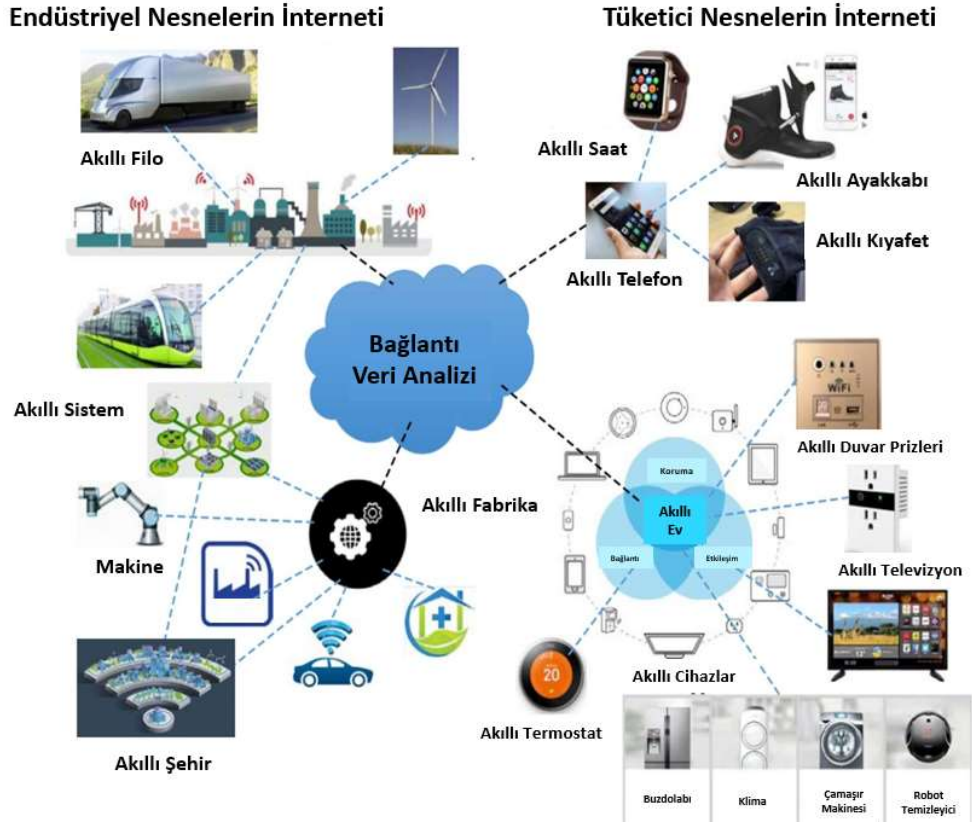
3. Endüstri 4.0 Teknolojileri

Endüstri 4.0'ın temelini; nesnelerin interneti, büyük veri analitiği, siber güvenlik, bulut bilişim, artırılmış gerçeklik, simülasyon, otonom robotlar, eklemeli (katmanlı-3B) imalat, bulut gibi Şekil 2'de gösterilen teknolojiler oluşturmaktadır [17]. Belirtilen bu teknolojilerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2. Endüstri 4.0'ın temel teknolojileri devrimlerinin gelişimi [17]

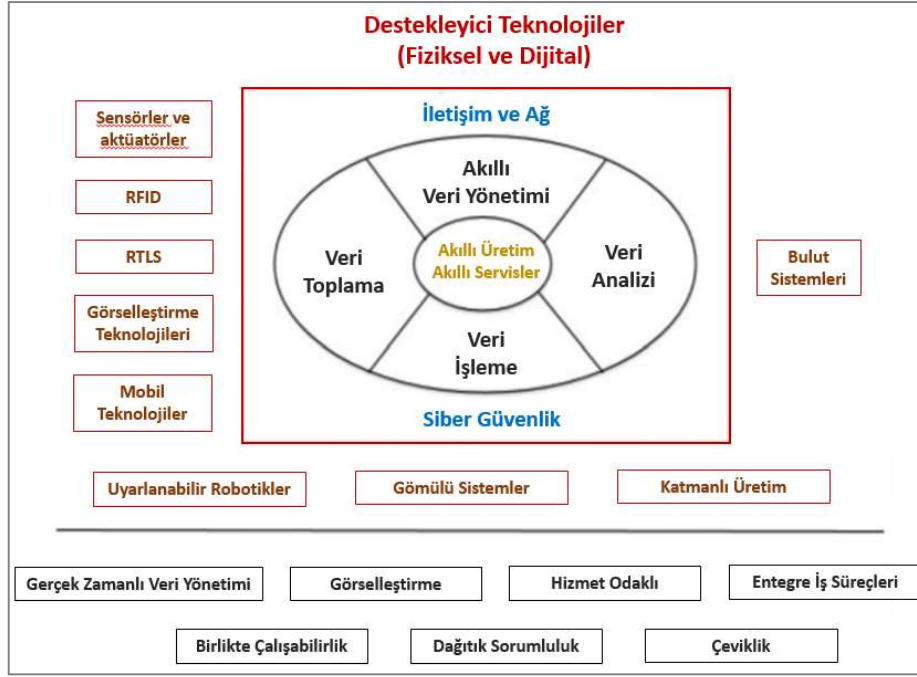
Nesnelerin interneti (IoT): Çok sayıda benzersiz şekilde adreslenebilir nesnenin birbirleriyle iletişim kurmasına ve mevcut internet veya uyumlu ağ protokolleri üzerinden veri aktarmasına izin verir [18]. Aynı zamanda, imalat endüstrilerinin dijitalleştirilerek üretimin gerçek zamanlı olarak yapılmasını sağlar [19]. IoT, insanları, süreçleri, cihazları ve teknolojileri sensörler ve aktüatörlerle birleştirir. IoT'nin iletişim, iş birliği ve teknik analitik açısından insanla genel entegrasyonu, gerçek zamanlı kararların alınmasını sağlar [20]. IoT, iletişim protokollerine dayanan kendi kendini yapılandırma yeteneklerine sahip dinamik bir küresel ağ altyapısı ile bilgi ağına entegre olarak genellikle kullanıcılar ve ortamları ile ilişkili verileri iletir [21]. IoT teknolojisinin artan üstünlüğü, RFID, UWB, ZigBee, sensör ağları ve konum tabanlı teknolojiler gibi çeşitli kısa menzilli kablosuz teknolojilerin internete bağlanmasını kolaylaştırmaktadır [22]. IoT, internetin etkisini insanların günlük yaşamlarında daha yaygın hale getirmektedir. Örneğin araç elektroniği, ev çevre yönetim sistemleri, telefon ağları ve yerel kamu hizmetlerinin kontrolünü sağlamak için IoT kullanılabilir. IoT, kullanım türüne bağlı olarak; Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), Tüketici Nesnelerin İnterneti (CIoT) ve İnsan Nesnelerin İnterneti (HIoT) olarak kategorize edilebilir [23]. Kategorize edilmiş IoT sistemlerinin kullanım alanları Şekil 3'te gösterilmektedir [24].



Şekil 3. Kategorize edilmiş IoT sistemleri kullanım alanları [24]

Burada kullanılan IIoT; ürünlerin, ekipmanların, üretim hatlarının, fabrikaların, tedarikçilerin, müşterilerin ve diğer işletmelerin her türlü iç ve dış verilerini birbirine bağlayabilir ve iletişim teknolojisi aracılığıyla cihazlar, sistemler, fabrikalar ve bölgeler arasında ara bağlantı ve birlikte çalışabilirliği gerçekleştirebilir. Ayrıca bilgi teknolojisine dayalı devasa endüstriyel verileri araştırabilir ve analiz edebilir [25].

İnternetin günümüzde yaygınlaşması, sensörlerin evrensel varlığı, büyük verilerin ortaya çıkması, e-ticaretin gelişmesi, bilgi topluluğunun yükselişi, veri ve bilginin toplum, fiziksel alan ve siber uzay ile ara bağlantı kurarak kaynaşmasıyla bilgi ortamı derinden değişmiş ve yeni bir evrim aşamasına yol açmıştır [26]. Elde edilen veriler tasarım, üretim, dağıtım, kullanım, bakım, yükseltme ve geri dönüşüm dahil olmak üzere bir ürünün yaşam döngüsünün farklı aşamalarında toplanabilir. Verilerin toplanmasında ise IoT'dan büyük ölçüde faydalanılmaktadır. IoT teknolojilerini kullanarak mümkün kılınan veriler, gerçek zamanlı olarak doğrudan fiziksel ürünlerden toplanabilmektedir [27]. Şekil 4'te gösterilen Endüstri 4.0 genel çerçevesi, verinin endüstri 4.0 teknolojilerinin gerçekleştirilmesindeki fonksiyonunu göstermektedir [19].

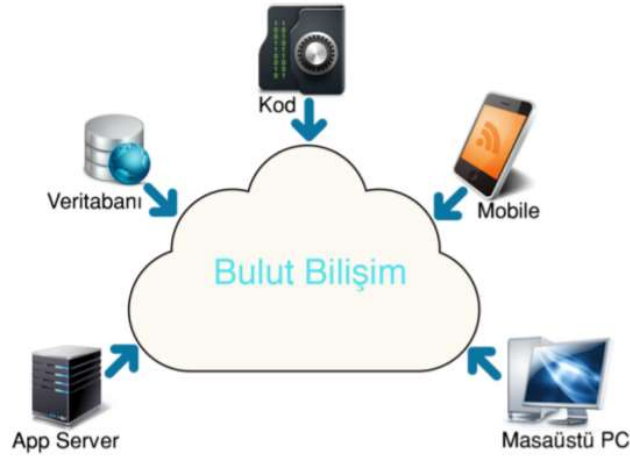


Şekil 4. Endüstri 4.0’da veri çerçevesi [19]

Siber-fiziksel sistem (CPS): CPS, çok sıkı bir ara bağlantıya sahip siber yetenekleri olan fiziksel sistem bileşenlerinin bir kombinasyonudur. CPS, elektrik güç sistemleri, iletişim, ulaşım ve sağlık sistemleri dahil olmak üzere birçok uygulamada yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Bunlar kritik ulusal altyapılardır. Siber güvenlik saldırısı, çeşitli sistem bileşenleri arasındaki karmaşıklık ve karşılıklı bağımlılıklar, iletişim, bilgi işlem ve kontrol teknolojisinin entegrasyonu dahil olmak üzere birçok nedenden dolayı bir CPS için en büyük tehditlerden biridir. Siber güvenlik saldırıları, üretim ve performansın bozulması, kritik hizmetlerin kullanılmaması ve yönetmeliğin ihlali dahil olmak üzere kritik altyapı iş sürekliliğini etkileyen çeşitli risklere yol açabilir [28]. CPS’ler için mevcut birçok risk yönetimi yöntemi vardır [29, 30]. CPS’lerde risk yönetimi; sistemlerin artan karmaşıklığı, risk seviyelerinin evrimi, kasıtsız güvenlik ihlallerinden oluşan insan faktörü tehditleri, hassas bilgileri açığa çıkaran virüslü bilgi medyasının şüpheli olmayan kullanımı, farkındalık eksikliği ve insan hataları nedeniyle zorludur [31]. Siber güvenlik risklerini yönetmek, CPS’yi korumak için çok önemlidir [28]. Genel olarak siber-fiziksel sistemler, yüksek performans gereksinimleri olan gerçek zamanlı ve sağlam bağımsız sistemlerdir [32]. Kritik altyapıların CPS’leri, karmaşıklıkları ve siber-fiziksel bağlantıları nedeniyle güvenlik tehditlerinden etkilenerek her zaman suçluların hedefi olmuştur. Bu CPS’ler; insan, süreç, teknoloji gibi bileşenler saldırıya uğradığında veya risk yönetim sistemleri eksik, yetersiz olup herhangi bir şekilde başarısızlık meydana geldiğinde güvenlik ihlalleriyle karşı karşıya kalınır. Saldırganlar, müşteri bilgileri veya diğer değerli kayıtlar gibi gizli verileri hedefler [33]. Sistemlerin kullanımı yaygınlaştıkça CPS tehditlerinin artması muhtemeldir. Ancak, kuruluşların yıkımlarından kaynaklanan kayıpları en aza indirmek için dikkate alabilecekleri makul güvenlik önlemleri vardır [34]. CPS, sadece anlık güvenlik riskini yönetmek veya tüm riskleri ortadan kaldırmakla ilgili değildir. Olayların risk derecesini belirlemek, anlamak ve bunları organizasyonun risk tolerans düzeyine göre yönetmek için doğru süreçleri veya kontrolleri uygulamaya koymakla ilgilidir. Risk yönetimi tek seferlik bir olay değil, sürekli bir süreçtir [35]. Bir olaya yanıt olarak, kuruluşların siber-fiziksel güvenlik durumlarını gerçekten anlamaları ve zayıflıkları gidermek için gerekli ve düzeltici eylemleri gerçekleştirmelerine acil bir ihtiyaç vardır [33]. Bileşenler ve altyapılar arasındaki karşılıklı bağımlılıklar nedeniyle kademeli arızalar meydana gelir. Daha da önemlisi, bir CPS’in bir bölümünü etkileyen tehditler, birbirine bağlanan ağ aracılığıyla diğer bölümlere

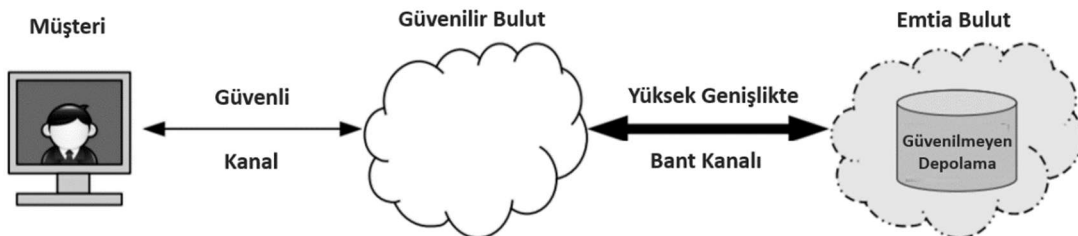
yayılabilir. Güvenlik tehditleri büyüdükçe kuruluş, benzersiz siber güvenlik tehditlerini ve eğilimlerini belirlemek için kapsamlı bir siber güvenlik risk yönetim sistemine ihtiyaç duyar [28].

Bulut bilişim: Bulut bilişim, farklı hizmetlerin internet üzerinden sunulmasıdır. Veri depolama, sunucular, veri tabanları, ağ iletişimi ve yazılım gibi araçları ve uygulamaları içerir [36]. Müşterilerin talebi üzerine internet üzerinden depolama, ağ oluşturma ve yazılım gibi bilgi işlem hizmetleri sağlar [37]. Bulut bilişim, maliyet tasarrufu, artan üretkenlik, hız ve verimlilik, performans ve güvenlik gibi çeşitli nedenlerle insanlar ve işletmeler için popüler bir seçenektir [36]. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) bulut bilişimi, “minimum yönetim çabasıyla hızla sağlanabilen, serbest bırakılabilen ve paylaşılan bir yapılandırılabilir bilgi işlem kaynakları havuzuna (örneğin ağlar, sunucular, depolama, uygulamalar ve hizmetler) her yerden, uygun bir şekilde isteğe bağlı ağ erişimi sağlayan bir model” olarak tanımlamaktadır [37, 38]. Bulut bilişim, tüketicilerin yazılım ve BT altyapısını kullandığı bir ortam yaratarak, bilişimin beşinci bir yardımcı program olarak ortaya çıkmasının yolunu açmıştır [39]. Bulut bilişim, hizmet odaklı bir mimari, son kullanıcı için azaltılmış bilgi teknolojisi yükü, büyük esneklik, azaltılmış toplam sahip olma maliyeti, isteğe bağlı hizmetler gibi daha birçok şeyi ifade eder. Bulut bilişim, isteğe bağlı bilgi teknolojisi hizmetleri ve ürünlerinin evriminde bir sonraki doğal adımdır [40]. Bulut bilişimin bileşenleri Şekil 5’te gösterilmektedir [38].



Şekil 5. Bulut bilişim bileşenleri [38]

Farklı hizmetler kullanan bulut bilişim, geleneksel bilgi işlemde daha fazla fayda sağlar. Maliyet tasarrufu, ölçeklenebilirlik, mobil depolama, her yerden erişim, daha iyi güvenlik, enerji tasarrufu, çevre faydaları bulut bilişimin faydalarından bazılarıdır. Geleneksel bilgi işlemde bulut bilişime geçiş giderek artmaktadır. Kuruluşlar ve bireyler bundan faydalanarak uygun maliyetli modellerde, örneğin abonelik ve kiralama tabanlı maliyet modelleri gibi birçok farklı bulut bilişim hizmeti kullanmaktadır [41]. Şekil 6’da ise bulut bilişim modeli gösterilmektedir [42].

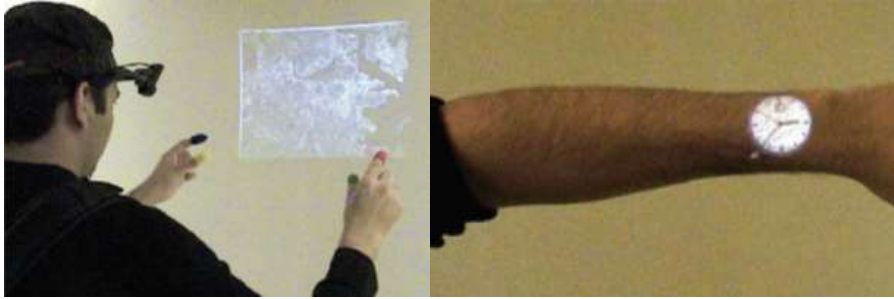


Şekil 6. Bulut bilişim modeli [42]

Şekil 5’te gösterilen bulut bilişim modelinde; emtia bulut güvenilmeyen depolama sağlar ve iki bulut, güvenli olmayan, yüksek bant genişliğine sahip bir kanalla birbirine bağlanır. İstemci,

güvenilir bulut ile düşük bant genişliğine sahip, güvenli bir kanal üzerinden iletişim kurar. Güvenli kanal ve bant genişlikleri, oluşturulan bulut modeline göre değişkenlik göstermektedir [42].

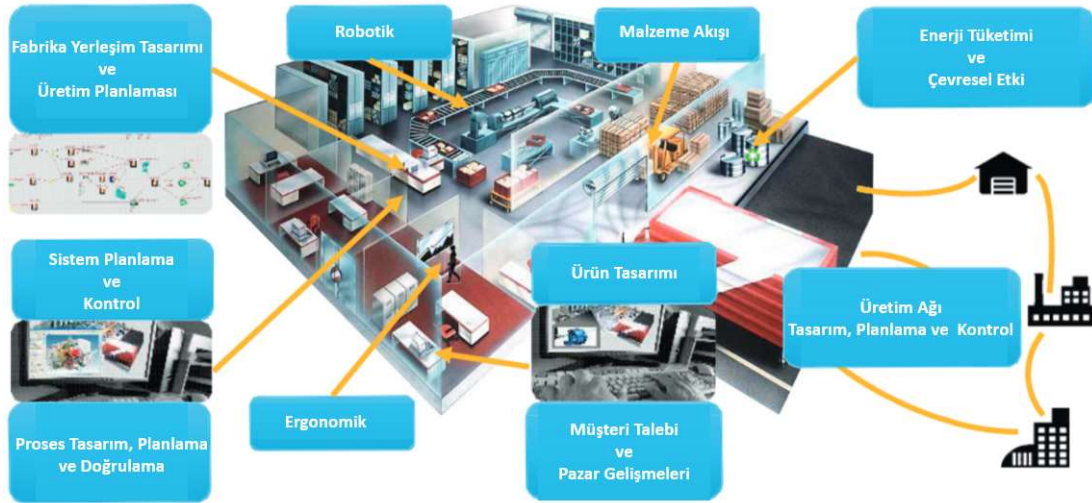
Artırılmış gerçeklik: Artırılmış gerçeklik gerçek dünyadaki nesne ve mekanların, bilgisayar sistemlerinde oluşturulmuş sanal öğeler kullanılarak zenginleştirilmesiyle elde edilir [43]. Gerçek ortamın bir parçası gibi görünecek şekilde dijital bilgiyi gerçekçi bir şekilde gösterme süreci olan rendering adı verilen gerçek sahne üzerine bindirilen bilgisayar tarafından oluşturulan sanal bilgidir [44]. Artırılmış gerçeklik teknolojisi akıllı üretim alanında yeni araçların ve teknoloji sistemlerinin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır [45]. Artırılmış gerçekliğin ana özellikleri arasında yoğun derin öğrenme için veriye dayalı sezgisel algılama yeteneğine sahip olması, internet tabanlı sürü zekâsı, teknoloji odaklı insan-makine hibrit artırılmış zeka ve ayrıca çapraz medya akıl yürütmenin yükselişi yer almaktadır [26]. Çevremizdeki fiziksel dünyayı, dijital bilgilerle zenginleştiren ve bu bilgilerle etkileşim mekanizması olarak doğal el hareketleri öneren, bilgisayarla görü tabanlı giyilebilir ve hareketle ilgili bir bilgi arabirimi tasarlayan Pranav Mistry artırılmış gerçeklik ile giyilebilir cihazlara verilebilecek en güzel örneklerdendir. Şapkaya monte edilmiş kamera ve küçük bir projektör veya mobil giyilebilir cihaz gibi bir kolyeden oluşan tasarım Şekil 7’de verilmiştir [46].



Şekil 7. Giyilebilir teknoloji tasarımı [46]

Kamera, kullanıcının gördüğünü görür ve projektör kullanıcının etkileşimde olduğu yüzeyleri veya fiziksel nesnelere görsel olarak artırır. Arayüz bilgileri, kullanıcının etrafındaki yüzeylere, duvarlara ve fiziksel nesnelere yansıtılır. Kullanıcının doğal el hareketleri, kol hareketleri veya nesnenin kendisinin doğrudan manipülasyonu yoluyla yansıtılan bilgilerle etkileşime girmesini sağlar [46].

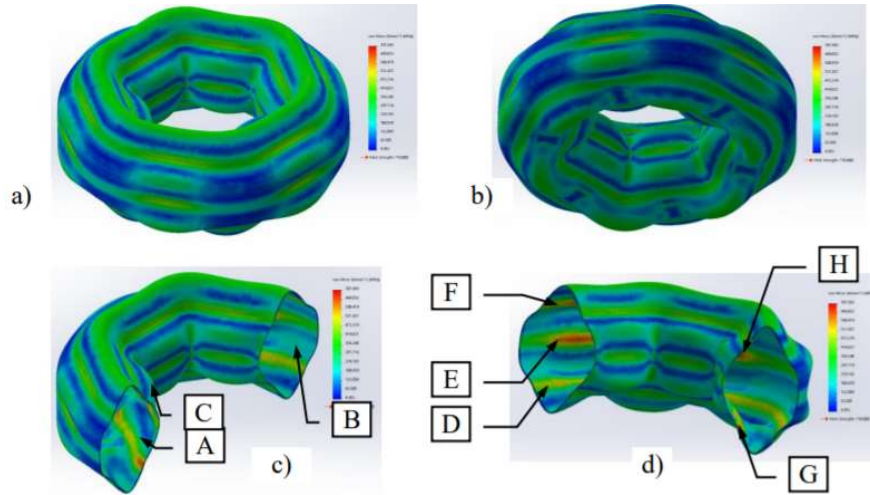
Simülasyon: Ürün, süreç ve sistem tasarımı ve konfigürasyonunun denenmesine ve doğrulanmasına izin verdiğinden, dijital üretimin başarılı bir şekilde uygulanması için vazgeçilmez bir dizi teknolojik araç ve yöntem içerir. Özellikle küreselleşme gibi mega trendlerden daha yüksek derecede ürün özelleştirme ve kişiselleştirme için sürekli artan gereksinimlerden etkilenen günümüzün çalkantılı üretim ortamında, simülasyonun değeri oldukça önemlidir. Dikkate alınan simülasyon yöntemleri ve araçları arasında bilgisayar destekli egzersizler, fabrika yerleşim tasarımı, malzeme ve bilgi akışı tasarımı, imalat ağları tasarımı, imalat sistemleri planlaması ve kontrolü, imalat ağları planlaması ve kontrolü, ürün ve süreç tasarımında artırılmış ve sanal gerçeklik, planlama ve doğrulama (ergonomik, robotik) yer alır. Modern üretim teknolojilerine sahip bir fabrika tasarımında kullanılan bu araçlar Şekil 8’de gösterilmektedir [47].



Şekil 8. Modern üretim teknolojilerine sahip bir fabrika tasarımında kullanılan araçlar [47]

Otonom Robotlar: Endüstri 4.0 devriminde öngörülen verimlilik ve etkinlik kazanımlarını elde etmek için makineler ve robotlar için yüksek oranda otomasyon gereklidir [48]. Bu gereksinimlerden dolayı robotlar her geçen gün daha özerk, esnek ve işbirlikçi hale gelerek otonom olmaktadır [49]. Otonom robotlar olarak da bilinen gelişmiş robotlar, Endüstri 4.0'ın tanıtımı için önemli bir etkinleştiricidir. Sensörler, artırılmış yapay zekâ ve makine öğrenimi ile donatılmış otonom robotlar Endüstri 4.0 devriminin ilerlemesini sağlayan kilit teknolojilerden biridir [48]. Otonom bir robot, otonom üretim yöntemini daha hassas bir şekilde gerçekleştirmek için kullanılır ve insanların çalışmakla sınırlandırıldığı yerlerde çalışır. Otonom robotlar, verilen süre içinde verilen görevi hassas ve akıllı bir şekilde tamamlayabilir. Ayrıca güvenlik, esneklik, çok yönlülük ve iş birliğine odaklanabilir [49]. Üretim endüstrilerinde otomasyonun kullanılması, kuruluşların normalde yapabileceklerinden daha fazla çıktı vermelerini sağlamaktadır. Otonom robotların kullanımı, insan işçilerden daha hızlı, daha güçlü ve daha hassas olarak endüstrilerin üretkenliğini büyük ölçüde artırmaktadır. Günümüzde robotlar yalnızca çok tekrar eden, düşük vasıflı işler için değil, aynı zamanda orta vasıflı, oldukça rutin faaliyetlerde de kullanılmaktadır [48].

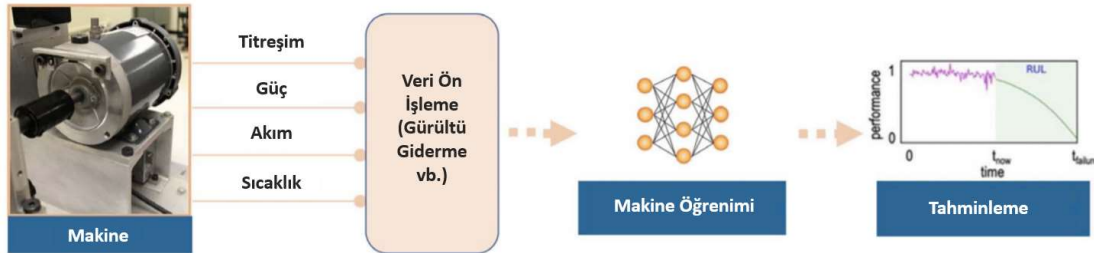
Katmanlı (Eklemeli- 3B) üretim: Malzemeleri füzyon, bağlama veya sıvı reçine ve tozlar gibi katılaştırma yoluyla karıştırma tekniği olarak tanımlanabilir. 3B, CAD modellemeyi kullanarak katman katman şekilde parça oluşturur. 3B baskı, hızlı prototipleme, doğrudan dijital üretim, hızlı üretim ve katı serbest biçimli üretim gibi terminolojiler, eklemeli üretim süreçlerini tanımlamak için kullanılabilir. Eklemeli üretim süreçleri, nesnenin geometrisi ile ilgili bilgileri içeren 3B bilgisayar verilerini veya Standart Mozaikleme Dili (STL) dosyalarını kullanarak bileşenler üretir. Eklemeli üretim, düşük üretim hacimleri, yüksek tasarım karmaşıklığı ve sık tasarım değişiklikleri gerektiğinde çok kullanışlıdır. Geleneksel üretim yöntemlerinin tasarım kısıtlamalarını aşarak karmaşık parçalar üretme imkânı sunar. Eklemeli üretimin birçok faydası olmasına rağmen, CNC makinelerine kıyasla düşük doğruluğu ve uzun yapım süreleri nedeniyle uygulamaları hala sınırlıdır [50]. Geleneksel yaklaşımlar üretimde çoğunlukla 2B CAD çizimlerinin oluşturulmasına odaklanırken, mevcut yeniden yapılandırılmalar giderek artan şekilde 3B modelleme tekniklerini uygulamaktadır [51]. Çeşitli parametreler için 3B modelleme tasarımına örnek Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu tasarımlarda, parametrelerden bir veya birden fazlasında gerçek ortamda olmaksızın modelleme esnasında değişiklik yapılarak şartlara en uygun modelin oluşturulması sağlanır [52].



Şekil 9. Çeşitli parametreler ile 3B modelleme örneği [52]

Yapay zeka: Yapay zeka terimi, ağırlıklı bir girdi toplamını kullanarak bir insan sinir sistemini simüle etmek için tasarlanmış bir sinir ağı yapısı olan algılayıcının icadına dayanır [53, 54]. Bilgisayarların algılama, akıl yürütme, öğrenme ve problem çözme gibi insan zihniyle ilişkili bilişsel işlevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanabilir [55].

Yapay zeka; büyük veri olarak bilinen, üretilen büyük miktardaki üretim verisini işlemek için gelişmiş analitik araçları aracılığıyla üretim alanını dönüştürmek için büyük bir potansiyel göstermiştir. Kritik süreç/makine verilerinin toplanması için algılama teknolojisinin yanı sıra hesaplama donanımındaki son gelişmeler, yapay zeka tekniklerinin uygulanmasını pratik anlamda mümkün kılmıştır. Makine performansının doğrudan ölçülmesinin zor olduğu durumlarda, makine performansını temsil etmek için genellikle sensörler aracılığıyla veriler alınarak yapay zeka uygulamalarında tahminleme yapılır [56]. Yapay zekâ biliminin bir alt bilimsel çalışma dalı olan ve Şekil 10'da modeli gösterilen makine öğrenimi, verilerden öğrenen ve buna göre tahminlerde bulunabilen algoritmalar üzerine çalışmaktadır [56, 57].

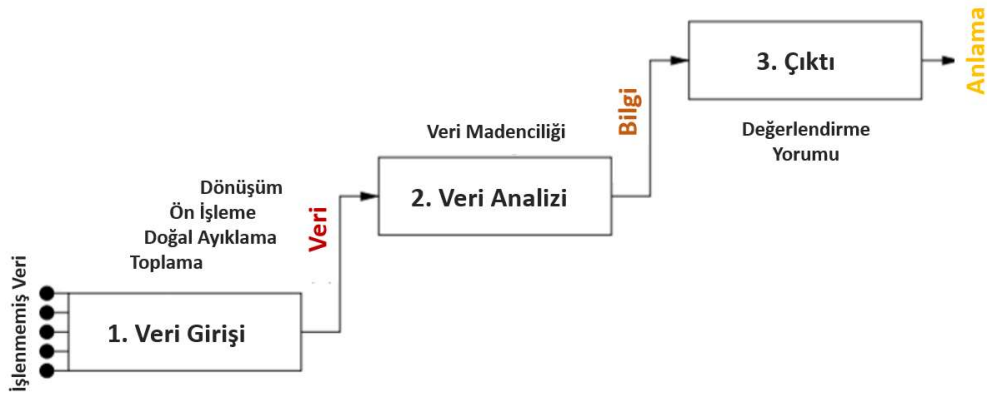


Şekil 10. Makine öğrenimi modeli [56]

Yapay zeka teknikleri benzersiz üretim sorunlarının belirlenmesine yardımcı olur. Böylece üretkenliği, kaliteyi, esnekliği, güvenliğini artırarak maliyeti önemli ölçüde azaltır [56].

Büyük veri analitiği: 2000'lerin başında veri hacimleri hızla yükselmeye başladığında, depolama ve işlemci teknolojileri, çok sayıda terabaytlarca büyük veri tarafından dolduruldu. Bu durum bilgi teknolojilerinin bir veri ölçeklenebilirlik kriziyle karşı karşıya kalmasına neden oldu [58]. Ancak geleneksel veri analitikleri ile bu kadar büyük miktarda veriyi işlemek, takip etmek ve hangi durumlarda kullanıma hazır olduklarını belirlemek zordur [58, 59]. Bununla birlikte, işletmeler büyük verileri yönetemedikleri için toplama ve analiz işlemlerine büyük miktarlarda bütçeler ayırmışlardır. Günümüzde ise işletmeler, daha önce bilmedikleri gerçekleri keşfetmek için büyük verileri araştırıyorlar ve gelişmiş analitiği kullanarak işletmenin mevcut durumunu anlamlandırmayla müşteri davranışı gibi halen gelişen yönleri izlemek için büyük verileri incelemektedirler. Elde ettikleri verilerin bir kısmı sensörlerden, cihazlardan, web uygulamaları

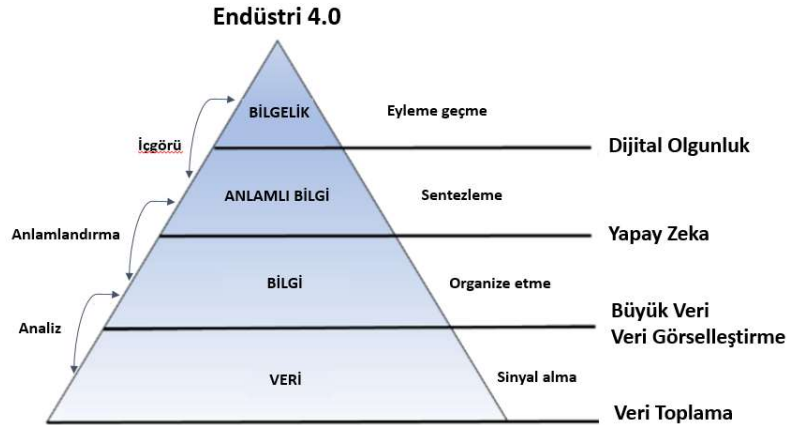
ve sosyal medya gibi üçüncü şahıslardan gelmektedir. Bazı büyük veri kaynakları, verileri kesintisiz olarak gerçek zamanlı besler. Büyük veri, yalnızca devasa veri hacimleriyle ilgili olmayıp aynı zamanda çeşitli hızlarda ve frekanslarda sunulan olağanüstü veri türleri çeşitliliğiyle de ilgilidir [58]. Büyük verileri, verimli bir şekilde analiz etmek için yüksek performanslı bir platformun nasıl geliştirileceği ve büyük verilerden yararlı şeyleri bulmak için uygun bir madencilik algoritmasının nasıl tasarlanacağı sorunu ortaya çıkmaktadır. Aslında, büyük ölçekli verileri analiz etme sorunları yıllardır devam etmektedir. Çünkü veri oluşturmak genellikle verilerden faydalı şeyler bulmaktan çok daha kolaydır. Günümüz bilgisayar sistemleri 1930'lardakinden çok daha hızlı olsa da büyük ölçekli veriler bugün sahip olduğumuz bilgisayarlar tarafından analiz edilmesi gereken bir yüküdür [59]. Büyük ölçekli verileri analiz etme sorunlarına çözüm olarak, oldukça az sayıda verimli yöntem bulunmaktadır. Büyük veri analizinde ayrıntılı bilgi için büyük miktarda verilerle birlikte tahmine dayalı analitik, veri madenciliği, istatistik, yapay zeka, doğal dil işleme, örnekleme, veri yoğunlaştırma, yoğunluğa dayalı yaklaşımlar, ızgara tabanlı yaklaşımlar, böl ve yönet yaklaşımları, artımlı öğrenme ve dağıtılmış hesaplama gibi gelişmiş analitik araç türleri bir araya gelerek bilgi teknolojilerindeki en yeni uygulama olan büyük veri analitiğini meydana getirmiştir [58, 60]. Bu yöntemler, veri analitiği sürecinin performansını iyileştirmek için sürekli olarak kullanılmaktadır [61]. Büyük veri, mevcut bilgi sistemleri veya yöntemlerinin çoğu tarafından işlenemeyecek ve tek bir makineye yüklenemeyecek kadar büyük bir boyuttadır. Ayrıca, merkezi bir veri analizi süreci için geliştirilen çoğu geleneksel veri madenciliği yönteminin veya veri analitiğinin doğrudan büyük verilere uygulanamayacağı anlamına gelir [62]. Veritabanlarında, tüm bilgi keşfi sürecini daha açık hale getirmek için veritabanı süreci; seçme, ön işleme, dönüştürme, veri madenciliği ve yorumlama/değerlendirme olmak üzere birkaç işlemle özetlenmektedir [63]. Verinin toplanmasının ardından verilerden bilgi bulmak ve bilgiyi kullanıcıya göstermek için eksiksiz bir veri analitiği sistemi Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Veri tabanlarında bilgi keşfi süreci [59]

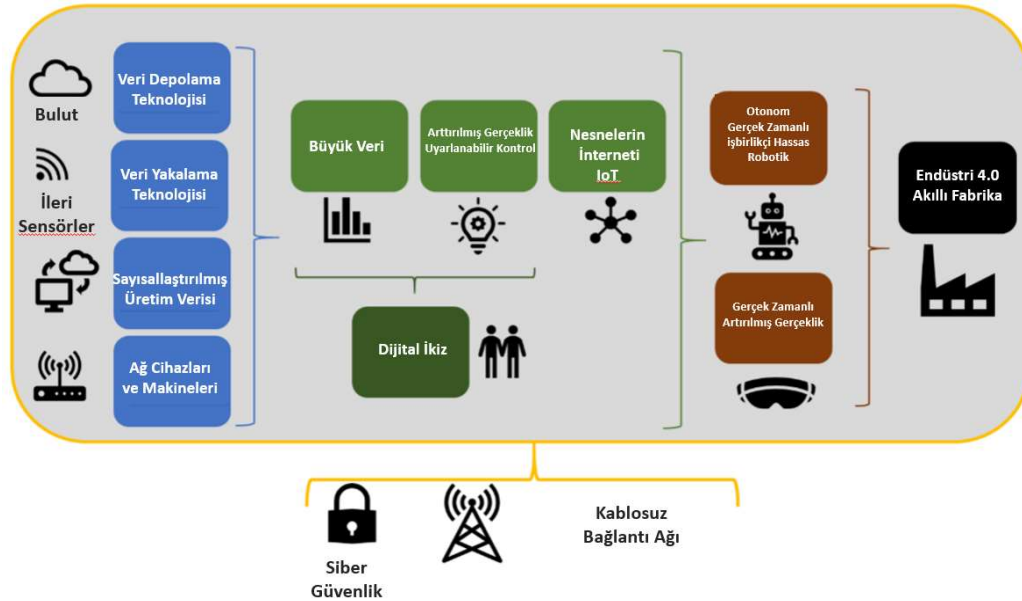
Şekil 11'de gösterildiği gibi, toplama, seçme, ön işleme ve dönüştürme operatörleri veri girişi kısmındadır. Seçim operatörü genellikle veri analizi için hangi tür verilerin gerekli olduğunu bilme ve toplanan verilerden veya veri tabanlarından ilgili bilgileri seçme rolünü oynar. Bu nedenle, farklı veri kaynaklarından toplanan verilerin hedef verilere entegre edilmesi gerekecektir. Ön işleme operatörü; gereksiz, tutarsız ve eksik verileri yararlı veriler haline getirmek için algılamayı, temizlemeyi ve filtrelemeyi amaçlar. Seçim ve ön işleme operatörlerinden sonra, ikincil verilerin özellikleri farklı veri formatında olabilir. Veri tabanlarında bilgi keşfi sürecinin, dönüştürme operatörü tarafından gerçekleştirilen veri madenciliği özellikli bir biçime dönüştürmesi gerekir. Karmaşıklığı azaltma ve verileri, veri analizi bölümünde kullanılmak üzere yararlı hale getirmek için veri ölçeğini küçültme yöntemleri, genellikle boyut indirgeme, örnekleme, kodlama veya dönüştürme gibi dönüşümde kullanılır [59].

Şekil 12’de ise elde edilen verilerin Endüstri 4.0’ı gerçekleştirme yolundaki dönüşümlerini göstermektedir [64].



Şekil 12. Endüstri 4.0’ı gerçekleştirme yolunda veri dönüşümünün aşamaları [64]

Bu dönüşüm aşamalarında; veriler, bir sistemden alınan ham sinyallerden tam dijital olgunluğa dönüştürülür. Veriler ilk olarak bir üretim sürecinden toplanır, daha sonra verilerin sayısallaştırılması ve analiz edilmesiyle büyük veri dönüşümü gerçekleşir, sonrasında yapay zeka yoluyla algılanan anlamla bilgi olarak sentezlenir ve son olarak dijital olgunluğun birleşik içgörülerıyla elde edilen eyleme dönüştürülür. Verilerin bu şekilde dönüştürülmesi ve eyleme geçilmesi Şekil 13’te gösterilen akıllı fabrikalara ve akıllı üretime geçiş yapılmasına olanak sağlamaktadır [64].



Şekil 13. Bir akıllı fabrikayı etkinleştiren teknolojiler [64]

Bununla birlikte, akıllı üretime ulaşmak için üretim dünyası ile teknolojilerin entegre edilmesi zorluklardan birisidir. Bu entegreyi sağlayabilmek için sanal dünya, akıllı ara bağlantı, akıllı etkileşim, akıllı kontrol ve yönetim, vb. dahil olmak üzere bir dizi akıllı operasyon gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda, temel bir üretim birimi olarak, sadece akıllı üretimin zorunlu talebi değil, aynı zamanda kendisinin gelişen trendi olan fiziksel ve sanal alanlar arasındaki etkileşim ve entegrasyonu sağlamak için bir teknoloji tabana ihtiyaç duyulmaktadır [8].

4. SONUÇ

İmalat endüstrisinin evrimi, el emeğine olan bağımlılığı azaltan su ve buharla çalışan makinelerin geliştirilmesine işaret eden 18. yüzyılın sonlarına dayanmakta ve makineleşme çağı olarak adlandırılmaktadır. Bunu 20. yüzyılın başlarında elektriğin ortaya çıkmasıyla seri üretim takip etmiş ve İkinci sanayi devrimi olarak tanımlanmıştır. Üçüncü sanayi devriminde, bilgisayarlar ve otomasyon atölye ortamına aktarılarak otomasyon çağına öncülük edilmiş ve çeşitli rekabet avantajları sağlanmıştır. Ancak, gün geçtikçe imalat endüstrisinin odak noktası, özellikle rekabetçi fiyatlı ve özelleştirilmiş ürünler için her zamankinden daha zorlu müşteri gereksinimlerini karşılamak için ürün merkezli bir ortamdan müşteri merkezli bir ortama kaymıştır. Bu gelişme ise daha esnek ve duyarlı üretim talebini sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu sorunların çözülmesine yardımcı olmak içinde 2011 yılında Hannover Fuarı'nda Endüstri 4.0 tanıtılmıştır. Endüstri 4.0, nesnelerin internetinin ve üretimde siber-fiziksel sistemlerin yer almasını ifade eden geleneksel üretim için teknoloji odaklı bir dönüşümdür. Kesintisiz veri akışıyla üretimin uçtan uca entegrasyonunu sağlar, böylece daha iyi karar verme için gerçek zamanlı izleme, birlikte çalışabilirlik ve şeffaflığı geliştirir. Endüstri 4.0, üretim verimliliğini ve etkinliğini artırmak için gelişmiş bilgi iletişim teknolojilerinin benimsenmesini önermektedir. Endüstri 4.0 maliyet, esneklik, hız ve kalite gibi temel konularda işletmeler için büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlarından dolayı günümüzde birçok büyük ölçekli firma bu teknolojileri kullanmaktadır. Ülkemizde de bu konuda bir farkındalık oluşmaya başlamış olup işletmelerin bu konularda yatırım yaptığı görülmektedir. Çünkü Endüstri 4.0'ın artık bir "gelecek trendi" olmadığı, birçok işletme için artık stratejik ve araştırma gündemlerinin merkezinde yer aldığı farkına varılmıştır. Endüstri 4.0'ın birçok avantajının olmasıyla birlikte daha uygulanabilir hale gelmesi için çözülmesi gereken birçok zorluk ve sorun vardır. Endüstri 4.0 teknoloji sistemlerinin entegrasyon zorluğu, yatırım maliyetinin yüksek olması, teknolojileri kullanacak olan insan kaynağının eksikliği ve hem yöneticilerin hem de çalışanların bu devrime karşı olan dirençleri bu zorluk ve sorunlardan bazılarıdır. Tüm bu zorluk ve sorunlara rağmen işletmelerin rekabetçi kalmaları için Endüstri 4.0'ı benimsemeleri açık bir gerekliliktir.

Kaynaklar

- [1] Can, A. V. ve Kıymaz, M. (2016). Bilişim teknolojilerinin perakende mağazacılık sektörüne yansımaları: muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 107-117.
- [2] Sayer, S. ve Ülker, A. (2014). Ürün yaşam döngüsü yönetimi. *Mühendis ve Makina*, 55(657), 65-72.
- [3] Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- [4] Dündar, A. ve Yıldız, A. (2021). Analysis of the use of industry 4.0 technologies in firms: the case of Bursa province. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 17(2), 105-116.
- [5] Cattaneo, L. ve Macchi, M. (2019). A digital twin proof of concept to support machine prognostics with low availability of run-to-failure data. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 37-42.
- [6] Karagöz, A. ve Yıldız, A. (2019). Dijital ikiz teknolojisinin üretim ve tasarım sistemlerinde kullanılması. 5. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 21-22 Aralık, İstanbul, Türkiye.

- [7] Carolis, A., Macchi, M., Negri, E. ve Terzi, S. (2017). Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. *In 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 487-495.
- [8] Tao, F. ve Zhang, M. (2017). Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing. *IEEE Access*, 5, 20418-20427.
- [9] Özbek, A. ve Yıldız, A. (2020). Digital supplier selection for a garment business using interval type-2 fuzzy TOPSIS. *Textile and Apparel*, 30(1), 61-72.
- [10] Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*: Berlin, Germany.
- [11] Bitkom, V. D. M. A. (2015). ZVEI: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. *Plattform Industrie*, 4.
- [12] Lee, J., Kao, H. A. ve Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3-8.
- [13] Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N. ve Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13).
- [14] Sipsas, K., Alexopoulos, K., Xanthakis, V. ve Chryssolouris, G. (2016). Collaborative maintenance in flow-line manufacturing environments: An Industry 4.0 approach. *Procedia CIRP*, 55, 236-241.
- [15] 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.
- [16] Porter, M. E., ve Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard business review*, 93(10), 96-114.
- [17] Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F. ve Faccio, M. (2017). Assembly system design in the industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700-5705.
- [18] Ray, P. P. (2016). Internet of robotic things: concept, technologies, and challenges. *IEEE Access*, 4, 9489-9500.
- [19] Ustundag, A. ve Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.
- [20] Giusto, D., Iera, A., Morabito, G. ve Atzori, L. (Eds.). (2010). *The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications*. Springer Science ve Business Media.
- [21] Smith, I. G. (2012). *The Internet of Things: New Horizon*. Halifax, U.K.: IERC-Internet of Things European Research Cluster.
- [22] Feki, M. A., Kawsar, F., Boussard, M. ve Trappeniers, L. (2013). The internet of things: the next technological revolution. *Computer*, 46(2), 24-25.
- [23] Miraz, M. H., Ali, M., Excell, P. S. ve Picking, R. (2018). Internet of nano-things, things and everything: future growth trends. *Future Internet*, 10(8), 68.
- [24] Teich, P. (2014). *Segmenting the Internet of Things (IoT); White Paper*. Moor Insights ve Strategy: Austin, TX, USA.

- [25] Wang, J., Lim, M. K., Wang, C., & Tseng, M. L. (2021). The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. *Computers & Industrial Engineering*, 155, 107174.
- [26] Pan, Y. (2016). Heading toward artificial intelligence 2.0. *Engineering*, 2(4), 409-413.
- [27] Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B. ve Nee, A. Y. (2019). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3935-3953.
- [28] Kure, H. I., Islam, S. ve Razzaque, M. A. (2018). An integrated cyber security risk management approach for a cyber-physical system. *Applied Sciences*, 8(6), 898.
- [29] Cardenas, A. A., Amin, S., Lin, Z. S., Huang, Y. L., Huang, C. Y. ve Sastry, S. (2011). Attacks against process control systems: risk assessment, detection, and response. *In Proceedings of the 6th ACM symposium on information, computer and communications security*, 355-366.
- [30] Cherdantseva, Y., Burnap, P., Blyth, A., Eden, P., Jones, K., Soulsby, H. ve Stoddart, K. (2016). A review of cyber security risk assessment methods for SCADA systems. *Computers and security*, 56, 1-27.
- [31] Peng, Y., Lu, T., Liu, J., Gao, Y., Guo, X. ve Xie, F. (2013). Cyber-physical system risk assessment. *In 2013 Ninth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, IEEE, 442-447.
- [32] Wu, W., Kang, R. ve Li, Z. (2015). Risk assessment method for cyber security of cyber physical systems. *In 2015 First International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE)*, IEEE, 1-5.
- [33] Marvell, S. (2015). The real and present threat of a cyber breach demands real-time risk management. *Acuity Risk Management*, 26-27.
- [34] Adar, E. ve Wuchner, A. (2005). Risk management for critical infrastructure protection (CIP) challenges, best practices ve tools. *In First IEEE International Workshop on Critical Infrastructure Protection (IWCIP'05)*, IEEE, 8.
- [35] Abouzakhar, N. (2013). Critical infrastructure cybersecurity: A review of recent threats and violations. *12th European Conf on Cyber Warfare and Security*, Finland, 11-12 July, 1-10.
- [36] Georgakopoulos, D., Jayaraman, P. P., Fazia, M., Villari, M. ve Ranjan, R. (2016) Internet of Things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. *IEEE Cloud Computing*, 3(4), 66-73.
- [37] Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., Mangla, S. K., Luthra, S. ve Kumar, A. (2022). Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 108304.
- [38] Kavzoğlu, T. ve Şahin, EK. (2012). Bulut bilişim teknolojisi ve bulut CBS uygulamaları. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 19 Ekim 2012, Zonguldak.
- [39] Khan, T., Tian, W., Zhou, G., Ilager, S., Gong, M. ve Buyya, R. (2022). Machine learning (ML)-Centric resource management in cloud computing: A review and future directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 103405.
- [40] Vouk, A. M. (2008). Cloud computing—issues, research and implementations. *Journal of computing and information technology*, 16(4), 235-246.

- [41] Sether, A. (2016). Cloud computing benefits. Available at SSRN 2781593, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2781593>.
- [42] Bugiel, S., Nurnberger, S., Sadeghi, A. ve Schneider, T. (2011). Twin clouds: An architecture for secure cloud computing. *In Workshop on cryptography and security in clouds (WCSC 2011)*, 1217889.
- [42] Altınpulluk, H. (2015). Artırılmış gerçekliği anlamak: kavramlar ve uygulamalar. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 123-131.
- [44] Devagiri, J. S., Paheding, S., Niyaz, Q., Yang, X. ve Smith, S. (2022). Augmented reality and artificial intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges. *Expert Systems with Applications*, 118002.
- [45] Li, B. H., Zhang, L. ve Chai, X. (2014). Smart cloud manufacturing (cloud manufacturing 2.0)-a new paradigm and approach of smart manufacturing. *In ISPE CE*, 26.
- [46] Mistry, P., Maes, P. ve Chang, L. (2009). WUW-wear Ur world: a wearable gestural interface. *In CHI'09 extended abstracts on Human factors in computing systems*, 4111-4116.
- [47] Mourtzis, D., Doukas, M. ve Bernidaki, D. (2014). Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia Cirp*, 25, 213-229.
- [48] Bibby, L. ve Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. *Production Planning ve Control*, 29(12), 1030-1043.
- [49] Vaidya, S., Ambad, P. ve Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.
- [50] Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W. ve Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1687814018822880.
- [51] Boeykens, S. (2011). Using 3D design software, BIM and game engines for architectural historical reconstruction. *Designing Together-CAADfutures*, 493-509.
- [52] Talu, M. ve Talu, Ş. (2018). Optimal engineering design of a pressurized paralepipedic fuel tank. *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*, Hunedoara, Romania, 16, 193-200.
- [53] Cardon, D., Cointet, J. P., Mazières, A. ve Libbrecht, E. (2018). Neurons spike back. *Reseaux*, (5), 173-220.
- [54] Wang, L. (2019). From intelligence science to intelligent manufacturing. *Engineering*, 5(4), 615-618.
- [55] Chui, L., Kamalnath, V. ve McCarthy, B. (2018). *An Executive's Guide to AI*, McKinsey.
- [56] Arinez, J. F., Chang, Q., Gao, R. X., Xu, C. ve Zhang, J. (2020). Artificial intelligence in advanced manufacturing: Current status and future outlook. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110804.
- [57] Yılmaz, M., Şahin, H. ve Yıldız, A. (2021). Sectoral application analysis of studies made with deep learning models. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 17(2), 126-140.
- [58] Russom, P. (2011). Big data analytics. *TDWI Best Practices Report, Fourth Quarter*, 19(4), 1-34.

- [59] Tsai, C. W., Lai, C. F., Chao, H. C. ve Vasilakos, A. V. (2015). Big data analytics: a survey. *Journal of Big Data*, 2(1), 1-32.
- [60] Xu, R. ve Wunsch, D. C. (2009). *II, Clustering*. Hoboken. NJ: Wiley/IEEE Press, 6, 583-617.
- [61] Lyman, P. ve Varian, H. (2003). *How much information 2003?* Technical Report. Retrieved from: <http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/>.
- [62] Fisher, D., DeLine, R., Czerwinski, M. ve Drucker, S. (2012). Interactions with big data analytics. *Interactions*, 19(3), 50-59.
- [63] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. ve Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 17(3), 37-37.
- [64] Arden, N. S., Fisher, A. C., Tyner, K., Lawrence, X. Y., Lee, S. L. ve Kopcha, M. (2021). Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future. *International Journal of Pharmaceutics*, 602, 120554.