T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ALANINDA ENDÜSTRİ 4.0'IN UYGULAMALARI İÇERİSİNDE NANOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

Sevcan KARDELEN

Danışman
Prof. Dr. Vahap TECİM

İZMİR – 2022

TEZ ONAY SAYFASI

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Endüstri 4.0'ın Uygulamaları İçerisinde Nanoteknolojinin Kullanımı" adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

22/08/2022

Sevcan KARDELEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Endüstri 4.0'ın Uygulamaları İçerisinde Nanoteknolojinin Kullanımı

Sevcan KARDELEN

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı
Yönetim Bilişim Sistemleri Programı

İçinde bulunulan 4. Sanayi devriminin (Endüstri 4.0) çok farklı teknolojik gelişmelerden etkilenerek evirildiği görülmektedir. Bu teknolojik alanlardan biri de nanoteknolojidir. Bu bağlamda nanoteknolojinin getirmiş olduğu yeni üretim paradigmalarının da Endüstri 4.0 üzerinde etkili olacağı görülmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada nanoteknolojinin Endüstri 4.0 üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmış ve nanoteknolojinin Endüstri 4.0 üzerindeki etkileri kavramsal olarak incelenmiştir. Diğer taraftan bu çalışmada nanoteknolojik gelişmelerin YBS bileşenleri üzerindeki mevcut ve potansiyel etkisi incelenmiştir.

Halen geliştirilmekte olan nanoteknolojinin halihazırda Endüstri 4.0'a kayda değer düzeyde katkı sağladığı gözlenmiş, gelecekte ise sahip olduğu potansiyel ile yeni sanayi devrimlerine yol açacağı görülmüştür. Bu kapsamda ülkemizin de Endüstri 4.0 ve nanoteknolojiden uzak kalmaması ve bu yeniliklere dünya ile eşzamanlı olarak entegre olması gerektiği Endüstri 4.0 ve nanoteknoloji entegrasyonu konusunda gereken politikaları ve yatırımları sürekli olarak uygulaması ve güncellenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. YBS'nin alt bileşenleri üzerinde nanoteknolojik gelişmelerin doğrudan etkili olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sanayi devrimi, nanoteknoloji, Yönetim Bilişim Sistemleri, Endüstri 4.0.

ABSTRACT

Master's Thesis

The Use of Nanotechnology In The Applications of Industry 4.0 In The Field of Management Information Systems

Sevcan KARDELEN

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Management Information Systems

Management Information Systems Program

It is seen that the 4th Industrial Revolution (Industry 4.0) that human being experience at the time being, has evolved by being affected by very different technological developments. One of these technological areas is nanotechnology. In this context, it is seen that the new production paradigms brought by nanotechnology will also be effective on Industry 4.0. In this context, this study aimed to investigate the effects of nanotechnology on Industry 4.0 and the effects of nanotechnology on Industry 4.0 were examined conceptually. On the other hand, in this study, the current and potential effects of nanotechnological developments on MIS components were examined.

It has been observed that nanotechnology, which is still being developed today, has contributed significantly to Industry 4.0, and it has been observed that it will lead to new industrial revolutions with its potential in the future. In this context, it has been concluded that our country should not stay away from Industry 4.0 and nanotechnology and should integrate these innovations simultaneously with the world, and should constantly implement and update the policies and investments required for Industry 4.0 and nanotechnology integration. It has been observed that nanotechnological developments have a direct effect on the sub-components of MIS.

Keywords: Industrial revolution, nanotechnology, Management Information Systems, Industry 4.0.

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ALANINDA ENDÜSTRİ 4.0'IN UYGULAMALARI İÇERİSİNDE NANOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI ii
YEMİN METNİ iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xiv

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

1.1. YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ 3
1.1.1. Yönetim Bilişim Sistemleri Kavramı 3
1.1.2. YBS ile İlgili Kavramlar 4
1.1.2.1. Veri 6
1.1.2.2. Enformasyon 7
1.1.2.3. Bilgi 7
1.1.3. YBS'nin Amacı ve Faydaları 7
1.1.4. YBS'nin Özellikleri 9
1.1.5. YBS'nin Önemi 11
1.1.6. YBS'nin Bileşenleri 14
1.1.6.1. Donanım 14
1.1.6.2. Yazılım 15
1.1.6.3. Veritabanları 15
1.1.6.4. Telekomünikasyon Ağları 16

1.1.6.5. İnsan Kaynakları 17
1.1.6.6. Prosedürler 17

İKİNCİ BÖLÜM
ENDÜSTRİ 4.0

2.1. TARİHSEL SÜREÇTE ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ 19
2.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0) 20
2.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0) 21
2.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0) 22
2.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) 23
2.2. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI 25
2.2.1. Endüstri 4.0'ın Önemi 25
2.2.2. Endüstri 4.0'ın Yapı Taşları 26
2.2.2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT) 27
2.2.2.2. Siber – Fiziksel Sistemler 31
2.2.2.3. Akıllı Fabrikalar 34
2.2.2.4. Büyük Veri ve Analizi 36
2.2.2.5. Bulut Bilişim 38
2.2.2.6. Simülasyon 39
2.2.2.7. Otonom Robotlar 39
2.2.2.8. Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik 40
2.2.2.9. Siber Güvenlik 42
2.2.2.10. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu 43
2.2.2.11. Üç Boyutlu Yazıcılar ve Katmanlı Üretim 44
2.2.3. Endüstri 4.0'ın Türkiye Üzerindeki Etkisi 45

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
NANOTEKNOLOJİ

3.1. NANOTEKNOLOJİ KAVRAMI 49
3.1.1. Nanoteknolojinin Tanımı 49

3.1.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi 50
3.1.3. Nanoteknolojinin Amaçları 52
3.1.4. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları 53
3.1.4.1. Malzeme Bilimi 54
3.1.4.2. Bilgisayar Teknolojisi 55
3.1.4.3. Havacılık ve Uzay Bilimi 55
3.1.4.4. Tıp ve Sağlık Sektörü 56
3.1.4.5. Savunma Sektörü 57
3.1.4.6. Biyoteknoloji ve Tarım 58
3.1.4.7. Çevre ve Enerji 59
3.1.4.8. Gıda Sektörü 60
3.1.5. Nanoteknolojinin Avantajları ve Dezavantajları 61
3.1.5.1. Avantajları 61
3.1.5.2. Dezavantajları 62
3.2. NANOTEKNOLOJİNİN DÜNYADAKİ DURUMU 63
3.3. NANOTEKNOLOJİNİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU 64

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ENDÜSTRİ 4.0'IN İÇERİSİNDE NANOTEKNOLOJİNİN ROLÜ

4.1. NANOTEKNOLOJİNİN ENDÜSTRİ 4.0 İÇERİSİNDEKİ ROLÜ 66
4.2. NANOTEKNOLOJİNİN ENDÜSTRİ 4.0'DA KULLANIMI VE ETKİLERİ 69
4.2.1. Dünyadaki Etkileri 69
4.2.2. Türkiye'deki Etkileri 70

BEŞİNCİ BÖLÜM
YBS UYGULAMALARINDA NANOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

5.1. YBS BİLEŞENLERİNDE NANOTEKNOLOJİNİN ETKİSİ 71
5.1.1. Bilgisayar İşlemcileri ve Nanoteknoloji 71
5.1.2. Veri Depolama Sistemleri ve Nanoteknoloji 74
5.1.3. Nesnelerin İnterneti ve Nanoteknoloji 77

5.1.4. Nanoteknoloji ve Telekominikasyon Ağları 80
5.1.4.1. Mobil ve Kablosuz Cihazlar 81
5.1.4.2. Nano İletişim Ve Kablosuz Ağlar 82

SONUÇ 83
KAYNAKÇA 87

KISALTMALAR

AFM	Atomic Force Microscopy
AI	Artificial Intelligence
AMT	Advanced Manufacturing Technology
AR	Augmented Reality
AR-GE	Araştırma ve geliştirme
BT	Bilgi Teknolojileri
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CERP-IoT	Cluster of European Research Projects on the Internet of Things
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CNFET	Carbon Nanotube Field-Effect Transistors
CNET	Carbon Nanotube Transistors
CPS	Cyber Physical Systems
CPPS	Cyber Physical Production Systems
CPU	Central Processing Unit
DBMS	Database Management Systems
DCS	Distributed Control System
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DRAM	Dynamic Random Access Memory
ERP	Enterprise Resource Planning
FET	Field-Effect Transistors
FFF	Fused Filament Fabrication
FMS	Flexible Manufacturing System
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HDD	Hard Disk Drive
IBM	International Business Machines Corporation
IOE	Internet of Energy
IOP	Internet of People
IOS	Internet of Services
IoT	Internet of Things

IONT	The Internet of Nano Things
IP	Internet Protocol
ITRS	The International Technology Roadmap For Semiconductor
ITU	International Telecommunication
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MRAM	Magnetoresistive random-access memory
MEMS	Micro Electronic Mechanical Systems
MES	Manufacturing Execution System
MNT	Moleküler Nano Teknoloji
NFC	Near Field Communication
NITRD	Networking and Information Technology Research and Development
NNI	National Nanotechnology Initiative
NSF	National Science Foundation
NT	Nanoteknoloji
OLED	Organic Light-Emitting Diode
PCAST	President's Council of Advisors on Science and Technology
PCB	Printed Circuit Board
PLC	Polychlorinated biphenyl
POS	Point of Sale
PRAM	Phase-Change Random Access Memory
RFID	Radio-frequency identification
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SLA	Stereolitografi
SLS	Selective Laser Sintering
SRAM	Static Random Access Memory
SSB	Savunma Sanayii Başkanlığı
STM	Scanning Tunneling Microscope
TCE	Trichloroethylene
TiO_2	Titanyum Dioksit
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNAM	Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

WAN	Wide Area Network
WBAN	Wireless Body Area Networks
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
VR	Virtual Reality
YBS	Yönetim Bilişim Sistemleri
ZnO	Çinko oksit

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Veri, Enformasyon Ve Bilgi Kavramlarının Farklılıkları s. 5
Tablo 2. Otonom Robotların Kullanıldığı Endüstriyel Alanlar s. 40
Tablo 3. Ülkelerin Endüstri 4.0'a Uyumluluk Düzeyleri s. 46
Tablo 4. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi s. 51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Veri, Enformasyon ve Bilgi Kavramları Hiyerarşisi s. 6
Şekil 2. Firma İle Bilgi Sistemleri Arasındaki Bağımlılık s. 12
Şekil 3. Endüstri Devrimlerinin Gelişim Süreci s. 19
Şekil 4. Iot Topolojisi Ve Bağlı Nesneler s. 28
Şekil 5. Iot'nin Katmanlı Mimarisi s. 29
Şekil 6. Sistem Entegrasyonu s. 44
Şekil 7. Nanoteknolojinin 2010-2020 Arası Dünya Çapında Piyasa Değeri s. 64

GİRİŞ

İçinde yaşanılan dönemde meydana gelen teknolojik gelişmeler endüstriyel üretimde kayda değer bir şekilde etkisini göstermektedir. Geleneksel olarak bilinen ilk sanayi devriminden günümüze buhar makinesi, elektrik ve bilgisayar ve internet gibi buluşların üretim paradigmalarında çok önemli gelişmelere neden olduğu görülmektedir. Bu bağlamda günümüzde özellikle bilgisayar, internet, yapay zekâ ve kablosuz iletişim teknolojilerinin içinde bulunduğumuz 4. Sanayi devriminin (Endüstri 4.0) meydana gelmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan nanoteknolojinin getirmiş olduğu yeni üretim paradigmalarının da Endüstri 4.0 üzerinde etkili olacağı görülmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada nanoteknolojinin Endüstri 4.0 üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Diğer taraftan bu çalışmada nanoteknolojik gelişmelerin YBS bileşenleri üzerindeki mevcut ve potansiyel etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda nanoteknolojinin Endüstri 4.0 üzerindeki etkileri kavramsal olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde tarihsel süreçte endüstri devrimleri incelenmiş ve nihai olarak Endüstri 4.0 olabildiğince tüm detaylarıyla ele alınmıştır. Bu bölümde Endüstri 4.0'ın temel yapı taşları açıklanmış, Endüstri 4.0'ın Türkiye üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise nanoteknoloji kavramı incelenmiş, nanoteknolojinin gününüzde kullanıldığı alanlar açıklanmıştır. Bu bölümde nanoteknolojinin avantajları ve dezavantajları, dünyadaki ve Türkiye'deki durumu özetlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise Endüstri 4.0 içerisinde nanoteknolojinin rolü ele alınmıştır. Bu bağlamda ülkemizde ve dünyada Endüstri 4.0 ve nanoteknoloji konusunda yapılmış olan birtakım çalışmalar incelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise nanoteknolojik gelişmelerin YBS bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda YBS'ye etki edecek nanoteknolojik gelişmeler araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda ise günümüzde halen geliştirilmekte olan nanoteknolojinin halihazırda Endüstri 4.0'a kayda değer düzeyde katkı sağladığı gözlenmiş, gelecekte ise sahip olduğu potansiyel ile yeni sanayi devrimlerine yol açacağı görülmüştür. Bu

kapsamda ülkemizin de Endüstri 4.0 ve gerekse de nanoteknolojiden uzak kalmaması ve bu yeniliklere dünya ile eşzamanlı olarak entegre olması gerektiği Endüstri 4.0 ve nanoteknoloji entegrasyonu konusunda gereken politikaları ve yatırımları sürekli olarak uygulaması ve güncellenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

1.1. YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

1.1.1. Yönetim Bilişim Sistemleri Kavramı

Bilişim kavramı, son zamanlarda, bilginin miktarındaki muazzam büyümenin ve ileri teknolojinin temsil ettiği gücün bir anlaşılması ile birlikte bilginin toplanması, işlenmesi ve iletilmesi üzerinde yapılan çalışmaların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, bilişim herhangi bir çağdaş toplumun ekonomik ve sosyal yaşamında önemli ve temel bir faktördür ve iş performansında yararlı olan bilgi ve deneyim arzı ile ilgili olarak toplumun tüm kesimlerinin düşünce kalıplarında ve alışkanlıklarında etkili olmaktadır. Bilişim teorik veya pratik olsun her düzeyde problem çözme ve karar vermede ve bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Çok farklı alanlarda kullanılması bu sistemlerin tanımlanmasında da belirli farklılıkları doğal olarak beraberinde getirmektedir. Örneğin Laudon ve Laudon (2014)'a göre yönetim bilişim sistemlerini işletme düzeyinde karar vermeyi, koordinasyonu, kontrolü ve analizi desteklemek için bilgiyi toplamak, depolamak ve işlemek için birlikte çalışan birleşik ve bağlantılı bileşenler olarak tanımlamıştır. Araştırmacılara göre bilişim sistemlerinin kullanımı ile birlikte birçok belirsizlik yönetim için anlaşılır hale gelir ve yöneticilerin ve personelin sorunları analiz etmeleri ve zor konuları anlamaları daha kolay hale gelir. Hicks (2003)'e göre yönetim bilişim sistemleri çoğu durumda, karar alıcıya zamanında bilgi toplamak, düzenlemek, analiz etmek, değerlendirmek ve yaymak için kullanılan ve insanlardan, ekipmandan ve prosedürlerden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler yönetimin karar verme süreçleri için gerekli bilgileri sağlamak için çeşitli kaynaklardan veri toplar, besler, işler ve raporlar.

Yönetim bilişim sistemleri terimi, bilgisayar tabanlı sistemlerle eş anlamlıdır. Geniş anlamda, yöneticilerin tüm bilgi ihtiyaçlarını karşılayan sistem olarak görülmektedir. YBS, değerli kaynakların kullanılması, doğru ve eksiksiz bir şekilde elde edilmesi, işlenmesi, depolanması ve geri alınması için minimum bilişsel ve

ekonomik maliyetle seçimler yapan kişilere bilgi sağlama mekanizmasıdır (Reddy vd., 2009).

YBS iç ve dış kaynaklardan gelen verileri bilgiye dönüştüren ve bu bilgiyi uygun bir biçimde, tüm fonksiyonlardaki tüm seviyelerdeki yöneticilere, bulundukları faaliyetleri planlamak, yönlendirmek ve kontrol etmek için zamanında ve etkili kararlar vermelerine destek sağlayan bir sistemdir (Bee ve Bee, 1999).

Yönetim bilişim sistemleri, veri toplama, analiz etme ve bilginin karar verme biçiminde sunulmasıyla ilgili bir dizi prosedür ve yoldan oluşan sistemler olarak tanımlanır. Bilgi sistemleri, organizasyonun ihtiyaç duyduğu bilgileri bir araya getirmek için birlikte çalışan, operasyonları desteklemek için depolanan, işlenen, dağıtılan ve alınan bir dizi iç içe bileşen ve modüler prosedür olarak tanımlanır (Laudon ve Laudon, 2014).

1.1.2. YBS ile İlgili Kavramlar

Veri, enformasyon ve bilgi kavramları birbirine yakın anlamlara sahip olsa da birtakım farklılıkları barındırmaktadır. Bu farklılıklar aşağıdaki tabloda özet olarak açıklanmıaktadır (Dorji ve Kirikova, 2016):

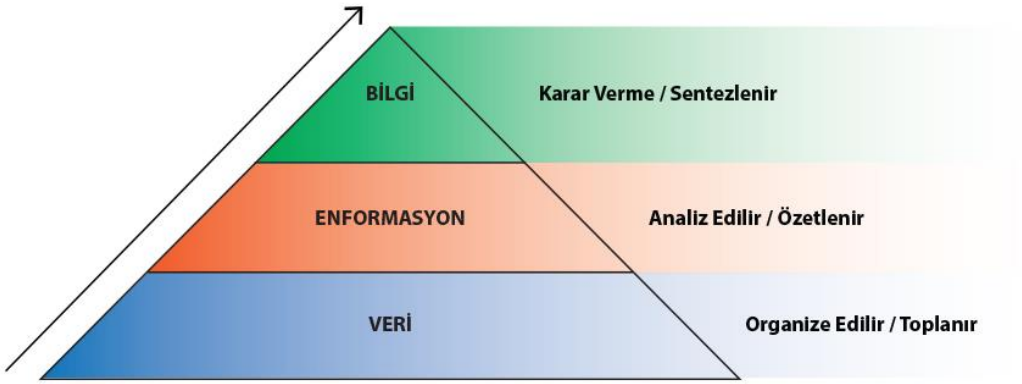
Tablo 1. Veri, Enformasyon ve Bilgi Kavramlarının Farklılıkları

Kavramlar	**Özellikler**
Veri	i. Veri, fikirleri, nesneleri veya koşulları temsil eden farklı bilgiler ve gerçekler üretmek için toplu değer parçalarıdır. ii. Veriler, akıl yürütme ve hesaplamaların temelidir. iii. Herhangi bir karar vermeye uygun bilgi yaratmak için, toplu veri düzenlemelerinin uygun şekilde analiz edilmesi gerekir. iv. Veriler gözlemlenir, yorumlanmamış sembollerdir.
Enformasyon	i. Enformasyon, şeylerin sıralı düzenlenmesi yoluyla bir şey veya biri hakkında öğrenilen ayrıntılar veya gerçeklerdir. ii. Enformasyon yorumlanır semboller ve sembol yapıları. Bilgi, uygun şekilde toplanan verilerin analizinden sonra elde edilir. iii. Enformasyon, anlayışın artmasına ve belirsizliklerin azalmasına neden olabilir. iv. Enformasyon, herhangi bir karar verme, davranış veya sonucun anahtarıdır.
Bilgi	i. Bilgi, deneyim yoluyla edinilen bir konu hakkında bir anlayıştır. ii. Bilgi, belirli bir konuyla ilgili birikmiş bilgi yelpazesini inceleyerek kazanılır. iii. Bilgi, konuyla ilgili bilgilere odaklanan kapsamlı bir deneyim gerektirir.

Kaynak: Dori ve Kirikova, 2016.

Şekil 1'de veri enformasyon ve bilgi arasındaki hiyerarşi gösterilmiştir. Bu bağlamda veriler büyük miktarlarda toplanır ve bilişim sistemleri ile analiz edilerek özet halde enformasyon haline getirilir. Daha sonra ise karar verme ve sentez ile bilgiye ulaşılır. Bu noktada bilişim sistemlerinin önemli görevler görür. Örneğin verilerin toplanması ve depolanması, işleme yoluyla anlamlı veriler haline getirilerek enformasyon elde edilmesi ve nihai olarak karar destek sistemlerinde sentezler yapılarak bilginin elde edilmesi bilişim sistemlerinin görevleri arasındadır (Reddy vd., 2009).

Şekil 1. Veri, Enformasyon ve Bilgi Kavramları Hiyerarşisi



Kaynak: Reddy vd., 2009.

1.1.2.1. Veri

Yalnız başına herhangi bir anlamı olmayan, ham bir şekilde bulunan ve bu şekliyle birlikte herhangi bir fayda sağlamayan değerlerdir. Veri temel olarak bilginin işlenmemiş halini ifade eder. En genel anlamda insanların kavrayabileceği ve kullanabileceği biçimde bir anlama sahip olmayan ham yığınlar anlamına gelmektedir (Dondurmacı ve Çınar, 2014). Örneğin anlamı olmayan bir metin, sayı ve sembol koleksiyonu veridir. Bu nedenle, veriler anlam kazanmadan önce işlenmeli veya bir bağlamla sağlanmalıdır.

Veriler, bilgi için hammaddelerdir. Miktarları, eylemleri, nesneleri vb. temsil eden rastgele olmayan sembol grupları olarak tanımlanır. Bilgi sistemlerinde, veri öğeleri alfabetik, sayısal veya özel semboller olabilen karakterlerden oluşturulur. Veri öğeleri, veri yapılarına, dosya yapılarına ve veritabanlarına işleme amaçları için düzenlenir. Bilgi işleme ve karar verme ile ilgili veriler ayrıca metin, görüntü veya ses biçiminde olabilir. Veri yığınlarının tek başına çok az değeri vardır veya hiç değeri yoktur. Bununla birlikte, ilgili verilerin dikkatli bir şekilde toplanması ve saklanması, bilgili herhangi bir kuruluş için önemlidir (Stafford, 2009).

1.1.2.2. Enformasyon

Enformasyon düzenlenmiş verileri ifade eder. Enformasyon, verilerin genellikle bilgisayar tarafından işlenmesinin sonucudur. Bu, işlenen verilerin bağlam içinde kullanılmasını ve anlam kazanmasını sağlar. Enformasyon, anlamı olan veridir ve bir hizmete yönelik olarak depolanan, sınıflandırılan, düzenlenen, transfer edilen anlamlı veri ya da verilerin topluğunu ifade eder (Öztürk, 2018).

Enformasyon, organize edilmiş veridir. Veritabanı teknolojisi, istatistiksel analiz yazılımı ve grafik yazılımı, sayısız form ve konfigürasyondaki verilerin elektronik olarak depolanmasına, iletilmesine ve görüntülenmesine izin verir. Gerçekten de, bilginin yayılması o kadar kolay hale getirilmiştir ki, aşırı bilgi yüklemesi sorunları ortaya çıkmıştır. Hangi bilgilerin, kime ve ne sıklıkta verileceği konusunda dikkatli kararlar alınmalıdır. Bu soruların yanıtları son derece bağlama bağlıdır ve alan uzmanlarının, bilgisayar teknoloji uzmanlarının ve politika yapıcıların birleşik uzmanlığını gerektirir (Stafford, 2009).

1.1.2.3. Bilgi

Bilgi, biliş veya tanıma, hareket etme kapasitesi (know-how) ve akılda veya beyinde var olanı anlama, neden olduğunu bilmedir. Bilginin amacı hayatımızı iyileştirmektir. Bilgi, bir öznenin veya nesnenin açık ve kesin olarak algılanması ve/veya belirli bir gerçeğin anlaşılması olarak tanımlanabilir. Özünde, zihinde bulunan içeriktir. Bu nedenle bilgi edinme süreci, bilgiyi (anlamı) yorumlamamız yoluyla gerçekleşir. Bu bağlamda işletmelerde veya örgütlerde değer yaratmak açısından bilginin yönetilmesi ve buna yönelik araç ve sistemlerin kullanılması çok önemli hale gelmektedir.

1.1.3. YBS'nin Amacı ve Faydaları

YBS'nin amacı, yöneticilerin yapılandırılmış sorunları çözmelerine yardımcı olmaktır. Ancak aynı zamanda bir dizi başka amacı da yerine getirmelidir (Reddy vd., 2009):

- Hem harici hem de dahili kaynaklı uyarıları analiz etmelidir. Bu veri tabanı yönetiminin ana işlevidir.
- Rutin işlemleri otomatikleştirmeli, böylece işleme görevlerinde insan çalışmasından kaçınmalıdır.
- Rutin kararlar almada yönetime yardımcı olmalıdır.
- Rutin olmayan kararlar almak için gerekli bilgileri sağlamalıdır.
- Rekabet avantajları elde etmek için stratejik bir silah olarak hizmet etmelidir.

Teknoloji ve insan etkileşiminin günümüzdeki işletmeler açısından olmazsa olmaz olduğu ifade edilebilir. Zira bilişim sistemleri yalnız başına insan etkileşimi olmadan günümüzde kullanılamamaktadır. Bilişim sistemleri kadar kullanıcıları olan insanlar da önem arz eder. Bilişim sistemleri, insan etkileşimi verileri anlamlı bir hale getirerek, programlar ve yönetsel süreçlerle ilgili olarak karar vericilere yardım eden bir sistemdir. Yöneticilere destek sağlamak karar verme sürecinde yönetim bilişim sistemlerinin en kayda değer amaçlarından biridir. Diğer başka önemli amaçlarından biri ise bilişim sistemlerinin tüm teknolojik altyapısıyla insan unsurunu sürece entegre etmesidir. Yönetim bilişim sistemlerinin gelişmesinde, rekabet artışı, teknolojik gelişmeler, tam ve doğru bilgiye erişme isteği, karar alma etkinliklerinin fonksiyonu ve üniversitelerde yapılan çalışmalar kayda değer rol oynamış ve halen de oynamaktadır. Genel olarak yönetim bilişim sistemlerinin rolleri ve amaçları ele alındığında verimlilik, etkinlik, hizmet kalitesi, fırsatlardan yararlanma, müşteri memnuniyeti, rekabet avantajı sağlama ve ürün geliştirme konusunda genel amaçlar da ifade edilebilir (Hanaylı, 2018). Nihai olarak yönetim bilişim sistemlerinin genel amaçları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Dondurmacı ve Çınar, 2014):

- Verimlik: Rutin iş ve faaliyetlerin en süratli şekilde ve az maliyet ile icra edilmesini içerir.
- Hizmet: Otomatik sistem ve makineler kullanılarak çeşitli hizmetlerin geliştirilmesi amaçlanır.
- Etkinlik: Yöneticilerin doğru ve süratli kararlar alabilmesi, müşterilere ve satıcılara kolaylıklar sağlanması amaçlanır.
- Müşteri Memnuniyeti: Müşterilerin talep ettiği şekilde kaliteli ürünleri üretmek ve onların taleplerine yanıt vermeyi amaçlar.

- Fırsatlardan Yararlanma: Bilişim sistemleri kullanılarak pazarda meydana gelen değişimler izlenir ve pazar trendlerine yönelik bilgi edinilir.
- Ürün geliştirme: Bilişim teknolojilerinden istifade ederek yeni ürünlerin geliştirilmesi amaçlanır.
- Rekabet Geliştirme: Yeni ürün geliştirilmesinde müşteri taleplerinin dikkate alınmasını amaçlanır.

YBS işletmelerin verimliliği ve başarısı açısından birçok faydayı beraberinde getirmektedir. Aşağıdakiler, farklı yönetim bilişim sistemleri türleri için elde edilebilecek faydalardan bazılarıdır (Somendra ve Cheng, 1995);

- Şirketler, gelir raporları, çalışanların performans kayıtları vb. nedeniyle güçlü ve zayıf yönlerini vurgulayabilirler. Bu hususların belirlenmesi şirketin iş süreçlerini ve operasyonlarını iyileştirmesine yardımcı olabilir.
- Şirketin genel bir resmini verir ve bir iletişim ve planlama aracı olarak hareket eder.
- Müşteri verilerinin ve geri bildiriminin mevcudiyeti, şirketin iş süreçlerini müşterilerin ihtiyaçlarına göre düzenlemesine yardımcı olabilir. Müşteri verilerinin etkin yönetimi, şirketin doğrudan pazarlama ve promosyon faaliyetlerini gerçekleştirmesine yardımcı olabilir.
- Bilgi, modern rekabet dünyasında herhangi bir şirket için önemli bir varlık olarak kabul edilir. Tüketici satın alma eğilimleri ve davranışları, şirketin her faaliyet bölgesinden satış ve gelir raporlarının analizi ile tahmin edilebilir.

1.1.4. YBS'nin Özellikleri

Yönetim Bilişim Sistemi temel olarak veriyi bilgiye dönüştürmekle ilgilenir. Veri toplama, aşağıdakileri içeren Bilgi Teknolojisinin kullanımı bilgisayarlar ve telekomünikasyon ağlarının (E-posta, Sesli Posta, İnternet, telefon, vb.) kullanımını içerir (Reddy vd., 2009):

- Bilgisayarlar, nitelden daha nicel, veri toplama, depolama ve alma için önemlidir. Özel özellikler hız, doğruluk ve büyük miktarda verinin depolanmasıdır.
- Telekomünikasyon ağları ise tek yönlü veya iki yönlü iletişim ve mesajların iletilmesi için araçlar sağlar.

Bir YBS bu araçların bir kombinasyonu kullanır. Örneğin telefon, bilgisayar, işlemci, yazıcı vb. gibi donanımlar ile gerekli yazılımların kombinasyonu YBS'yi oluşturur. Bir yönetim bilişim sistemi, işletmelerin bilgi arayışında olan yöneticilere cevaplar vermesini sağlar. YBS bunu, kuruluşun operasyonları hakkında (temel bilgi teknolojisi sistemlerinde yer alan) ham verileri, kuruluşun prosedürlerini yansıtan uzman sistemlerde çalışanlardan toplanan bilgilerle birleştirerek yapar (Reddy vd., 2009).

YBS işletme veya örgüt gereksinimlerine cevap vermeye odaklı olmalıdır. Bu noktada ifade edilen gereksinim konusu incelendiğinde, işletme ya da örgütte üst düzey yöneticilerin ihtiyacı olan bilgiye ulaşmak için ham verileri toplayan personelin karşılaştıkları zorluklar, problemler çözülmeli ve aksaklıkların giderilmesi gerektiği görülmektedir. Diğer taraftan üretim ve hizmet sunumu sürecinde bilgi kaynaklı problem, eksiklik ve aksaklıklara çözüm bulunması gerektiği gözlenmektedir. İşletme veya örgüt içerisinde çok fazla değişiklikler meydana gelebilir. Bu bağlamda bilişim, sistemsel ve yönetimsel alanlarda sorunlar meydana gelebilir. Çok fazla girdinin var olduğu bu sistemde, organizasyona ilişkin spesifik olgular, bölge şartlarındaki değişkenler, yönetim birimlerinin ve personelin daha karmaşık bir hale gelmesi gibi birtakım durumlarda işletmenin bu değişimlere ayak uyduracak yeni uygulamalar geliştirmeye yönelik olarak mutlak anlamda yeni adımlar atması zorunlu hale gelecektir. YBS bu değişimin en etkin şekilde hayata geçirilmesinde önemli katkılar sunabilmektedir. Bu bağlamda YBS'nin değişimi ve gelişimi destekleyen özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilebeilir (Hanaylı, 2018):

- *YBS tümleşik bir sistemdir:* YBS, işletme ya da örgüt içinde farklı birimlerde üretilen anlamlı bilgilerin bir araya getirildiği birçok alt sistemden meydana gelen tümleşik sistemlerdir.
- *YBS, insan-bilgisayar sistemidir:* İnsan etkileşimi günümüzde YBS için olmazsa olmazdır. YBS'de bilgisayar sistemleri insan unsuru tarafından kullanılır. Bilgisayar sistemleri ile birlikte birçok işlem pratik ve süratli bir biçimde yapılırken, güvenli, tutarlı ve doğru bilgiye erişim sağlanabilmektedir.
- *YBS, verileri işlemesiyle birlikte işletme/örgüte bilgi desteği veren bir sistemdir:* Verilerin işlenmesi ile birlikte bilgiye dönüştürülmesi neticesinde kayda

değer bilgiler organizasyonun bilgi veri tabanına girdi olarak toplanır ve muhafaza edilir.

- *YBS, yönetimin karar verme sürecine destek sağlar:* Yönetimde karar verme sürecinde YBS gereksinim duyulan bilgilerin incelenmesine, ayrıştırılmasına, işlenmesine ve sunulmasına imkân tanır. Sayısal ve sayısal olmayan modellere yönelik olarak çalışarak karar alma konusunda yönetim açısından çevreyi analiz eder ve gerek duyulan bilgi gereksinimini karşılar. Yöneticilere yönelik olarak her an ve her yerde meydana getirilmiş olan bilgileri ortaya koyar. Yöneticilerin ihtiyaç duyduğu günlük, haftalık, aylık raporları oluşturur. YBS bilgi güvenliği açısından da önlemlere sahip olarak izinsiz erişimlere mani olur. Sisteme bağlı olan cihaz ve bilgisayarların yalnızca amaca yönelik kullanılmasını sağlar. Muhtelif ağlar, bilgisayar donanımları, yazılımları ve veri tabanlarının bir arada kullanılmasına imkân tanır.

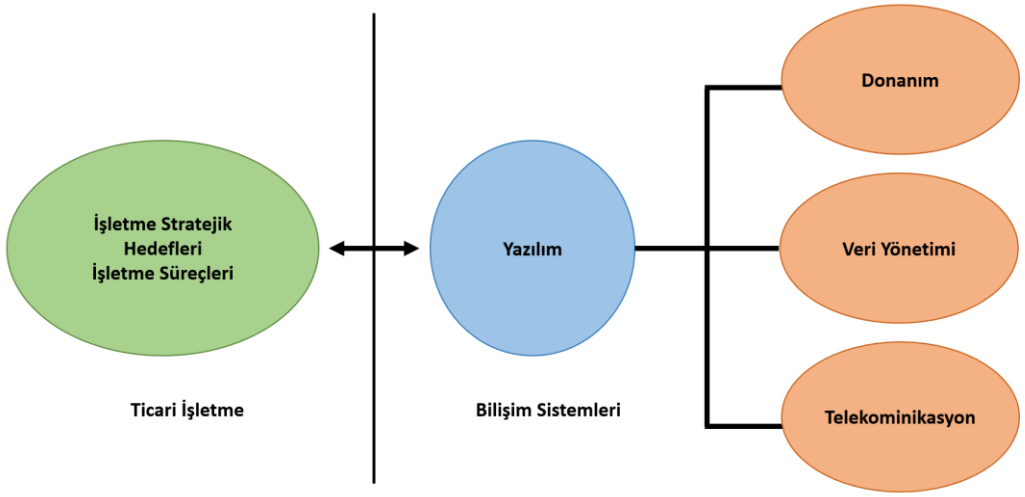
1.1.5. YBS'nin Önemi

Bilgisayarların yaygın kullanımından önce, birçok kuruluş büyük miktarda veri ve bilgiyi toplama, depolama, organize etme ve dağıtma konusunda zorluklar yaşamıştır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, yöneticilerin ihtiyaç duydukları bilgileri, ihtiyaçlarına en uygun biçimde ve istedikleri zamanda seçmelerini mümkün kılmıştır. Bu bilgiler güncel olmalıdır ve çoğu durumda aynı anda birçok kişi tarafından ihtiyaç duyulur. Bu nedenle doğru, özlü, zamanında, eksiksiz, iyi sunulmuş ve saklanabilir olmalıdır. Günümüzün bilgi çağındaki çoğu firma bilişim teknolojileri ile bağımlıdır. Ancak kişisel bilgisayarlar (PC'ler) yalnız başına kurumsal üretkenliği artırmaz. Başarı bu sistemlerin ancak verimli ve etkili bir şekilde kullanıldıklarında gerçekleşir. Üst yönetim, farklı fonksiyonel alanların ihtiyaç duyduğu temel bilişim sistemlerinin satın alımını baştan detaylı ele almalıdır. Zira verileri ve çalışan bilgilerini toplamak ve depolamak, işlemek için gereken ileri teknolojik sistemleri devreye sokmak maliyetli olabilir (Reddy vd., 2009).

Bilişim sistemleri, bilginin yöneticilere istedikleri biçimde ve ihtiyaç duydukları anda sunulmasını sağlayan mekanizmadır. Karar vermeleri için ilgili bilgileri sağlayarak çalışmalarını desteklemek için tasarlanmıştır. Bilişim sistemleri, verilerin doğru, iyi sunulmuş, güncel ve uygun maliyetli bilgilere dönüştürülmesinde

kuruluşlara açıkça yardımcı olabilir (Reddy vd., 2009). Bir firmanın bilgi teknolojisini kullanma becerisi ile kurumsal stratejileri uygulama ve kurumsal hedeflere ulaşma becerisi arasında artan bir karşılıklı bağımlılık vardır. Bu ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Çağdaş sistemlerde, bir firmanın bilgi sistemleri ile iş yetenekleri arasında artan bir karşılıklı bağımlılık vardır. Strateji, kurallar ve iş süreçlerindeki değişiklikler, giderek artan bir şekilde donanım, yazılım, veri tabanları ve telekomünikasyonda değişiklikler gerektirir. Çoğu zaman, organizasyonun yapmak istediği şey, sistemlerinin ona ne yapmasına izin vereceğine bağlıdır (Laudon ve Laudon, 2014).

Şekil 2. Firma ile Bilgi Sistemleri Arasındaki Bağımlılık



Kaynak: Laudon ve Laudon, 2014.

Bir işletmenin beş yıl içinde yapmak istediği şey genellikle sistemlerinin neler yapabileceğine bağlıdır. Pazar payını artırmak, kaliteli ürün üretmek yanında düşük maliyetli üretim yapabilmek, yeni ürünler geliştirmek ve kurumdaki çalışan verimliliğini artırmak, organizasyondaki bilgi sistemlerinin çeşidine ve kalitesine giderek daha fazla bağlıdır. Bu ilişki ne kadar çok anlaşılırsa, yönetici olarak o kadar değerli hale gelir. Spesifik olarak, ticari firmalar altı stratejik iş hedefine ulaşmak için bilgi sistemlerine yoğun bir şekilde yatırım yaparlar. Bunlar aşağıda açıklandığı gibi 6

ayrı başlık altında incelenebilir. Bunlar aşağıda detaylı olarak verişmektedir (Laudon ve Laudon, 2014):

- *Operasyonel mükemmellik:* İşletmeler, daha yüksek karlılık elde etmek veya bazen varlıklarını sürdürebilmek için operasyonlarının verimliliğini sürekli olarak iyileştirmeye çalışırlar. Bilgi sistemleri ve teknolojileri, özellikle iş uygulamaları ve yönetim davranışındaki değişikliklerle birleştiğinde, kurumsal faaliyetlerde daha yüksek verimlilik ve üretkenlik seviyelerine ulaşmak için yöneticilere sunulan en önemli araçlardan bazılarıdır.
- *Yeni Ürün, Hizmet ve İş Modelleri:* Bilgi sistemleri ve teknolojileri, firmaların yeni ürün ve hizmetler yaratmasının yanı sıra tamamen yeni iş modelleri yaratmasını sağlayan önemli bir araçtır. Bir iş modeli, bir kurumun zenginlik veya katma değer yaratmak için bir ürün veya hizmeti nasıl ürettiğini, alıcıya nasıl teslim ederek sattığını açıklar.
- *Müşteri ve Tedarikçi Yakınlığı:* Bir kurum alıcısını tanırken ve onlara iyi hizmet verdiğinde, memnuniyet derecelerine bağlı olarak müşteriler memnun olduklarını göstermek için tekrardan ve daha fazlasını satın alır. Bu, gelirleri ve kârları artırır. Tedarikçiler için de aynı şekilde yakın ilişki önemlidir. Bir kurum tedarikçileriyle ne kadar sıkı ilişki kurarsa, tedarikçiler o kadar önemli girdiler sağlayabilir. Bu maliyetleri düşürür. Müşterileri veya tedarikçileri gerçekten nasıl tanınacağı, milyonlarca çevrimdışı ve çevrimiçi müşterisi olan işletmeler için temel bir sorundur. Bu noktada bilişim sistemleri önemli görevler yapar.
- *Gelişmiş Karar Verme:* Birçok kurum yöneticisi, bilerek ve isteyerek doğru karar vermek için doğru zamanda doğru bilgiye ihtiyaç duyar. Elinde doğru olmayan bilgi bulunmayan yöneticiler tahminlere, en iyi tahminlere ve şansa güvenirler. Sonuç, mal ve hizmetlerin aşırı veya eksik üretimi, kaynakların yanlış tahsisi ve yetersiz yanıt süreleridir. Bu kötü sonuçlar maliyetleri artırır ve müşteri kaybeder. Son yıllarda, bilgi sistemleri ve teknolojileri, yöneticilerin karar verirken bilgi sistemlerinde bulunan güncel verilerin kullanmasını mümkün kılmaktadır.
- *Rekabet Avantajı:* Firmalar yukarıdaki iş hedeflerinden bir veya birkaçına ulaştığında önemli ölçüde bir rekabet avantajı elde etmiş olurlar. İşleri olası rakiplerden mümkün olduğunca daha iyi yapmak, farklı ve üstün ürünler için olabildiğince daha az ücret almak ve müşterilere ve tedarikçilere her türlü iletişim

aracını kullanarak gerçek zamanlı olarak yanıt vermek, rakiplerin erişemeyeceği daha yüksek satışlar ve daha yüksek karlar elde etme imkanı sağlar.

- *Hayatta Kalma:* İşletme firmaları, iş yapmanın gereklilikleri olduğu için bilgi sistemlerine ve teknolojilerine de yatırım yaparlar. Bazen bu "gereksinimler" endüstri düzeyindeki değişiklikler tarafından yönlendirilir. Örneğin, Citibank, 1977'de daha yüksek hizmet seviyeleri ile müşteri çekmek için New York bölgesinde ilk otomatik vezne makinelerini (ATM'ler) piyasaya sürdükten sonra, rakipleri Citibank'a ayak uydurmak için müşterilerine ATM'leri sağlamak için koşturmuştur. Bugün, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki hemen hemen tüm bankaların bölgesel ATM'leri vardır ve CIRRUS gibi ulusal ve uluslararası ATM ağlarına bağlanırlar. Bireysel bankacılık müşterilerine ATM hizmetleri sunmak, perakende bankacılık işinde bulunmanın ve ayakta kalabilmenin bir gereğidir.

1.1.6. YBS'nin Bileşenleri

Yönetim bilişim sistemleri, donanım ve yazılım, telekomünikasyon, veri tabanları, insan kaynakları ve prosedürleri içerir. Bu kavramlar hakkında aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

1.1.6.1. Donanım

Bilgi sistemin girdi, işlem ve çıktı faaliyetlerini bir bütün içinde kullanılan fiziksel donanımdır. Bu donanımlar genellikle çeşitli boyut ve şekillerde bilgisayarlar, farklı türlerde girdi, çıktı ve saklama ürünleri ve elektronik malzemeler olan bilgisayarları birbirine bağlayan iletişim cihazlarından oluşur (Laudon ve Laudon, 2014). Günümüzde tüm şirketler, genellikle kişisel bilgisayarlar (adet) olmak üzere bilgisayar kullanmaktadır. Büyük kuruluşlar, ana bilgisayarlar, mini bilgisayarlar ve en yaygın olarak PC'ler dahil olmak üzere çeşitli bilgisayar sistemleri kullanır. Bununla birlikte, bilgisayarların teknik özelliklerindeki son gelişmeler, başlangıçta mini bilgisayarlar tarafından yapılan birçok görevin günümüzde PC'ler tarafından yerine getirildiği ve bu iki kategori arasındaki farkın giderek daha da bulanıklaştığı anlamına gelmektedir. Üç bilgisayar türü de benzer bir düzenlemeye sahiptir.

Bilgisayarın beyni olarak ifade edilebilecek merkezi işlem birimi tüm sistem birimlerini kontrol eder. Bunlar genellikle önceden oluşturulan bir programdan gelen her türlü sorgu ve emirleri talimat olarak algılar ve yerine getirir. Diğer cihazlar ise, klavye, fare ve ekran gibi diğer donanımsal aletleri tanıtmak ve sistemin çıktısını üretmek için kullanılır (Alcami ve Caranana, 2012).

1.1.6.2. Yazılım

Bir bilgi sisteminde var olan tüm donanım bileşenlerini öncelikle tanıyan, sonra da yapılacak işe göre kontrol ve koordine eden olabildiğince detaylı önceden programlanmış talimatlardan oluşur (Laudon ve Laudon, 2014). İki tür bilgisayar yazılımı vardır. Bunlar sistem yazılımı ve uygulama yazılımlarıdır. Sistem yazılım programları, bilgisayar sisteminin kaynaklarını yönetmek ve programlamayı basitleştirmek için kullanılır. Uygulama yazılımları ise amaca/göreve yönelik uygulamaların yazılımıdır. Bunlar kullanıcının işini yapmasına doğrudan yardımcı olur (Laudon ve Laudon, 2014).

1.1.6.3. Veritabanları

Birçok şirketin bilgi sistemi, veritabanlarını depolamak için bir araç olarak kullanılır. Veritabanı, bir kuruluşun insan kaynakları veya ürün veritabanları gibi birbiriyle ilişkili verilerin bir koleksiyonudur. Müşteri veritabanı, müşterileri yeni ürünler hakkında bilgilendirmek veya onların ihtiyaçlarını karşılayan yeni ürünler geliştirmek için kullanılabileceğinden şirket için son derece değerlidir. Bir veritabanı, içeriğine göre erişilebilecek şekilde düzenlenmelidir. Örneğin, bir önceki yıl toplamları bir milyonu aşan faturaları kesilen müşterilerin isim ve adreslerinin alınması için bir emir verilebilir. Bu nedenle veri analizi veritabanlarındaki bilgileri önemli hale getirmektedir. Veritabanları, veritabanı yönetim sistemleri (Database Management Systems-DBMS) olarak bilinen yazılım sistemleri tarafından yönetilir (Laudon ve Laudon, 2014).

1.1.6.4. Telekomünikasyon Ağları

Telekomünikasyon, bilginin uzun mesafelerde elektronik olarak iletildiği araçlardır. Günümüzde bilgisayar sistemleri genellikle telekomünikasyon ağları ile birbirine bağlıdır. Farklı şirketlerin ihtiyaçlarına uygun çeşitli ağ bağlantıları mevcuttur. Küçük bir şirkette, bilgisayarlar yerel alan ağları (Local Area Network-LAN) ile birbirine bağlanır ve kullanıcılarının veri, görev ve ekipman ile iletişim kurmasını ve paylaşmasını sağlar. Geniş alan ağları (Wide Area Network-WAN), şirket içinde veya farklı bir konumdaki bilgisayarları daha uzak mesafelerde bağlamak için kullanılır (Alcami ve Caranana, 2012).

Ağ ve telekomünikasyon teknolojisi fiziksel aygıtlardan ve yazılımdan oluşur. Amaç, fiziksel parçaların birbirleriyle haberleşmelerini ve verilerin bir aygıttan başka aygıta aktarılmasını sağlamaktır. Bilgisayarlar ve iletişim ekipmanları, paylaşımlar yapabilmek için ağlara bağlanmak durumundadır. Bu paylaşımlar video, ses, görüntü veya veri olabilir. Herhangi bir ağ, iki veya daha fazla bilgisayarları birbirine bağlayarak verileri veya yazıcı gibi kaynakları paylaşma imkanı verir (Laudon ve Laudon, 2014). İnternet, "ağlar ağı", dünya çapında çeşitli alanlardan çok çeşitli ağları birbirine bağlar. Bu bağlantılar, bilgisayar kullanıcılarının şirketin veritabanlarına ve diğer bilgisayarlı kaynaklara erişmesini sağlar (Alcami ve Caranana, 2012). Özellikle günümüzde bu ağların vasıtasıyla bulut bilişim teknolojileri şirketler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayal, 2014).

İnternet yeni bir “evrensel” teknoloji platformu yaratmıştır. Amaç üzerinde yeni ürünler, hizmetler, stratejiler ve iş modelleri oluşturmaktı. Bu teknoloji platformunun, firma içindeki farklı sistemleri ve ağları birbirine bağlamak için bağlantı sağlayan dahili kullanımları vardır. İnternet teknolojisine dayalı dahili kurumsal ağlara intranet denir. Kurum dışındaki yetkili kullanıcılara açılan özel intranetlere extranet adı verilir ve firmalar bu tür ağları satın alma, tasarım üzerinde işbirliği ve diğer organizasyonlar arası işler için diğer firmalarla faaliyetlerini koordine etmek için kullanırlar. Günümüzde çoğu işletme firması için İnternet teknolojisini kullanmak hem bir iş gerekliliği hem de rekabet avantajıdır (Laudon ve Laudon, 2014).

1.1.6.5. İnsan Kaynakları

Teknolojinin hızla geliştiği ve kullanıldığı günümüz dünyasında, bilgisayar-insan etkileşimi daha da kritik önemdedir. Bilgisayar-insan etkileşimi hedefleri şunları içerir (Carey vd., 2004):

- Sistem işlevselliğini ve kullanılabilirliğini sağlamak,
- Etkili kullanıcı etkileşimi desteği sağlamak ve hoş bir kullanıcı deneyimini geliştirmektir.

Genel amaç hem kurumsal hem de bireysel kullanıcı etkinliği ve verimliliğine ulaşmaktır. Bu hedeflere ulaşmak için yöneticilerin ve geliştiricilerin kullanıcılar, görevler, görev bağlamları, bilişim teknolojisi ve sistemlerin kullanıldığı ortamlar arasındaki etkileşim hakkında bilgi sahibi olmaları gerekir (Carey vd., 2004). Zira insan kaynağı unsuru ve bilişim sistemleri ile etkileşiminin bu sistemlerin başarı ile kullanılması açısından çok önemli olduğu bilinmektedir.

Bilgi sistemleri uzmanları ve son kullanıcılar olmak üzere iki ayrı insan kaynağı gereksinimi doğmaktadır. Bilgi sistemleri uzmanları, sistem analistlerini, programcıları ve operatörleri içerir. Son kullanıcılar, bilgi sistemini veya ürettikleri çıktıyı kullanan kişilerdir, başka bir deyişle, bir kuruluşun üyelerinin büyük çoğunluğudur (Alcami ve Caranana, 2012).

1.1.6.6. Prosedürler

Prosedürler, bir bilgi sistemini kullanırken, çalıştırırken ve bakımını yaparken izlenmesi gereken politika ve yöntemlerdir. Örneğin, şirketin bordro programının ne zaman çalıştırılacağını, kaç kez çalıştırılacağını, kimin bunu yapmaya yetkili olduğunu ve ürettiği raporlara kimin erişimi olduğunu belirlemek için prosedürler kullanılmalıdır (Alcami ve Caranana, 2012).

İş prosedürleri, işin organize edilme, koordine edilme ve değerli bir ürün veya hizmet üretmek için odaklanma biçimini ifade eder. İş prosedürleri, bir ürün veya hizmet üretmek için gerekli faaliyetlerin toplamıdır. Bu faaliyetler, iş prosedürlerindeki katılımcılar arasındaki malzeme, veri ve bilgi akışlarıyla desteklenir. İş prosedürleri aynı zamanda kuruluşların işi, bilgiyi ve bilgiyi koordine

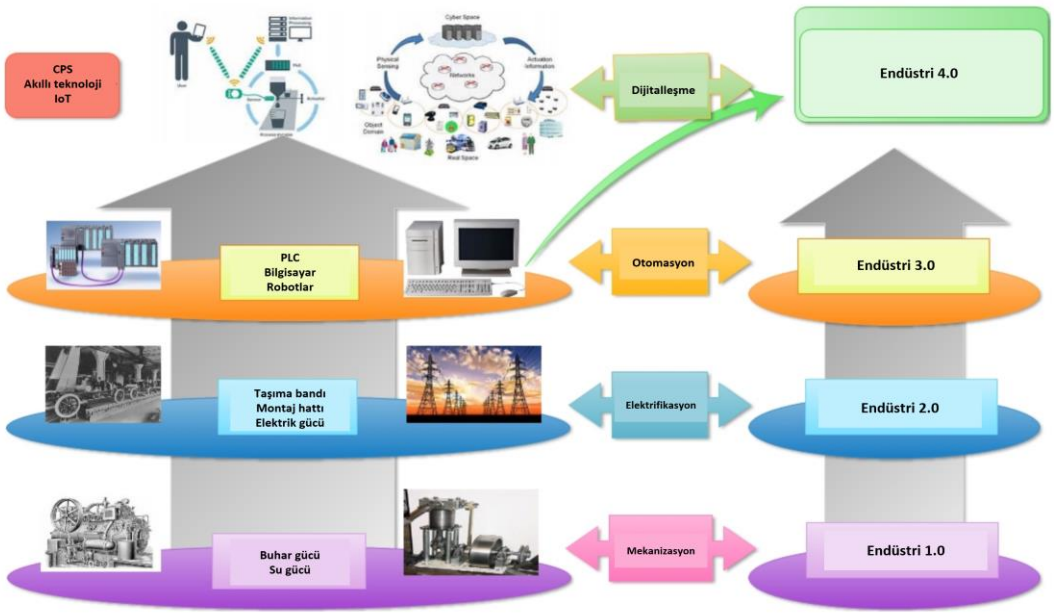
ettiği benzersiz yolları ve yönetimin işi koordine etmek için seçtiği yolları ifade eder. Büyük ölçüde, bir ticari firmanın performansı, iş süreçlerinin ne kadar iyi tasarlandığına ve koordine edildiğine bağlıdır. Bir şirketin iş prosedürleri, şirketin yenilik yapmasını veya rakiplerinden daha iyi performans göstermesini sağlıyorsa, bir rekabet gücü kaynağı olabilir. İş prosedürleri, kurumsal yanıt verebilirliği ve verimliliği engelleyen modası geçmiş çalışma yöntemlerine dayanıyorsa, zorluklar da olabilir. Her işletme, bazıları daha geniş kapsamlı prosedürlerin bir parçası olan bir iş süreçleri topluluğu olarak görülebilir. Birçok iş süreci belirli bir işlevsel alana (İKY, tedarik zinciri, finans vb.) bağlıdır. Bilişim sistemleri bu iş prosedürleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bilişim sistemleri, bir müşterinin kredisini kontrol etmek veya bir fatura ve sevkiyat siparişi oluşturmak gibi daha önce manuel olarak gerçekleştirilen iş süreçlerindeki birçok adımı otomatik hale getirir. Ancak bugün, bilgi teknolojisi çok daha fazlasını yapabilir. Yeni teknoloji, bilgi akışını gerçekten değiştirebilir, daha fazla insanın bilgiye erişmesini ve bilgi paylaşmasını mümkün kılar, sıralı adımları aynı anda gerçekleştirilebilen görevlerle değiştirir ve karar vermedeki gecikmeleri ortadan kaldırır. Yeni bilgi teknolojisi, bir işletmenin çalışma şeklini sıklıkla değiştirir ve tamamen yeni iş modellerini destekler (Laudon ve Laudon, 2014).

İKİNCİ BÖLÜM
ENDÜSTRİ 4.0

2.1. TARİHSEL SÜREÇTE ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

Ekonomist Arnold Toynbee'nin 1760-1840 dönemindeki değişimler hakkındaki dersleri 1884'te yayımlandığında "sanayi devrimi" terimi popüler hale gelmiştir (Landes, 2003). O zamandan beri, birçok tarihçi tarafından, toplum üzerinde yüksek etkisi olan teknolojik değişim dönemlerini tanımlamak için kullanılmıştır. 200 yıldan fazla bir süre içinde, bir dizi endüstriyel devrimin fikirleri ortaya çıkmıştır. Bu devrimlerin sayısı ve süreleri hakkında kesin belirlenmiş çizgiler yoktur ama genel anlamda dört ayrı ve birbirini takip eden endüstriyel devrim literatürde geniş bir şekilde yer almaktadır. Çalışmasının bu kısmında bahse konu süreçler özet olarak açıklanmıştır.

Şekil 3. Endüstri Devrimlerinin Gelişim Süreci



Kaynak: Khan vd., 2017 kaynağından uyarlanmıştır.

Endüstri 4.0, endüstrilerin gelişimi dünyasındaki üç devrimi takip etmektedir. İlk sanayi devriminde (Endüstri 1.0), 1780'lerde mekanik tezgâhı çalıştırmak için

fabrikalarda buhar makinesi kullanılmıştır. 1870'lerde, ikinci sanayi devriminde (Endüstri 2.0) ise devreye giren elektrik enerjisi ile iş ve güç bölümüne dayalı seri üretim yapılmıştır. 1960'larda, gömülü sistemler ve bilgi teknolojisindeki gelişmeler endüstrinin dijitalleşmesini sağlamış ve üçüncü sanayi devrimini (Endüstri 3.0) başlatmıştır. Dördüncü devrim (Endüstri 4.0) ise özellikle bilgilerin ağlar üzerinden paylaşılmasını sağlayan teknolojilerin gelişimi ile ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda Endüstri 4.0, temel olarak Siber Fiziksel Sistemler, Nesnelerin İnterneti, hizmetlerin interneti, insanların interneti ve enerji internetine dayanmaktadır. Klasik endüstrileri akıllı fabrikalara dönüştürmüştür. Bu devrimlerin gelişimi kavramsal olarak Şekil 1'de gösterilmektedir (Khan vd., 2017).

2.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)

Birinci Sanayi Devrimi (1784-1870), 18. yüzyılın sonunda hayvan ve insan emeği yerine su / kömür / buhar gücü ve makinelerin ikame edilmesiyle karakterize edilen bir olgudur. Bu teknolojiler imalatın üretim gücünü artırarak fabrikayı oluşturmuştur. Bu devrim İngiltere'de başlamış ve önce tekstil endüstrisi, sonra diğer endüstriler olmak üzere çeşitli sektörlerde verimlilik artışıyla sonuçlanmıştır (Özdemir, 2014).

Bu devrimin ana teknik ilerlemeleri İngiltere'de Watt tarafından kullanılan buhar motoru sayesinde elde edilmiştir (Brynjolfsson ve McAfee, 2014). Su çarkından daha güçlü olmasının yanı sıra, buhar motoru üretime daha fazla özerklik sağlamış ve üretim tesisleri nehirlerden uzak olabileceği için sel ve kuraklık gibi çevresel faktörlere daha az maruz kalmıştır (Freeman ve Soete, 1997). Bu teknoloji sonuçta buhar makinesini ekonominin tüm dallarının erişebileceği bir yere getiren ve onu evrensel bir ana taşıyıcı yapan verimlilikte devam eden ilerlemelerin yolunu açmıştır (Landes, 2003).

O zamanlar makinelerin de önemli bir katkı sağladığı görülmektedir. İlk olarak tekstil endüstrisinde uygulanmış, burada her teknik ilerleme tüm sistem için başka bir zorluk oluşturmuş ve bunun sonucunda bir dizi iyileştirme sağlanmıştır. Sonuç olarak kitlesel üretimler yapılmaya bu devrim ile başlanmıştır (Landes, 2003).

İlk sanayi devriminde uzmanlar üretkenlik sorunlarına çözümler icat etmiş, teknik beceri, istek ve üretim sürecini rasyonelleştirme yeteneğine sahip olanlar bu çözümleri benimsemiştir ve geliştirmiştir. Birinci Sanayi Devrimi'nde teknolojik sorunlar basittir ve derin bilimsel bilgi gerektirmemiştir ve büyük miktarlarda para yatırımı gerektirmemiştir (Landes, 2003).

2.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)

19. yüzyılın sonunda, yeni bir enerji kaynağı olarak elektrik kullanılmaya başlanmıştır. Seri üretimle birlikte yaşanan bu değişim bu kez ABD'nin önderlik ettiği İkinci Sanayi Devrimi (1870-1969)'nin başlamasına neden olmuştur (Freeman ve Soete, 1997). Bir kez daha, enerjideki teknik gelişmeler birçok endüstride etkili olmuş, demiryolları, çelik ve kimya sektörlerinde kayda değer gelişmeler yaşanmıştır. Aynı zamanda, değiştirilebilir parçaların ve montaj hattının kullanılmasıyla seri üretim sisteminin geliştirilmesi çıktıyı artırmıştır. Daha özel ve pahalı makineler kullanılmaya başlanmış, ancak yatırımlar ölçek ekonomileri ile dengelenmiştir (Jensen, 1993).

19. yüzyılın ortalarından itibaren sanayileşmenin Avrupa ve ABD'ye yayılması yoğunlaşmış ve fabrika sayısı artmıştır. Daha üretken teknolojileri uygulama rekabeti kapasite fazlasıyla sonuçlanmıştır. Daha sonra, bir yoğunlaşma hareketi büyük şirketlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Önce demiryolu, çelik ve petrol endüstrilerinde tröstler oluşmuş ve daha sonra otomobil endüstrisinin dikey gelişimi yaşanmıştır. Bu endüstrilerin boyutu ve doğası, bilimsel bilgi ve yatırımı daha gerekli hale getirmiş ve birçok şirket Ar-Ge departmanları oluşturmuştur (Klingenberg ve Antunes, 2017)).

Bir yandan, aynı ürünlerin büyük miktarları, fiyatların düşmesine neden olarak çok daha fazla sayıda insanın bunları satın almasına izin vermiş, öte yandan, üretim süreci çok katı hale gelmiş ve böylece herhangi bir ürün varyasyonu zaman alıcı ve maliyetli bir şekilde üretilmeye başlanmıştır (Goldhar ve Jelinek, 1983).

Bu devrim şirketlerin önemini artırmış ve bazı büyük şirketler kendi hükümetlerinden daha güçlü hale gelmiştir. Gelir, özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde önemli ölçüde artmış ve dayanıklı tüketim malları nüfusun büyük bir

kısmı için erişilebilir hale gelmiş ve yaşam standartlarını yükseltmiştir (Klingenberg ve Antunes, 2017).

2.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0)

Üçüncü Sanayi Devrimi, enerji kaynaklarındaki bir değişiklikle değil, üretimi otomatikleştirmek için elektronik ve bilgi teknolojisinin (BT) kullanılmasıyla karakterize edilir. Yine ABD bu devrime önderlik etti, ancak Asya önemli bir oyuncu olarak yükseldi (Freeman ve Soete, 1997).

Bu devrimin teknik ilerlemeleri (yani bilgisayarlar, çipler, internet) hükümetler ve üniversiteler tarafından yapılan, önce güvenlik nedenleriyle, sonra ticari amaçlarla geliştirilen Ar-Ge'ye yapılan büyük yatırımlardan kaynaklanmıştır. Üretimde, elektronik ve BT, daha önce manuel olarak yürütülen bir dizi faaliyeti, hatta planlama ve kontrolü otomatik hale getirmiştir. Bu teknolojilerin yayılmasıyla birlikte, 1980'lerde bilgisayarla entegre üretim (Computer-Integrated Manufacturing-CIM), bilgisayar destekli tasarım (Computer-Aided Design-CAD), bilgisayar destekli üretim (Computer-Aided Manufacturing-CAM) gibi bir dizi teknolojiye atıfta bulunan Gelişmiş Üretim Teknolojileri (Advanced Manufacturing Technologies-AMT ve esnek imalat sistemleri (Flexible Manufacturing System-FMS) ortaya çıkmıştır (Lei vd., 1996). Amaç, daha fazla esneklik, daha kısa üretim döngüleri, daha özelleştirilmiş ürünler, değişen pazar taleplerine daha hızlı yanıtlar, süreçlerin daha iyi kontrolü ve doğruluğu olarak belirlenmiştir (Goldhar ve Jelinek, 1983).

20. yüzyılın sonlarında, maliyet tasarrufu ile birçok üretim faaliyeti sanayileşmiş ülkelerden az gelişmiş ülkelere (özellikle Asya'ya) kaydırılmıştır (Porter, 1994; Stentoft vd., 2016). Bir yandan küreselleşme, iletişim ihtiyaçları nedeniyle BT uygulamasını yoğunlaştırmıştır. Öte yandan, bu ülkelerden gelen işçilik maliyetleri düşük olduğundan, otomasyona çok az teşvik sağlanmıştır. Teknoloji maliyetleri engelleyici olmamasına rağmen, eski kurulumlar, bilgi eksikliği ve organizasyonel kısıtlamalar gibi uygulama ile ilgili zorluklar maliyetleri artırmıştır (Klingenberg ve Antunes, 2017).

2.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)

Endüstri 4.0 nispeten yeni bir kavramdır. Yukarıdaki bölümlerde de ifade edildiği gibi ilk sanayi devriminde insanlar, insan ve hayvan gücünün sınırlarını aşmak için su ve buharı bir güç kaynağı olarak kullanmıştır. İkinci sanayi devrimi, seri üretime güç ve destek sağlamak için elektriği kullanmıştır. Üçüncü sanayi devrimi, bilgi teknolojisi, endüstriyel üretimin otomasyonunu geliştirmek için kullanmıştır. Dördüncü sanayi devrimi ise Almanya tarafından önerilen ve Endüstri 4.0 adı verilen, gerçek zamanlı bilgilerle birleştirilmiş siber fiziksel sistemi kullanarak genel endüstriyel üretkenliği artıran yaklaşımı ifade eder (Yli- Ojanperä vd., 2019). Almanya Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı, "Almanya, dünyadaki en rekabetçi imalat sanayilerinden birine sahip" olduğunu ve Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanmasının, Alman ekonomisinin rekabet gücüne ve üretimine önemli bir katkı sağlayacağını belirtmiştir (Kagermann vd., 2013).

Akıllı üretim açısından bakıldığında, Endüstri 4.0 devriminin temel amacı, üretim sürecindeki bilgi asimetrisi sorununu çözmektir, yani imalatçı firmaları kapalı üretim modundan çıkıp piyasayı ve aklı kullanmaya teşvik etmektir. İmalatçı işletmelerin rekabet gücünü sürekli artırmak için ekolojik değere sahip bir endüstriyel zincir oluşturmak anlamına gelir. Geleneksel kurumsal üretim yönetimi, esas olarak üretimin her adımını ve sürecini izlemekten ve yönetmekten sorumlu olan bir üretim yürütme sistemi tarafından yönetilir (Xu, 2019).

Geleneksel sistemlerde, tasarım, üretim, tedarik ve benzerlerinin tümü bilgi adaları olarak adlandırılan izole edilmiş sistemlerdir ve bunlar arasındaki bilgi aktarımı gecikebilir, bu da genellikle üretim süreci sırasında üretim bağlantısının kesilmesine yol açar. Üretim sistemi içerisinde üretim sürecinin yavaşlaması gibi bazı istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Sistem düşüncesi ile yeni ve gelişmiş entegre akıllı üretim ortamı geliştirmek zorunludur (Gorkhali ve Xu, 2019). Bu da Endüstri 4.0'ın geliştirmiş olduğu bir kabiliyettir.

Endüstri 4.0 terimi, mekanizasyon ve otomasyondaki artışlar, dijitalleştirme, ağ oluşturma ve minyatürleştirme gibi çok çeşitli kavramlarla yakından ilişkilidir (Lasi vd., 2014). Ayrıca Endüstri 4.0, fiziksel temel sistem ve yazılım sisteminin diğer branşlar ve ekonomik sektörlerle ve ayrıca diğer endüstriler ve endüstri türleri ile

entegrasyonu açısından dinamik değer yaratan ağların entegrasyonuna dayanır. Endüstri 4.0 konseptine göre, araştırma ve inovasyon, referans mimarisi, standardizasyonu ve ağa bağlı sistemlerin güvenliği, Endüstri 4.0 altyapısının uygulanmasının temelleridir. Bu dönüşüm, öncelikle tek bir işletmede ve elbette diğer iletişim sistemleriyle birbirleriyle iletişim kuran sensörler, makineler, iş yerleri ve bilgi teknolojisi sistemleri ile desteklenen yeterli altyapıların sağlanmasıyla mümkün olabilir. Siber fiziksel sistemler olarak adlandırılan bu tür sistemler ve bu sistemler arasındaki koordinasyon internet tabanlı protokoller ve standartlarla sağlanmaktadır (Salkın vd., 2018).

Endüstri 4.0'ın en önemli özelliklerinden biri akıllı üretimdir. Akıllı üretim, endüstriyel üretim ve bilgi teknolojisi arasındaki boşluğu doldurarak Endüstri 4.0'ın rekabet gücünü ve verimliliğini artırmaktır (Huang, Kim, Sadri, Dowey ve Dargusch, 2019). İnternet çağında teknolojinin sürekli büyümesiyle birlikte, müşterinin özelleştirilmiş ve kişiselleştirilmiş ürünlere olan talebi, küçük cep telefonu aksesuarlarından sofistike fabrika cihazlarına kadar daha yaygın hale gelmiştir. Hem özelleştirme hem de kişiselleştirme kavramları yavaş yavaş yeni bir trend haline gelmiştir. Zelbst vd. (2012), işletmelerde stok yönetimini geliştiren ve operasyon verimliliğini artıran ve böylece üretim maliyetlerinde düşüş sağlayan radyo frekans tanımlama teknolojisinin uygulanmasını incelemiş ve radyo frekansı tanımlama gibi akıllı tanımlama teknolojilerinin kademeli olgunlaşmasıyla, çeşitli imalat şirketleri daha uygun maliyetli ve hassas üretim elde edebildiğini tespit etmiştir.

Geleneksel otomasyon sistemi, işletme, yaşam döngüsü ve tedarik zinciri boyutlarından oluşur. Endüstri 4.0 ise bu boyutların entegrasyonu için çok önemlidir. Entegrasyon sayesinde programlanabilir mantık denetleyicilerine (Programmable Logic Controller -PLC'ler), süpervizör kontrol ve veri toplama sistemine (SCADA), dağıtılmış kontrol sistemlerine (Distributed Control System-DCS), üretim yürütme sistemlerine (Manufacturing Execution System-MES) ve kurumsal kaynak planlamasına (Enterprise resource planning-ERP) bağlı kontrollü süreçlere doğrudan erişim sağlanır. Endüstri 4.0'ın net bir tanımı olmasa da konsept altı tasarım ilkesine dayanmaktadır (Khan vd., 2017):

- **Birlikte çalışabilirlik (Interoperability):** CPS, IoT cihazları, fabrikalar ve insanlar arasında IoT, IoS ve IoE aracılığıyla iletişim kurma becerisine Endüstri 4.0'da birlikte çalışabilirlik denir. Klasik sistemleri modern modellerle bütünleştirir.
- **Sanallaştırma (Virtualization):** Simülasyon ve sanal tesis modelleri için CPS tarafından izlenen fiziksel süreçlerin sanallaştırılmasıdır.
- **Dağıtıklık (Decentralization):** CPS'nin herhangi bir merkezi komuta olmaksızın dağıtılmış ortamda bağımsız olarak karar alma yeteneği vardır.
- **Gerçek Zamanlı Yetenek (Real-time Capability):** Hatayı tespit etmek için veri toplama ve analiz etme ve hızlı üretim için sorunu çözmek için alternatif çözüm bulma yeteneğidir.
- **Hizmet Odaklılık (Service Orientation):** Yöneticilerin, operatörlerin ve müşterilerin karar vermesini kolaylaştırmak için Hizmet Odaklı Mimari (SOA) bağlamında CPS, fabrikalar ve insan hizmetlerinin kullanılmasıdır.
- **Modülerlik (Modularity):** Fabrikaların yükseltilmesi için mevcut modülleri değiştirmeden yeni makinelerin, modüllerin ve CPS'nin kolayca eklenmesidir.

2.2. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI

2.2.1. Endüstri 4.0'ın Önemi

Nüfusun artışı ve buna bağlı olarak ihtiyaçların çoğalması üretim kaynaklarına olan talebi de artırmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin dijitalleşmenin gerekliliğini kurumlara olabildiğince hissettirmesi yeni teknolojilerin kullanması gerektiğini kaçınılmaz kılmıştır. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı, endüstriyel üretimde önce verimliliği sonra kârı artırmak için şimdiye kadar kullanılan birçok olasılığın neredeyse tükendiği ve yeni olasılıkların bulunması gerektiği gerçeğini tüm dünyaya göstermiştir. Yani tam zamanında üretimin başlatılması yanında yalın üretim felsefesinin benimsenmesi ve üretimin Çin gibi daha düşük iş maliyeti olan ülkelere yaptırılmasıyla doğal olarak üretim maliyetleri düşürülmüştür. Daha ileri seviyede endüstriyel üretimin maliyetlerinin azaltılması söz konusu olduğunda, Endüstri 4.0

umut verici bir çözüm sunduğu ifade edilebilir. Bazı kaynaklara göre, Endüstri 4.0, fabrikalarda maliyetleri aşağıdaki oranlarda düşürebilmektedir (Rojko, 2017):

- Üretim maliyetlerinde %10-30 oranında azalma,
- Lojistik maliyetlerinde %10-30 oranında azalma,
- Kalite yönetim maliyetlerinde ise %10-20 oranında azalma.

Endüstri 4.0 çözümlerinin benimsenmesinin bunların yanında bazı başka avantaj ve nedenleri de bulunmaktadır. Bunlar kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Rojko, 2017):

- Yeni ürünler için teknolojiye bağlı olarak daha kısa pazara sunma süresi,
- Geliştirilmiş bir müşteri duyarlılığı,
- Toplam üretim maliyetlerini artırmadan gelişen teknolojilerle özel bir seri üretime olanak sağlama,
- Daha esnek ve daha olumlu çalışma ortamı ve
- Doğal kaynakların ve enerjinin olabildiğince daha verimli kullanılması.

2.2.2. Endüstri 4.0'ın Yapı Taşları

Endüstri 4.0, genel yapısı dokuz olmakla birlikte dört temel teknolojiye dayanmaktadır; Bunlardan ilki, motorlu taşıt imalatı, ulaşım ve lojistik gibi birçok alanda fiziksel ve sanal dünyaları bir araya getirmek için kullanılan entegre bir iletişim, bilgi işlem ve kontrol sistemi olan siber fiziksel sistemlerdir. İkinci teknoloji, insan ve makineler arasında ve makinelerle makineler arasında etkileşim kurmaya yardımcı olan (işleri konuşabilir hale getiren) ve akıllı tanımlama, konum, izleme, takip ve kontrolü kolayca uygulayabilen mobil internet ve IoT teknolojileridir. Buna nesnelerin interneti olarak da ifade edilmektedir. Üçüncü teknoloji, düşük maliyetli ve yüksek performanslı internet üzerinden bir hizmetin hesaplanmasıyla ilgilenen ve yazılım, platformlar, donanım ve diğer bilgi teknolojisi (BT) altyapıları gibi çeşitli internet hizmetleri sağlayan bulut bilişim teknolojisidir. Dördüncü teknoloji, güvenilir bilgileri hızlı bir şekilde üretmek için yeni işleme yöntemlerini kullanarak farklı veri türlerini işlemek için kullanılan büyük veri ve gelişmiş analiz teknikleridir, bu nedenle şirketlere karar vermede yardımcı olur, süreçleri iyileştirir, operasyonel verimliliği artırır ve maliyetleri düşürür (Zhou vd., 2015). Günümüzün yarı iletken yonga

teknolojisinin gelişmesi ve 5G teknolojisinin desteği ile bu sistemler entegre edilebilmekte ve akıllı üretim temel fikri etrafında elde edilen çeşitli ürünlerin üretim kapasitesine sahip olabilmektedir.

Bahse konu temel teknolojilere ek olarak endüstri 4.0'ı meydana getiren bileşenler arasında 3D yazıcılar, akıllı fabrikalar, büyük veri, simülasyonlar, otonom robotlar, artırılmış gerçeklik teknolojileri de sayılabilir. Çalışmanın devam eden kısmında bahse konu teknolojiler açıklanmaktadır.

2.2.2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin interneti Endüstri 4.0'ın temel yapıtaşı olduğu ifade edilebilir. 1991'de Cambridge Üniversitesi'nde bir grup araştırmacı kameralı bir sistemle kahve makinesine ait görüntüleri internet üzerinden paylaşarak ilk kez bir IoT (Internet of Things) uygulamasına imza atmıştır. Araştırmacılar, yalnızca kahve haznesini boş bulmak için sık sık birkaç kat merdiven çıkmak yerine cam kaptaki kahve seviyesini bilmek için düzenli aralıklarla masaüstlerine sabit bir görüntü tetikleyen bir video kamera kurmuştur (Armentia vd., 2012). Nesnelerin interneti kavramı ise ilk olarak 1995 yılında MIT bünyesinde kurulmuş olan Auto ID Center'ın kurucularından Kevin Ashton tarafından ortaya atılmıştır. IoT, ilk kez 1999'de günümüzdeki uygulamalara benzer şekilde kullanılmış olsa da, anılan yıllarda nesnelere monte edilebilecek sensörlerin maliyetlerinin çok yüksek düzeyde olması ve anılan dönemin kablosuz internet teknolojileri açısından daha bebeklik dönemi olması nedeni ile çok dikkate alınmamıştır (Ashton, 2009).

IoT fiziksel nesnelerin bir ağa bağlanması temeline dayanan farklı yaklaşım ve teknolojileri birleştiren yeni bir terim olarak ortaya çıkmıştır. IoT fiziksel nesnelerin bir ağa problemsiz bir biçimde entegre edilebildiği ve bu nesnelerin iş süreçlerine aktif bir şekilde dahil olmasını sağlayan bir dünya olarak tanımlanmaktadır. Genel anlamda IoT çalışma yerinde, insanlar üzerinde, sistemler üzerinde bulunan fiziksel nesnelerin arasında oluşturulmuş ağ bağlantısı olarak da tanımlanabilmektedir. Bu sayede birbiriyle iletişim kuran nesneler sayesinde akıllı fabrikalar, tedarik zincirleri gibi sistemler otomasyon içerisinde işletilebilmektedir (Pereira ve Romero, 2017).

Şekil 4. IoT Topolojisi ve Bağlı Nesneler



Kaynak: Patel ve Patel, 2016.

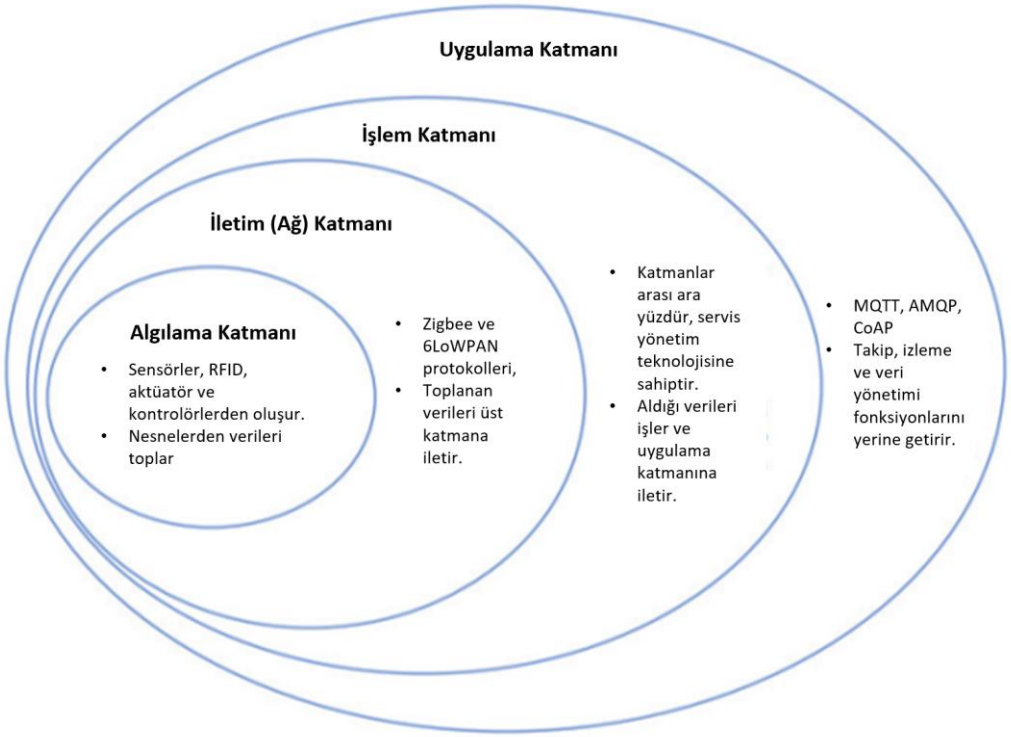
IoT kavramı ayrıca Uluslararası Telekomünikasyon Derneği (International Telecommunication Union - ITU) tarafından da tanımlanmıştır. Dernek bilgi ve iletişim teknolojilerine yeni ve önemli bir boyutun eklemlendiğini ifade etmiş ve bu kazanım ile herhangi bir anda herhangi bir noktada herhangi bir ağa bağlanmaktan ziyade herhangi bir şeye bağlanma imkânının kazanılacağını belirtmiştir. ITU, IoT kavramını dinamik ağ şeklinde tanımlamış ve Auto-ID merkezinden farklı olarak yalnızca RFID etiketi bulunan nesneleri kastetmemiş, tek bir kimlikle tanımlanabilen pek çok farklı nesne ile IoT alt yapısının meydana getirilebileceği ifade edilmiştir (ITU, 2005).

Diğer bir tanımlama da bu konuda araştırma yapan Avrupa Araştırma Projeleri Grubu (Cluster of European Research Projects on the Internet of Things - CERP-IoT)'nca ortaya konmuştur. Buna göre bahse konu grup IoT'yi birlikte çalışabilen ve standart iletişim kurallarını içeren protokollere bağlı olan, kendisini konfigüre etme yeteneği bulunan (self configuring), global ve global bir ağ yapısı şeklinde

tanımlamıştır. Bahse konu ağda bağlı bulunan her bir fiziki nesnenin kimlik numaraları vardır ve bu nesneler sahip oldukları kimlik numaraları ile ağda tanımlanmış olur. Bu nesneler akıllı ara yüzleri kullanarak kesintisiz bir şekilde bilgi ağına entegre bir şekilde çalışırlar. Bu fiziki nesnelerin iş, bilgi ve sosyal süreçlerde etkin bir biçimde görev almaları amaçlanır. Nesne kavramıyla aşağıda ifade edilmiş olan özelliklerin taşınması beklenir (CERP-IoT, 2009):

- Birbiri ile ve algıladığı çevreyle etkileşim içerisinde bulunan, diğer nesneler ve ağlarla iletişim halinde bulunan, veri ve enformasyon alışverişinde bulunabilen,
- Gerçek dünyada meydana gelen olaylar karşısında bağımsız bir biçimde reaksiyon verebilen,
- Belirli işlerin başlatılmasını sağlayan ve hizmetleri üretmek amacıyla insan müdahalesi ile veya insan müdahalesi olmaksızın doğrudan otomatik olarak süreçleri işletebilen nesnelerdir.

Şekil 5. IoT'nin Katmanlı Mimarisi.



Kaynak: Mostafa vd., 2019 kaynağından uyarlanmıştır.

IoT teknolojisi genel olarak algılama, ağ, işlemci ve uygulama katmanından meydana gelen bir yapıdadır. Bu katmanlar aşağıda özet olarak ifade edilmiştir (Çeltek, 2015; Patel ve Patel, 2016; Mostafa vd., 2019):

Algılama (Sensing) Katmanı: Nesneler bu katman sayesinde çevresinde algılaması gereken değişimleri tespit eder. Bu katmanın IoT'nin beş duyu organı olduğu ifade edilebilir. Bu katmanın temel olarak iki amacı bulunur. İlki nesnelerin tanımlanması ve ikincisi ise nesnelere ilişkin verilerin toplanmasıdır. Bu bağlamda günümüzde tanımlama amacıyla en fazla RFID (radyo frekans tanımlama) teknolojisi kullanılmaktadır. RFID bir etiket ve okuyucudan meydana gelen otomatik bir tanıma sistemi olarak görev yapar ve okuyucuyla etiket arasında iletim ise elektromanyetik dalgalar ile gerçekleşir (Aktaş, vd., 2016). RFID günlük hayatta yoğun olarak da kullanılan bir teknolojidir. Örneğin kredi kartları ile temassız ödemeler, ücretli yol geçiş sistemleri, hayvan/sürü takip sistemleri, pasaportlara veri yerleştirilmesinde kullanılması (Greengard, 2015), depolardaki ürünlerin kontrolünde ve sevk edilmesinde ve daha birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır. Kısa menzilli radyo iletişim kanalı görevi yapan NFC (Near Field Communication- Yakın alan iletişimi) teknolojisi ise RFID'ye göre mesafe açısından dezavantajlıdır. NFC 10 cm'lik bir mesafeden temassız etkileşime olanak tanır. Diğer taraftan akıllı telefonlarda uygulanabilmesi bakımından mobil ödeme, e-bilet, bankacılık, elektronik geçiş sistemlerinde NFC teknolojisi kullanılabilmektedir. Diğer taraftan barkodlar, QR kodlar ve filigranlar da bu algılama katmanında tanımlama araçları olarak kullanılmaktadır. Nesnelerden veri toplama ise genelde ısı, basınç, ses, hareket vb. sensörleri ile sağlanır (Çeltek, vd. 2015).

Ağ (Network) Katmanı: Bu katman esasında gelişmiş iletişim teknolojisinin uygulandığı katmandır. Bu katman sayesinde diğer nesneler ile etkileşim ve iletişim sağlanır. IoT olarak tanımlanan her bir nesnenin özgün bir adresi olmalıdır. Bu nedenle ağa bağlanmak amacıyla her nesnenin bir IP (internet protokolü) adresi olmalıdır. Gün geçtikçe İnternete bağlı hale gelen nesne sayısının dramatik bir biçimde artış göstermesi sonucunda kullanılmakta olan IPv4'ün ihtiyaca cevap verememesine sebep olmuş ve 2012 yılında IPv6 standardına geçilmesi zorunlu hale gelmiştir. IPv6 standardı ile 340 desilyon adresin (3.4×1038) kullanılması imkanı doğmuştur (Aktaş, vd., 2016). Zira bu çok büyük miktar dünya üzerinde var olan her kum tanesi için birer

IP adresi sağlayabilecek kadar büyük bir kapasite sunmaktadır (Çeltek, vd. 2015). Temel olarak ağ katmanının iki görevi vardır. Bunlar, veri iletişimi sağlamak ve veriyi işleyerek anlamlı bilgiler haline dönüştürmektir. Bilgileri transfer etme görevini icra eden temel araçlar ise Bluetooth, Wi-fi, GPRS, beacon (bluetooth tabanlı etkileşim teknolojisi), zigbee, 4.5 ve 5G gibi teknolojilerdir.

İşlem (Computational) Katmanı: Bu katmanda ağ katmanında alınan veriler işlemcilerde işlenir ve uygulama katmanı açısından anlamlı veriler haline getirilerek üst katmana iletilir. Bu katman ağ katmanı ve uygulama katmanı arasında bir arayüz görevini görür (Mostafa vd., 2019). Bu katmanda veri yönetimi yapılır. Bu veri bilgi akışını yönetme yeteneğidir. İşlem katmanındaki veri yönetimi ile bilgiye erişilebilir, bilgiler entegre edilebilir ve kontrol edilebilir. Daha yüksek katmandaki uygulamalar, gereksiz verileri işleme ihtiyacından korunabilir ve veri kaynağının gizlilik ifşası riski azaltabilir. Veri anonimleştirme, veri entegrasyonu ve veri senkronizasyonu gibi veri filtreleme teknikleri, yalnızca ilgili uygulamalar için kullanılabilen temel bilgileri sağlarken bilgilerin ayrıntılarını gizlemek için kullanılır (Patel ve Patel, 2016).

Uygulama (Application) Katmanı: Bu katmanda diğer katmanlardan sağlanan veriler işlenir ve kullanıcıya sunulur. Örneğin akıllı bileklik algıladığı verileri akıllı telefon ya da tablete aktararak kullanıcının bir uygulama katmanı sayesinde kullanmasını sağlar. Diğer taraftan akıllı bileklik kendi üzerindeki uygulama katmanı sayesinde ekranına verileri yansıtabilir. Günümüzde akıllı telefonlar ve tabletlerde IoT bağlantılı birçok uygulamanın kullanıldığı görülmektedir. Gelecekte daha fazla uygulamanın da kullanılabileceği öngörülebilir (Çeltek, vd. 2015). Her ne kadar burada akıllı bileklik örneği verilmiş olsa da her bir IoT uygulaması kendi görev alanına bağlı olarak özel uygulama katmanına sahip olabilir.

2.2.2.2. Siber – Fiziksel Sistemler

Siber-fiziksel sistemler (CPS) terimi, birçok yeni yöntem aracılığıyla insanlarla etkileşime girebilen entegre hesaplama ve fiziksel yeteneklere sahip yeni nesil sistemleri ifade eder. Hesaplama, iletişim ve kontrol yoluyla fiziksel dünya ile etkileşim kurma ve yeteneklerini genişletme yeteneği, gelecekteki teknolojik gelişmeler için önemli bir kolaylaştırıcıdır (Baheti ve Gill, 2011). Siber-fiziksel

sistemler kendilerini çevreleyen fiziksel dünya ve devam eden süreçlerle yoğun bağlantılı olan, aynı zamanda ağ üzerinden veri erişimi ve veri işleme hizmetlerini sağlayan ve kullanan, işbirliği yapan hesaplama varlıklarının sistemleridir (Acatech, 2011; NIST, 2013). Başka bir deyişle, siber-fiziksel sistemler genel olarak işlemleri bir bilgi işlem ve iletişim çekirdeği tarafından izlenen, kontrol edilen, koordine edilen ve entegre edilen fiziksel ve mühendislik sistemleri olarak tanımlanabilir (Rajkumar vd., 2011). Fiziksel ve siber unsurlar arasındaki etkileşim kilit öneme sahiptir. Siber-fiziksel sistemler, fiziksel ve siber olanın birleşmesiyle değil, kesişimiyle ilgilidir. Fiziksel bileşenleri ve hesaplama bileşenlerini ayrı ayrı anlamak yeterli değildir. Bunun yanında bunların arasındaki etkileşimlerin anlamak önemlidir (Lee ve Seshia, 2015).

CPS'nin hayatın her yönünü değiştirme potansiyeli çok yüksek seviyedir. Zira günlük yaşamda kullanılmakta olan birçok sistemde rol alabilmektedir. Otonom arabalar, robotik cerrahi, akıllı binalar, akıllı elektrik şebekesi, akıllı üretim ve implante edilmiş tıbbi cihazlar gibi kavramlar, halihazırda ortaya çıkan pratik örneklerden sadece birkaçıdır (NIST, 2013).

Bilgisayar bilimi, bilgi ve iletişim teknolojileri ve üretim bilimi ve teknolojisindeki en son ve öngörülebilir gelişmelere dayanan Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri (Cyber Physical Production Systems-CPPS), 4. Sanayi Devrimi' olarak adlandırılan Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan bileşenlerden biridir (Kagermann vd., 2013).

Araştırmacıların çoğu, CPS'nin kökenini, gerçek zamanlı hesaplama kısıtlamaları ile özel belirli işlevleri yerine getirmeyi amaçlayan bazı mekanik veya elektrik sistemlerinde bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanan gömülü sistemlere işaret etmektedir. Bu gömülü sistemler, hesaplama ve fiziksel süreçler arasında sıkı entegrasyon ve koordinasyon ile karakterize edilir. Bu anlayışa göre, CPS'de, gerçek dünyadaki fiziksel öğeleri algılamak, izlemek ve harekete geçirmek için çeşitli gömülü cihazlar ağa bağlanır (Park vd., 2012).

CPS terim olarak ilk kez Austin, Teksas'ta 16-17 Ekim 2006 tarihinde yapılmış olan Siber-Fiziksel Sistemler NSF Çalıştayı'nda dile getirildiği görülmektedir. Çalıştay web sayfasında aşağıdaki ifadeye yer verilmiş ve burada siber-fiziksel sistemlere atıfta bulunulmuştur (NSF, 2006):

Siber Fiziksel Sistemler araştırma girişimi, bilgisayar ve bilgi merkezli fiziksel ve mühendislik sistemlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde geliştirilmesi ve entegrasyonunu sağlamak için yeni bilimsel temeller ve teknolojiler aramaktadır. Girişimin amacı, son derece güvenilir, verimli bir şekilde üretilmiş ve bilgi, hesaplama, iletişim ve kontrol alanlarında gelişmiş performansa sahip yeni nesil mühendislik sistemlerini kullanmaktır. Fiziksel dünyanın algılanması ve manipülasyonu yerel olarak gerçekleşirken, sanal bir ağ üzerinden kontrol ve gözlemlenebilirlik güvenli, emniyetli, güvenilir ve gerçek zamanlı olarak etkinleştirilir. Bu özellik, Küresel Olarak Sanal, Yerel Olarak Fiziksel olarak adlandırılır.

CPS özellikle gelişmiş ülkeler tarafından çok önemsenmiştir. Bu bağlamda CPS'nin ABD endüstriyel rekabet gücü için en büyük önemi, Federal Ağ ve Bilgi Teknolojisi Ar-Ge'sinin (Networking and Information Technology Research and Development-NITRD) resmi bir değerlendirmesini sunan Başkanın Bilim ve Teknoloji Danışmanları Konseyi'nin (President's Council of Advisors on Science and Technology-PCAST) Ağustos 2007 Raporunda vurgulanmıştır. PCAST, Federal NITRD Programının yeniden dengelenmesi gerektiği sonucuna varmış ve siber fiziksel sistemler alanının federal araştırma yatırımları için en öncelikli konu olarak ele alınmasını tavsiye etmiştir (Rajkumar vd., 2011). Ulusal Bilim Vakfı (NSF) CPS'yi en yüksek önceliklerine koyar ve düzenli olarak araştırma programları başlatmıştır (NSF, 2015).

CPS'nin aşağıdaki ana uygulama alanları, federal Ağ Oluşturma ve Bilgi Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme (Networking and Information Technology Research and Development-NITRD) CPS Kıdemli Yönlendirme Grubu tarafından yayınlanan CPS Vizyon Beyanı ile tanımlanmıştır (NITRD, 2015):

- Tarım,
- Bina kontrolleri,
- Savunma,
- Enerji tepkisi,
- Enerji,
- Sağlık hizmeti,
- İmalat ve sanayi,
- Toplum ve
- Ulaşım.

Aynı misyon beyanında, tüm sektörlerde başarı için gerekli olan kesişen zorluklar da özetlenmiştir (NITRD, 2015):

- Siber güvenlik,
- Ekonomi,
- Birlikte çalışabilirlik,
- Mahremiyet,
- Güvenlik ve güvenilirlik,
- CPS'nin sosyo-teknik yönleri.

2.2.2.3. Akıllı Fabrikalar

Akıllı fabrika, üretim tekniklerinde yenilik yapmak için ortak bir atölye kurmayı amaçlayan 2010 yılında Alman hükümeti tarafından bir teknoloji girişimidir. Endüstri 4.0'ın kalbini akıllı fabrikalar oluşturur (Zuehlke, 2010).

Akıllı fabrika, akademi ve uygulayıcılar tarafından çeşitli perspektiflerden tanımlanmıştır. Bununla birlikte, akıllı fabrikanın tutarlı ve paylaşılan bir tanımı mevcut değildir (Radziwon vd., 2014). Tanımların çoğu, CPS merkezli akıllı üretim perspektifindendir. Örneğin, Park (2016) akıllı fabrikayı, üretim tesisleriyle ilgili tüm bilgileri İnternet üzerinden gerçek zamanlı olarak alan, bir üretim yöntemini otonom olarak değiştiren, hammaddeleri değiştiren ve sürekli olarak optimize edilen dinamik üretim sistemi uygulayan, hiper bağlantılı ağ tabanlı entegre bir üretim sistemi olarak tanımlar. Wang ve diğerleri (2016) akıllı fabrikayı, esnek ve çevik üretimi uygulamak için makine, konveyör ve ürünler gibi fiziksel nesneleri üretim yürütme sistemleri ve kurumsal kaynak planlaması gibi bilgi sistemleriyle entegre eden bir üretim CPS'si olarak tanımlamaktadır. Chen ve diğerleri (2017)'ne göre akıllı fabrika, endüstriyel talepleri karşılamak için üretim ve hizmetlerde iletişim sürecini, hesaplama sürecini ve kontrol sürecini entegre eden akıllı bir üretim sistemidir. Sjödin ve diğerleri (2018) akıllı fabrikayı, yeni talepleri öğrenmek ve bunlara uyum sağlamak için bağlantılı operasyonlardan ve üretim sistemlerinden sürekli bir veri akışı kullanan bağlantılı ve esnek bir üretim sistemi olarak tanımlamaktadır. Wang ve diğerleri (2018) akıllı fabrikayı, fiziksel varlıkların akıllı müzakere yoluyla üretimi organize ettiği ve bulutun veri analizi üzeri aracılığıyla hata tespiti ve sorun giderme için bu kendi kendine

organize edilmiş süreci denetlediği bulut destekli ve kendi kendine organize edilmiş bir üretim sistemi olarak tanımlamaktadır.

Çeşitli tanımlara rağmen, akıllı fabrikanın amacı, üretim süreçlerinde sistematik süreçlerin yeniden kullanımını artırmak ve karmaşık yapıların anlaşılabilirliğini iyileştirmektir (Cadavid vd., 2015). Akıllı fabrika, fiziksel varlıkların ve bilgi sistemlerinin dikey entegrasyonunu uygulamak için üretim odaklı CPS oluşturmayı hedefler, böylece son derece esnek üretim ve hem akıllı hem de otonom hareket eden makineler ve ürünlerle kendi kendine uyarlanabilir üretim süreçleri nihayet elde edilebilir (Wang vd., 2017).

Akıllı fabrika, üç yönden oluşan bir mühendislik sistemidir: ara bağlantı, işbirliği ve yürütme (Zhang vd., 2016). Akıllı fabrikanın mimarisi fiziksel kaynak katmanı, ağ katmanı, veri uygulama katmanı ve terminal katmanını içerir (Chen vd., 2017). Akıllı fabrika kendi kendine uyarlanabilir. Bu nedenle, akıllı bir fabrikadaki her şey birbirine bağlı olacak ve bilgi alışverişinde bulunacak, durumları tanıyacak ve değerlendirecek ve fiziksel dünyayı siber dünya ile organik olarak birleştirecektir. Başka bir deyişle, akıllı fabrika, fiziksel teknolojileri ve siber teknolojileri entegre eder ve ilgili teknolojileri, üretim süreçlerinin performansını, kalitesini, kontrol edilebilirliğini, yönetimini ve şeffaflığını iyileştirmek için daha karmaşık ve hassas hale getirir (Chen vd., 2017). Akıllı bir fabrikadaki makineler ve ürünler, IWN aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurar ve birden fazla ürün türünün esnek üretimi ve üretim optimizasyonu için kendilerini yeniden yapılandırır (Wang vd., 2016). Buna göre akıllı fabrika, üretim süreçlerini esnek, yeniden yapılandırılabilir ve uyarlanabilir hale getirebilir ve üreticilerin müşterilerden gelen dinamik ve hızla değişen talepleri karşılamasına ve fabrika ile pazar arasındaki gerçek zamanlı iletişimi destekleyerek verimliliği en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olabilir. Akıllı fabrika, ara bağlantı kapsamını fabrikanın ötesine genişletebilir ve tedarikçiler ve müşterilerle ilişkileri daha da güçlendirebilir. Dahası, süreç verimliliğini, ürün kalitesini, sürdürülebilirliği ve güvenliği artırmak için düşük maliyet, değiştirilebilirlik, çeviklik ve incelik sağlayabilir (Sjödin vd., 2018). Bu nedenle akıllı fabrika, küresel zorluklarla başa çıkmak için sürdürülebilir üretim modunu uygulayabilir (Wang vd., 2016).

Akıllı fabrikalarda Endüstri 4.0'ın diğer bileşenleri ile sahip olunan dört akıllı özellik mevcuttur. Bunlar aşağıda açıklanmıştır (Shi vd., 2020):

- Birincisi, ekipman veya ölçüm cihazları gibi sensörler, davranışları ve yetenekleri analiz etmek için çevresel bilgileri ve kendi bilgilerini kendi kendilerine organize edebilir, öğrenebilir ve sürdürebilir. Ortamdaki değişikliklere göre eylemleri ayarlamak için kararlar alabilirler.
- İkincisi, akıllı fabrikada birlikte çalışabilirlik ve İnternet'in gerçek zamanlı kontrolü vardır. Cihazlar arasındaki ara bağlantı yoluyla, cihazlar arasındaki koordinasyon geliştirilebilir ve üretim modülleri arasındaki konfigürasyon protokolleri daha esnek olabilir.
- Üçüncüsü, akıllı fabrika, robot görme sistemleri ve yapay zeka (Artificial Intelligence-AI) teknolojileri kullanılarak oldukça entegre edilmiştir. Uzmanlar, bu sayede akıllı üretim sistemini daha iyi kontrol edebilir. Yapay zeka, fabrikaların entegrasyonunu ve insanların entelektüel yeteneklerini kolaylaştıran analizler yapmasına ve kararlar almasına olanak tanır. Teorik olarak, bulut tabanlı çoklu robot sistemleri, akıllı fabrika, akıllı çiftlik ve akıllı perakende gibi endüstriyel uygulamaları destekler. Akıllı fabrikadaki bulut robotik çözümleri, tüm üretim ve tedarik zinciri sürecini yönetebilir ve böylece iş süreçlerine destek sağlayabilir.
- Dördüncüsü, yüksek seviyeli akıllı fabrikaların anahtarlarından biri olan sanal gerçeklik (VR) teknikleri, akıllı fabrikanın insan-makine entegrasyonunu kolaylaştırır. VR teknolojisi, üretim süreçlerini ve ürünleri sanallaştırmak için bilgisayar, sinyal işleme, animasyon teknolojisi, akıllı akıl yürütme, tahmin, simülasyon ve multimedya teknolojilerinden oluşur. Duyusal ve görsel açıdan bakıldığında, tamamen gerçek bir his verir. Akıllı arayüz, akıllı üretimin ayırt edici bir özelliğidir.

2.2.2.4. Büyük Veri ve Analizi

İşletmelerin, karar verme ve süreç optimizasyonu etkinlikleri için verileri zamanında ve değerli bilgilere dönüştürmesi gerekir. Günümüzün rekabetçi iş ortamı, işletmeleri yüksek hızlı verileri işlemeye ve değerli bilgileri üretim süreçlerine entegre etmeye zorlamaktadır. Endüstri 4.0 konseptinin üretimi değiştirmesi ile akıllı bir üretim tesisindeki makineler çevreleriyle etkileşim halinde çalışır ve sıradan makineler yazılımlara, bilinçli ve kendi kendine öğrenen cihazlara dönüşür. Bu dönüşüm, bu

cihazlara üretim sürecindeki olası kesintileri kendi kendine teşhis etmek ve önlemek için gerçek zamanlı verileri işleme yeteneği verir. Ayrıca, böyle bir makineye bir görev atandığında, üretim kalitesini veya verimliliğini optimize etmek için kendi kendini kalibre edebilir ve görevler arasında öncelik belirleyebilir. Bu noktada çok büyük miktarda veri akışı ve analizi gerekir ve bu nedenle büyük veri Endüstri 4.0 için önemli bir alandır (Gökalp vd., 2016).

Endüstri 4.0 gibi yaklaşımlar popülerlik kazandıkça, analiz edilecek verilerin özellikleri de değişmektedir. Bazı işlemler, zaman içinde değeri azalan yüksek hızlı veriler gerektirir. Heterojen IoT cihazları ve sensörleri, standartlaştırılmamış ve yapılandırılmamış veriler üretir. BT endüstrisi, verileri daha hızlı ve verimli bir şekilde işlemek için dağıtılmış mimarileri kullanabilen yeni modellerle sürekli olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak mevcut analiz yöntemleri, daha düşük seviyedeki karmaşıklıkları ve eksiklikleri nedeniyle çeşitli kaynaklardan gelen yüksek hızlı verileri kullanmak için yetersizdir (Lee vd., 2014). Oysa Endüstri 4.0'da gerçek zamanlı yüksek miktarda verinin analizi ve dağıtımı gereklidir. Mevcut büyük veri analitiği platformlarının kullanımı ve kurulumu, karmaşık altyapıları ve programlama modelleri nedeniyle veri bilimi ve BT alanında önemli uzmanlık ve bilgi birikimi gerektirir. Bu, Endüstri 4.0 alanında büyük veri teknolojilerinin benimsenmesini engelleyebilir. Bu nedenle, yaygın kullanıcı benimseme perspektifinden daha yüksek düzeyde soyutlamalar sağlayan büyük veri platformları için bir programlama modeli Endüstri 4.0 için gereklidir (Gökalp vd., 2016).

Büyük veri, katma değer elde etmek için çeşitli kaynaklardan büyük miktarda verinin alınması, depolanması ve analizi için daha fazla özellik sunan önemli bir iş sistemi veya platformudur. Büyük veri üreten verilerin çoğu, bilgisayar sistemleri, gömülü sensörler, bilgisayarlı cihazlar ve akıllı telefonlar dahil olmak üzere endüstriyel işletme ve tedarik zinciri ağları etrafındaki çeşitli cihazlardan elde edilir. Ayrıca, büyük verilerin performansında bazı sınırlamalar vardır (Addo-Tenkorang ve Helo, 2016). Büyük verileri geleneksel veri kümeleriyle karşılaştırırken, daha gerçek zamanlı analiz gerektiren yapılandırılmamış veri yığınları gerekir (Chen, Mao ve Liu 2014). Büyük veri, yeni fırsatları yakalamak ve stratejik kararlar almak için henüz anlamlı olmayan verileri ortaya çıkarır (Addo-Tenkorang ve Helo 2016). Hizmet ve imalat sektörleri, bir hizmet veya ürün üretirken giderek artan şekilde veri yığılıyor.

Bu veriler, mobil cihazlar, havadan algılama teknikleri, mikrofonlar, kameralar, nesnelerin internet teknolojileri ve kablosuz sensör ağları gibi bilgi teknolojileri ile gerçek zamanlı ve sürekli olarak toplanmaktadır (Zhong vd., 2016).

2.2.2.5. Bulut Bilişim

Endüstri 4.0 bağlamında kullanılan sistemler çok büyük miktarlarda veri üretir ve veri kullanır. Bu bağlamda bulut bilişim (cloud computing), büyük miktarda verinin depolanmasına izin verir. Bu kapasite, makinelerin ve sensörlerin bir kişiden daha fazla veri ürettiği ve bu tür verilerin her zaman birbirine bağlı olduğu düşünüldüğünde, tüm üretim sürecinde üretilen verileri depolamak için esas olarak önemlidir. Benzer şekilde, bulut bilişim teknolojik kaynaklara yapılan yatırımı azaltır, depolama alanı ve işleme kapasitesinin talep üzerine daraltılmasına izin verir, bu da esneklik, çeviklik ve uyarlanabilirlik sağlar. Bulut, ölçeklenebilir bir yapı sayesinde talep üzerine kaynakların tüketilmesine izin verir. Bu, platform ve bağlantı cihazlarından bağımsız olarak farklı coğrafi noktalardan ve farklı programlardan depolamaya erişim kolaylığı sağladığı için sunucu, lisans satın almaktan ve uzman personel istihdam etmekten kaçınarak maliyetleri düşürmeyi sağlar. Bütün bunlar, üretim ekosistemlerinin oluşturulmasını kolaylaştırır ve müşteriler ile tedarikçiler arasında işbirliğini teşvik eder. Özellikle müşteri üretim sürecinin tüm aşamalarına katılabilir ve bu sayede memnuniyeti artırılır (Thames ve Schaefer, 2016).

Bulutta işlenen büyük hacimli veriler nedeniyle, üretim sürecinin performansını etkileyebilecek gecikme süresi vardır. Bu sorunu çözmek için daha gelişmiş başka bir bulut bilişim teknolojisi olan "Sis Bilişim" kullanmak mümkündür. Sis bilişim, Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları tarafından alınan büyük hacimli verilere dayanan veri analizi ve kontrol işlevleri için işleme kapasitesini ifade eder. Bu tür işlemleri gerçekleştiren düğümler genellikle IoT cihazlarıyla aynı yerel ağda bulunur ve genellikle depolama ve bilgi işlem kapasitesine sahiptir. Böylece, sis bilişim, bulut bilişimle karşılaştırıldığında istikrarsızlığı azaltır, tıkanıklığı önler ve hizmet kalitesini iyileştirir. Ek olarak, verilerin güvenliğini ve gizliliğini güçlendirmek için, aşırı gizlilik gerektiren endüstrilerin özel kullanımı için özel bulutların uygulanmasını sağlar (Gilchrist, 2016).

2.2.2.6. Simülasyon

Üretim süreçlerinde yeni bir paradigmanın uygulanmasından önce, sistem test edilmeli ve yansımalar dikkatlice düşünülmelidir. Böylece, ürün veya süreç planlamasını iyileştirmek için çeşitli durumlarda ayrık olay ve 3D hareket simülasyonu dahil olmak üzere çeşitli simülasyon türleri gerçekleştirilebilir (Kuhn, 2006: 1899). Örneğin, simülasyon ürün geliştirme, test ve optimizasyon, üretim süreci geliştirme ve optimizasyon ve tesis tasarımı ve iyileştirme alanlarında uyarlanabilir. Biegelbauer ve diğerlerinin (2004) robotların çalışma döngü sürelerinin hesaplanmasını gerektiren ve tasarım ve üretim eşzamanlılığını mümkün kılan montaj hattı dengeleme ve işleme planlamasını ele alan simülasyon buna örnek verilebilir.

Endüstri 4.0 perspektifinde simülasyon, çeşitli parametre değişikliklerinden elde edilen yansımaları takip etmek için destekleyici bir araç olarak değerlendirilebilir ve karar vermede görselleştirmeyi sağlar. Bu nedenle simülasyon araçları Endüstri 4.0'ın diğer temel teknolojileri ile birlikte kullanılabilir. Örneğin, simülasyon tabanlı CAD entegrasyonu, kritik parametreleri değiştirerek birden çok ve farklı CAD sisteminin çalışmasını sağlar. Ek olarak simülasyon, süreçlerin sağlamlığını iyileştirmek için olasılık senaryolarını yansıtabilir. Özellikle akıllı fabrikalar için sanal simülasyon, sistem sağlamlığına göre otonom planlama kurallarının değerlendirilmesini sağlar (Tideman vd., 2008).

2.2.2.7. Otonom Robotlar

Robotlar gün geçtikçe daha otonom, esnek ve işbirlikçi hale gelmekte ve kesin olarak birbirleriyle etkileşime girerek ve insanlarla güvenli bir şekilde yan yana çalışmakta ve sürekli olarak öğrenme halinde çalışmaktadır (Rüßmann vd., 2015). Otonom bir robot, otonom üretim yöntemini daha hassas bir şekilde gerçekleştirmek ve aynı zamanda işçilerin çalışmakla sınırlı olduğu yerlerde çalışmak için kullanılır. Otonom robotlar, verilen görevi belirli bir süre içinde kesin ve akıllıca tamamlayabilir ve ayrıca güvenlik, esneklik, çok yönlülük ve işbirliği üzerine odaklanabilir (Bahrin vd., 2016).

Aşağıdaki tabloda modern otonom robotların çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımına yönelik örnekler verilmiştir (Vaidya vd., 2018).

Tablo 2. Otonom Robotların Kullanıldığı Endüstriyel Alanlar

Robot Adı	**Şirket**	**Fonksiyonu**
Kuka LBR iiwa	Kuka	Hassas endüstriyel görevler için hafif robot
Baxter	Rethink Robotics	Paketleme amaçlı etkileşimli üretim robotu
BioRob Arm	Bionic Robotics	İnsanlarla yakın mesafede kullanım için kullanılan robot
Roberta	Gomtec	Esnek ve verimli otomasyon için kullanılan 6 Eksenli endüstriyel robot

Kaynak: Vaidya vd., 2018.

2.2.2.8. Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik

Sanallaştırma teknolojileri, gerçek dünya ortamının bilgisayar destekli yansımasının ek ve değerli bilgilerle entegrasyonunu sağlayan artırılmış gerçeklik (Augmented Reality-AR) ve sanal gerçeklik (Virtual Reality-VR) araçlarına dayanmaktadır (Paelke, 2014). Diğer bir deyişle, insanın gerçeklik algısını artırılmış nesneler ve öğelerle zenginleştirmek amacıyla sanal bilgi gerçek dünya sunumuna dahil edilebilir (Syberfeldt vd., 2016). Bu amaçla, mevcut VR ve AR uygulamaları, grafik arayüzleri kullanıcının mevcut ortama bakışıyla ilişkilendirir. Grafik kullanıcı arayüzlerinin temel rolü, kullanıcıların ekranda görünen komutları kullanarak öğelerin görsel temsillerini doğrudan etkileyebilmeleri ve ad hoc geri bildirimlerle referans verilen bu menülerle etkileşim kurabilmeleridir. Bu amaçlara göre, görselleştirme teknolojilerinin dört işlevsel gereksinimi vardır (Salkın vd., 2018):

- Sahne çekimi,
- Olay yeri tanımlama,
- Sahne işleme,
- Sahne görselleştirme.

Böylece uygulama için elde taşınabilir cihazlar, sabit görselleştirme sistemleri, mekansal görselleştirme sistemleri, başa takılan ekranlar, akıllı gözlükler ve akıllı

lensler gibi donanımlar kullanılmaktadır. Öte yandan, görselleştirme durumlarının uyarlanmasındaki temel zorluklar, çevreye daha iyi kullanıcı deneyimi için gerçekçi nesneler sunar, gerekli bilgileri meta grafiklerle ekler ve renk doygunluğu ve kontrastı ile kullanıcıların algısını zenginleştirir. Bu bağlamda, görselleştirme teknolojilerinin ekranlarına yönelik yaklaşımlar üç odak noktasına dayanmaktadır (Paelke, 2014):

- Artırılmış bilgilere yardımcı olan kamera tarafından desteklenen video tabanlı adaptasyon,
- Kullanıcının özel bir ekran takarak bilgi verdiği optik adaptasyon ve
- Belirtilen nesnelerin izdüşümü.

Genel olarak, AR'nin endüstri alanına uygulanması, ürün tasarımı ve üretim geliştirmede iletişimi büyük ölçüde geliştirdiği için önemlidir. Geliştirme sürecinin erken aşamalarında tasarım hatalarını belirlemeye ve önlemeye yardımcı olur, fiziksel prototip sayısını azaltır ve işletmeler için zaman ve maliyet tasarruf sağlar. AR, birçok endüstriyel uygulamada ürün ve süreç geliştirmeyi iyileştirmek ve hızlandırmak için değerli bir araç olarak kabul edilir. Artık endüstri alanında AR için en az beş ana uygulama alanı belirlemek mümkündür. Bunlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir (De Pace vd., 2018):

- İnsan-Robot İşbirliği,
- Bakım-montaj-onarım,
- Eğitim,
- Ürün denetimi ve bina izleme.

İnsan-Robot İşbirliği alanında AR, endüstriyel robotlarla etkileşim kurmak için verimli arayüzler oluşturmak için kullanılır. Bakım-montaj-onarım görevlerinde AR, kendi üretkenliğini artırır. Eğitim operasyonlarında, kullanıcılar AR'de becerilerini geliştirmek için güçlü bir çözüm bulabilirler. Ürün incelemesinde, kontrolörler, güçlü ve çok yönlü AR sistemleri kullanan öğelerin herhangi bir tutarsızlığını görebilir. Son olarak, bina izleme işlemlerinde AR, bir tesisin herhangi bir hatasını veya sapmasını basit ve sezgisel bir şekilde vurgular (De Pace vd., 2018).

Artırılmış gerçeklik tabanlı sistemler, bir depodaki parçaların seçilmesi ve mobil cihazlar üzerinden onarım talimatlarının gönderilmesi gibi çeşitli hizmetleri destekler. Endüstri, karar vermeyi ve çalışma prosedürlerini iyileştirmek için işçilere gerçek zamanlı bilgi sağlamak için artırılmış gerçeklikten yararlanabilir. İşçiler,

onarım gerektiren gerçek sisteme bakarken belirli bir parçanın nasıl değiştirileceğine dair onarım talimatları alabilirler (Rüßmann vd., 2015).

2.2.2.9. Siber Güvenlik

Yakın zamana kadar siber güvenliğin odak noktası, özel sektöre ait bir bilgisayar ağına yetkisiz erişimi korumak için örgütsel çevreleri savunmak olmuştur. Baskın yaklaşım, güvenlik duvarları, saldırı tespit sistemleri, kötü amaçlı yazılım korumaları, onu bilgisayar korsanlarından korumak için çevrenin girişine yerleştirmek olarak gelişmiştir. Bu siber güvenlik yaklaşımı, Endüstri 4.0 fiziksel ve dijital dünyalar arasındaki sınırları bulanıklaştırırken hızla geçerliliğini yitirmektedir. Aynı şekilde, sosyal ve kültürel faktörlerle birleşen iletişim teknolojileri, çalışma alışkanlıklarını "her yerde, her zaman" şeklinde yeniden şekillendirmektedir. Endüstri 4.0 ile artan veri yoğunluğu ve bilgi teknolojisi ile operasyonel teknolojinin birleşimi, özellikle siber güvenlik olmak üzere yeni zorlukları beraberinde getirmektedir (Frost ve Sullivan 2017). Siber güvenlik, tüm hükümetlerin en yüksek önem düzeyinde takip ettiği temel konudur. Kötüye kullanım, yetkisiz erişim ve hırsızlıklara karşı dijital biçimde bir konu veya sistem hakkında iş bilgilerinin ve değerli bilgilerin korunmasıdır (Kaplan vd., 2011). Genişleyen ağ bağlantılarıyla birlikte, finansal ve stratejik nedenler gibi farklı amaçlar için verileri kötüye kullanma eğiliminin artması nedeniyle siber saldırılar daha yaygın hale gelmiştir. Özellikle Endüstri 4.0 çağında aşağıdaki gelişmeler olmakla birlikte geleneksel siber güvenlik yaklaşımları yetersiz kalmaktadır (Culot vd., 2019):

- Kullanıcı erişimi için giriş noktalarının sayısı sensörler, Wi-Fi bağlantıları, Nesnelerin İnterneti (IoT), satış noktası (Point of Sale-POS) terminalleri ve diğer birçok kaynak aracılığıyla katlanarak artmaktadır
- Şirketler iş yüklerini kamuya açık bulutlara taşmakta ve şirkete özgü birçok denetim ve uygulama etkisiz hale gelmektedir.
- Şirketlere ait dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonları da özel amaçlar için kullanılmakta, özel mülkiyete ait cihazlar ayrıcalıklı şirket bilgilerine ve uygulamalarına erişmek için kullanılmaktadır.

- Ağlar, BT ortamında ve altyapı ve operasyonel teknolojiler ortamlarıyla giderek daha fazla birbirine bağlanmaktadır.
- Veriler ve fikri mülkiyet ortaklar ve tedarik zincirleri arasında paylaşılmakta, bilgi sistemleri tedarikçiler ve müşteriler arasında entegre edilmektedir.

Bu dağıtılmış ve entegre Endüstri 4.0 bağlamında bir şirketin yüzde yüz güvenliğini sağlamak neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Siber güvenlik teknolojileri, şifreleme ve makine öğrenimi teknikleri de dahil olmak üzere hızla gelişmektedir (Lezzi vd., 2019). Bu arka planda, siber güvenlik her şeyden önce strateji tanımı ile ilgilidir. Yöneticiler, belirsizlikle ilgili maliyetleri en aza indirmek ve iş operasyonlarının devamlılığını sağlamak amacıyla konuya siber esneklik ve risk yönetimi mercekleri üzerinden yaklaşmaya başlamaktadır (BCG, 2019; McKinsey & Company, 2019).

Bir diğer önemli stratejik husus, siber güvenliğin müşteriye karşı nasıl konumlandırılacağıdır. Akıllı ürünler, bağlantılı makineler ve müşteri verilerinin işlenmesi nedeniyle, birçok geleneksel üretim ve hizmet şirketi artık siber güvenliği müşteri değeri yaratma fırsatı olarak görmektedir. Güvenli erişim, güvenilir teknoloji ve veri koruma, şirketlerin sattıklarının temel bir parçası haline gelmektedir. Zira güven, ticari etkileşimin kritik bir bileşenidir (Burt, 2019; Lysne, 2014). Gelişmiş güvenlik özellikleri sayesinde şirketler rekabetçi konumlarını yükseltebilirler. Siber güvenlikle ilgili hizmetler aracılığıyla ek gelir akışları oluşturulabilir.

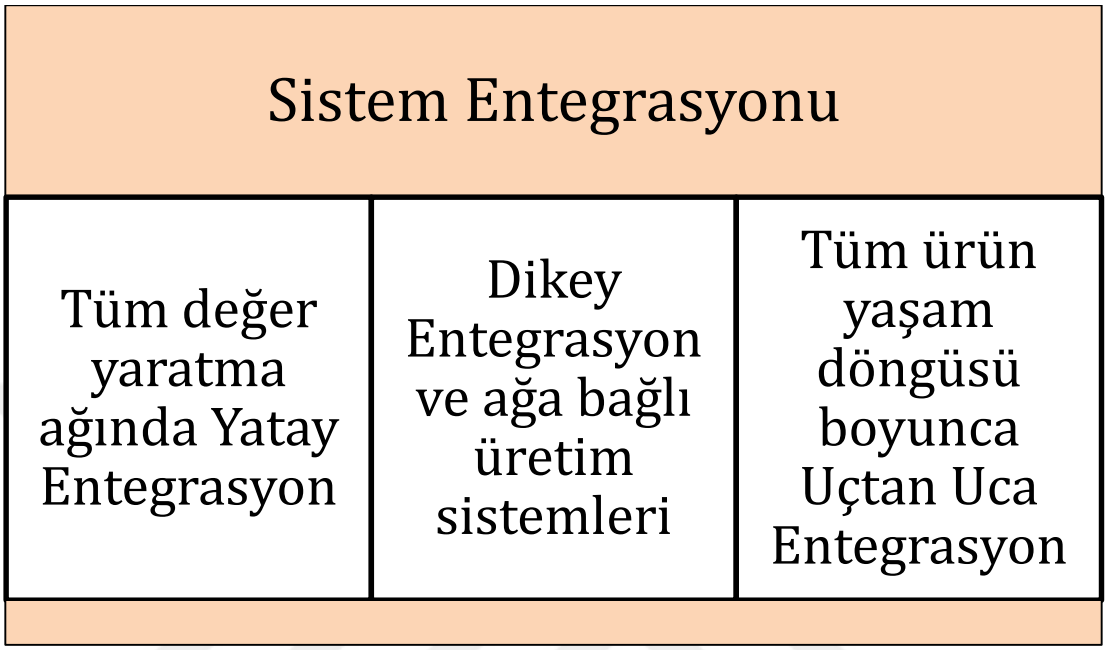
2.2.2.10. Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu

Entegrasyon ve kendi kendine optimizasyon, endüstriyel organizasyonda kullanılan iki ana mekanizmadır (Schuh vd., 2014). Endüstri 4.0, değer zincirinde yatay ve dikey entegrasyonun gerçekleşmesidir. Yatay entegrasyon, gerçek zamanlı üretim ve hizmetler için kaynaklar ile bilgi ve iletişim ağının bağlantısıdır. Dikey entegrasyon, mevcut klasik sabit üretim sisteminin modern web kontrollü süreçlere dönüştürülmesidir (Zhou vd., 2015). Özet olarak Endüstri 4.0 paradigması, esasen entegrasyonun üç boyutu ile hayata geçer (Stock ve Seliger, 2016):

- Tüm değer yaratma ağı boyunca yatay entegrasyon,
- Dikey entegrasyon ve ağa bağlı üretim sistemleri

- Tüm ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca mühendislik.

Şekil 6. Sistem Entegrasyonu



Kaynak: Yazar tarafından düzenlenmiştir

Dikey ve yatay boyutta imalat süreçlerinin tam dijital entegrasyonu ve otomasyonu, özellikle standartlaştırılmış süreçler boyunca bir iletişim ve işbirliği otomasyonu anlamına da gelir (Erol vd., 2016). Şekil 6, sistem entegrasyonunun kısa açıklamasını göstermektedir (Vaidya vd., 2018).

2.2.2.11. Üç Boyutlu Yazıcılar ve Katmanlı Üretim

3D yazıcılar, nesneleri katman katman oluşturan ek bir üretim sürecidir. 3D baskı terimiyle birbirinin yerine kullanılan katmanlı üretim, küçük katmanlar (dolayısıyla katkı maddesi) ekleyerek fiziksel nesneleri oluşturmak için eklemeli süreçler kullanan bir dizi üretim teknolojisini ifade eder. Termoplastik veya polimerik malzemeler kullananlar gibi çeşitli 3D baskı türleri vardır. Polimerik malzemeler için üç ana 3D baskı teknolojisi stereolitografi (SLA), erimiş filament imalatı (Fused Filament Fabrication-FFF) ve seçici lazer sinterlemedir (Selective Laser Sintering-

SLS). SLA ve SLS yazıcıları, bir nesne oluşturmak için sırasıyla fotopolimer reçineyi ve tozu katılaştırmak veya kaynaştırmak için lazerler kullanır. Öte yandan FFF, erimiş termoplastikleri ekstrüde ederek nesneler üretir ve bunlar hemen sertleşir (Chong vd., 2017).

Akıllı fabrikaların fiziksel kısmı, mevcut üretim sistemlerinin kapasitesi ile sınırlıdır. Bu durum katmanlı üretimi Endüstri 4.0'ın hayati bileşenlerinden biri yapar. Endüstri 4.0'da toplu özelleştirme gerekliliği nedeniyle, geleneksel olmayan üretim yöntemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle katmanlı üretim, gelişmiş özelliklere (yeni malzemeler, şekiller) sahip sofistike nesneler yaratma kabiliyeti nedeniyle özelleştirilmiş ürünler üretmek için anahtar bir teknoloji haline gelebilir. Artan ürün kalitesi sayesinde, katmanlı üretim şu anda havacılık, biyomedikal ve imalat gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır (Thompson vd., 2016). Kitlesel üretimde uygulanabilirliği konusunda hala bazı şüpheler olsa da, yeni teknolojik gelişmeler nedeniyle endüstride katmanlı üretimin kullanımı artmaktadır. Artan üretim hızı ile doğru ve güçlendirilmiş karmaşık nesneler oluşturmak için gelişen bir teknoloji olarak, yakın gelecekte geleneksel üretim tekniklerinin yerini almanın bir yolunu sunabilir (Dilberoğlu vd., 2017).

2.2.3. Endüstri 4.0'ın Türkiye Üzerindeki Etkisi

Ülkemizde üretime dayalı bir ekonominin varlığı Endüstri 4.0'ın etkilerini ülkemiz açısından kaçınılmaz kılmaktadır. Zira ülkemizde imalat sanayi gerek yerli ve gerekse yabancı yatırımlarla çok önemli bir ekonomik getiri sağlamaktadır. Bu alanda geleneksel sanayi yatırımlarının verimliliğini artırmak ise rekabet üstünlüğü açısından gerekli hale gelmektedir. Halihazırda ülkemizde özellikle Avrupa'ya ihracat imalat sanayi açısından başat role sahiptir. Bu durumun ana sebebi ülkemizdeki işgücü maliyetlerinin sağladığı avantajdır. İleride Endüstri 4.0 dolayısıyla daha az insanın üretim süreçlerinde rol alması halinde ülkemizin bu avantajının kaybolma tehlikesi vardır. Bu nedenle Türkiye'nin üretim süreçlerini kaybetmeden geliştirmesi için Endüstri 4.0 uygulamalarına entegre olması hayati öneme sahiptir (TÜSİAD, 2016).

Ülkelerin Endüstri 4.0'a hazırlık düzeylerinin incelendiği UBS tarafından yapılmış olan çalışmada ülkemizin toplam sırlamada 39. Sırada olduğu görülmektedir

(UBS, 2016). Bu durum esasında bir G-20 ülkesi olan ülkemiz açısından sorunludur. Zira bu konuda geri kalmak gelecekte ekonomik anlamda olumsuz sonuçları doğurma potansiyelini taşımaktadır. Zira bu durumu teyit edecek şekilde TÜBİTAK 1000 özel sektör kuruluşunun katılımı ile 2016 yılında çalışma yapmış ve Türkiye endüstrisinin dijital gelişim düzeyinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında bulunduğunu tespit etmiştir (Bayrak, 2018).

Tablo 3. Ülkelerin Endüstri 4.0'a Uyumluluk Düzeyleri

Ülkeler	İşgücü yapısı esnekliği	Yetenek seviyesi	Eğitim ve uyumlu beceri düzeyi	Altyapı uygunluğu	Yasal güvence	Toplam Etki	Pazar Türü (*)
İsviçre	1	4	1	4.0	6.75	3.4	DM
Singapur	2	1	9	3.5	9.00	4.9	DM
Hollanda	17	3	8	6.5	12.50	9.4	DM
Finlandiya	26	2	2	19.0	1.25	10.1	DM
ABD	4	6	4	14.0	23.00	10.2	DM
Birleşik Krallık	5	18	12	6.0	10.00	10.2	DM
Hong Kong	3	13	27	4.5	10.00	10.15	DM
Norveç	9	7	13	19.0	11.50	11.9	DM
Danimarka	10	9	10	15.5	17.75	12.5	DM
Yeni Zelanda	6	10	24	21.5	6.25	13.6	DM
İsveç	20	12	7	12.0	19.75	14.2	DM
Japonya	21	21	5	12 0	18 00	15.4	DM
Almanya	28	17	6	9.5	18.75	15.9	DM
İrlanda	13	15	21	19 0	11 50	15.9	DM
Kanada	7	19	22	16.0	20.50	16.9	DM

* Gelişmiş Pazar (DM)/Gelişmekte Olan Pazar (EM), Sınır Pazar (FM)
Kaynak: UBS, 2016.

Tablo 3. Ülkelerin Endüstri 4.0'a Uyumluluk Düzeyleri (Devam**)**

Ülkeler	İşgücü yapısı esnekliği	Yetenek seviyesi	Eğitim ve uyumlu beceri düzeyi	Altyapı uygunluğu	Yasal güvence	Toplam Etki	Pazar Türü (*)
Tayvan	22	14	11	20.0	31.25	19.7	EM
Avustralya	36	8	23	18.5	17.75	20.7	DM
Avusturya	40	16	17	19.5	17.25	22.0	DM
Belçika	54	5	16	17.5	21.5	22.8	DM
Fransa	51	25	18	12.0	31.00	27.4	DM
İsrail	45	28	3	26.0	38.50	28.1	DM
Malezya	19	36	20	35.5	34.50	29.0	EM
Portekiz	66	26	28	24.5	32.25	35.4	DM
Çekya	47	29	35	35.0	44.75	38.2	EM
Güney Kore	83	23	19	20.0	62.25	41.5	EM
Şili	63	33	50	42.0	39.25	45.5	EM
İspanya	92	30	37	17.5	61.25	47.6	DM
Çin	37	68	31	56.5	64.25	51.4	EM
Kazakistan	18	60	72	59.5	68.25	55.6	FM
Polanya	81	31	64	48.5	58 00	56 5	EM
Rusya	50	38	68	47.5	114.00	63.5	EM
Tailand	67	56	57	51.0	88 00	63 8	EM
İtalya	126	45	32	31.5	87.75	64.5	DM
Macaristan	77	57	51	48 0	90 25	64.7	EM
Güney Afrika	107	83	38	59.0	42.75	66.0	EM
Yunanistan	116	43	77	35.0	67.00	67.6	EM
Filipinler	82	63	48	79.0	78.00	70.0	EM
Endonezya	115	65	360	73.5	70.25	70.8	EM
Türkiye	**127**	**55**	**60**	**58.5**	**77.75**	**75.7**	**EM**
Kolombiya	86	70	76	77.0	102.75	82.4	EM
Hindistan	103	90	42	100.5	81.50	83.4	EM
Meksika	114	86	59	66.0	100.00	85.0	EM
Brezilya	122	93	84	64.0	97.75	92.2	EM
Peru	64	82	116	88.5	113.25	92.8	EM
Arjantin	139	39	93	78.0	125.75	95.0	FM

* Gelişmiş Pazar (DM)/Gelişmekte Olan Pazar (EM), Sınır Pazar (FM)
Kaynak: UBS, 2016.

Esasında önceki sanayi devrimlerini yakalamakta başarılı olamayan ülkemiz, meydana gelmekte olan ve günümüzde deneyimlediğimiz bilgi-iletişim devriminde doğru konumlanması kayda değer öneme sahiptir. Aksi durumda, telafisi çok zor olacak zararlara neden olacak ve çok hızlı gelişen ve ülkemiz değişen dünyada farklı bir ligde yer almak durumunda bulunacaktır. Bilgi toplumuna evrilmek amacıyla kas gücünün ötesinde araştıran, öğrenmeye açık, sorgulayan, karşılaştırma yapan ve akıllı üretim süreçlerini takip edebilen dinamik bir insan kaynağını yetiştirmek gerekmektedir. Bahse konu kaynağı oluşturacak dönüşüm ise acil bir şekilde gerçekleştirecek, doğru hedefler koyarak ve bu hedefleri elde etmeyi kolaylaştıracak politikaları meydana getiren yapısal reformlar ile yapılabilir. Ancak bu reformlar statik olmaması aksine süreç içerisinde yaşanan gelişmeler ile uyum sağlayacak şekilde dinamik olması gereklidir. Özet olarak ülkemizde gerek kamu ve gerekse de özel sektörde devrimsel ve devinimsel gelişmelere ve değişikliklere gereksinim duyulmaktadır. Bahse konu yapısal değişimlerde ise temel olan AR-GE'ye yapılması gereken yatırımlardır. Bu bağlamda Türkiye Bilim Teknoloji Yüksek Kurulu'nun "Ulusal Yenilik Sistemi" başlığı altında oldukça iddialı hedefler belirlenmiştir. Ancak bu hedefler kolay erişilebilir durumda değildir. Örnek vermek gerekirse GSYH'nın asgari %3'ünün AR-GE'ye tahsisi edilmesi öngörülmüştür. Ancak bu oran artış gösterse de hedeflendiği seviyeye ulaşmamıştır. AR-GE alanında çalışan sayısının yaklaşık 300 bin kişi olması hedeflenmiş, ancak bu sayı 50 bin yeni araştırmacı istihdamıyla birlikte toplam 80 binlere ulaşmıştır. Ancak bu hedeflerin konulması ileri adımların atılması açısından önemlidir ve ülkemizin bu konuda daha fazla ilerleme kaydetmesinin gerekli olduğu değerlendirilmektedir (Çeliktaş vd., 2015).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
NANOTEKNOLOJİ

3.1. NANOTEKNOLOJİ KAVRAMI

3.1.1. Nanoteknolojinin Tanımı

Nanoteknoloji terimi ilk olarak 1974 yılında Norio Taniguchi (Tokyo Üniversitesi) tarafından malzemeleri tam olarak nanometreler ölçeğinde tasarlama becerisine atıfta bulunmak için kullanılmıştır. Bu aslında mevcut anlamıdır; "Mühendislik malzemeleri" genellikle malzemelerin tasarımını, karakterizasyonunu, üretimini ve uygulamasını içerir ve günümüzde kapsam, yalnızca malzemelerden ziyade cihazları ve sistemleri içerecek şekilde genişletilmiştir. Nanoteknoloji, nanometre boyutlarında kontrollü malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarımı ve imalatı olarak tanımlanmaktadır. Nanoteknolojinin özü, bu nedenle boyut ve kontroldür. Uygulamaların çeşitliliği nedeniyle, çoğul 'nanoteknolojiler' terimi bazıları tarafında tercih edilmektedir (Ramsden, 1990).

Nano'nun ölçek yönünü vurgulayan birçok tanım vardır (Whitesides ve Love, 2007). Bu tanımlar esas olarak nanometrik ölçekte özelliklerin makroskopik ölçek özelliklerinden önemli ölçüde farklı olduğu gerçeğine işaret etmektedir. Örneğin, ABD'den nano maddenin 1 ila 100 nanometre boyutlarında anlaşılması ve kontrolünün yeni uygulamaları mümkün kıldığını belirtmektedir. Bu yeni uygulamalardan nano ölçekli bilim, mühendislik ve teknolojiyi kapsayan, maddenin 1 ila 100 nanometre uzunluk ölçeğinde hayal edilmesi, ölçülmesi, modellenmesi ve manipüle edilmesi şeklinde bahsedilmektedir (The National Nanotechnology Initiative, 2007). Nanoteknolojinin nano ölçekli yönünü vurgulayan bir başka tanım, nanoteknolojiyi temelde yeni özelliklere ve işlevlere sahip malzemeleri, cihazları ve sistemleri anlamak ve oluşturmak için küçük yapıları nedeniyle yaklaşık 1 - 100 nm aralığındaki uzunluk ölçeğinde atomik, moleküler seviyelerde çalışmak olarak açıklamaktadır (Cacciatore vd, 2011).

Tanımlardaki diğer bir ortak nokta, nanobilim ve nanoteknolojilerin disiplinler arası doğasına yapılan vurgudur (Hutchinson, 2007). Nanoteknoloji kavramı, fiziksel,

kimyasal ve yaşam bilimlerinin yakınsamasından kaynaklanan nano ölçekte ürün ve süreçleri tanımlamak için kullanılan bir şemsiye terim olarak kullanıldığı görülmektedir. Son olarak tanımlardaki diğer ortak nokta nanoteknolojinin elektronik, tıp, biyoteknoloji, tarım, kimya / ilaç ve malzeme gibi farklı alanlardaki uygulamalarıyla tartışılmasıdır (Roco, 2004). Nanoteknoloji ayrıca biyoteknoloji, bilgi ve biliş gibi farklı teknolojilerin bir parçası olarak kabul edilmektedir (Roco ve Bainbridge, 2002). Whitesides ve Love'a (2007) göre nanobilim ve nanoteknoloji, biyoloji, bilgisayar bilimi, kimya, malzeme bilimi, elektrik mühendisliği gibi bir dizi alanın birleşimi olarak tanımlanmaktadır.

3.1.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi

Nanoteknolojinin tarihsel arka planını kısaca özetlersek, 29 Aralık 1959'da Caltech'teki toplantıda yaptığı ve "Altta çok fazla odacıklar var" ifadesiyle çok küçük alanlarda çalışma alanlarının var olduğundan bahsettiği konuşmada fizikçi Richard Feynman (Fizikte Nobel Ödülü sahibi, 1965) dikkatleri nanoteknolojiye çevirmiştir. Feynman'ın fikirleri, atom düzeyinde tek bir eylem yapma fırsatı sağlayacak sistemlere odaklanmıştır. Ancak nanoteknoloji kavramı ilk olarak 1974 yılında Norio Taniguchi (Tokyo Üniversitesi) tarafından malzemeleri tam olarak nanometreler ölçeğinde tasarlama becerisine atıfta bulunmak amacıyla ortaya atılmıştır (Ramsden, 1990).

Feynman'ın konuşmasından yirmi yıl sonra, Zürih'teki IBM (International Business Machines Corporation)'de çalışan bir grup araştırmacı, Taramalı Tünel Açma Mikroskobu (Scanning tunneling microscope-STM) üreterek tek atomu görmek ve işlemek için bir cihaz geliştirmiştir (Binnig ve Röhrer, 1982: 726). Sonraki yıllarda, Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy-AFM) üretilmiştir (Binnig vd., 1986). Bu cihazlar, nanoteknoloji alanındaki çok önemli bir boşluğu doldurma girişimi olarak değerlendirilebilir. Atom düzeyinde çalışırken görmek ve manipüle etmek önemli bir konu olarak kabul edilebilir. Bu nedenle mikroskop üretmek nanoteknolojide çığır açan bir gelişme olarak düşünülebilir. Bir başka dönüm noktası da Fullerenes'in elektronik ve malzeme mühendisliğinde uygulama için büyük potansiyele sahip bir karbon molekülü olarak keşfedilmesidir (Aydoğdu, 2018).

Nanoteknolojideki gelişmeler hızla devam etmektedir. Nanoteknolojinin kronolojik gelişimi Tablo 3'de verilmiştir. Özellikle 2000'li yıllardan günümüze bu alanda pek çok gelişme ve yenilikler olmuştur. Bu yeniliklerin ve gelişmelerin tamamı tabloda verilmemiş, sadece en çarpıcı olanlarından bahsedilmiştir. Kronolojik evrimler açısından; NT'nin uygulanması için gerekli alet, makine ve teçhizatlar 2000 yılına kadar icat edilmiştir. 2000'li yıllardan sonra ise NT'nin yayılması için firma, kurum ve kuruluşların ortaya çıktığı söylenebilir. Üniversitelerde eğitim programları başlatılmış ve NT'nin ticarileştirilmesine daha fazla önem verilmiştir (Aydoğdu, 2018).

Tablo 4. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi

Yıl	**Gelişme**
1959	Feynman çok küçük alt odacıklarda çalışma yapılmasına ilişkin konuşmasını yapmıştır.
1974	Norio Taniguchi tarafından ilk kez nanoteknoloji kavramı kullanılmıştır.
1985	R.Curl Jr., H.Kroto ve R.Smalley C_{60}'ı keşfetmiştir.
1986	G.K.Binnig, C.F.Quate, ve C.Gerber AFM'yi keşfetmiştir. İl nanoteknoloji kitabı olan "Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology" adlı kitap K.E.Drexler tarafından yayınlanmıştır.
1987	İletkenliğin kuantum özelliği ilk kez gözlemlenmiştir. T.A. Fulton ve G.J.Dolan tek bir elektron transistörü yapmıştır.
1988	W.De Grado ve ekibi ilk kez yapay protein yapmıştır.
1989	"IBM" kelimesi Zürih'te 35 X_e atomu kullanılarak yazılmıştır.
1990	"Nanotechnology" isimli ilk nanoteknoloji dergisi yayınlanmıştır.
1991	Iijima, çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmiştir.
1992	İlk nanoteknoloji ders kitabı "Nanosistemler: Moleküler Makineler, Üretim ve Hesaplama" K.Eric Drexler tarafından yazılmıştır.
1993	Iijima ve Bethune, tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmiştir. İlk "nanoteknoloji" laboratuvarı, Rice Üniversitesi'nde kurulmuştur. İlk Feynman Ödülü düzenlenmiştir. Araştırmacı, nanoteknolojide yararlı bir hidrojen soyutlama aracını modellediği için ödüllendirilmiştir.

Kaynak: Aydoğdu, 2018: 11-12.

Tablo 4. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi (Devamı)

Yıl	Gelişme
1995	Askeri uygulamaların ilk endüstri analizi yapılmıştır. Bu analiz, yeni teknolojilerin - geçmişte sıklıkla olduğu gibi - ulusların ulusal hedeflere ulaşmak için güç kullanma şeklini yeniden şekillendireceği sonucuna varmıştır.
1996	NASA, hesaplamalı nanoteknoloji alanında çalışmaya başlamıştır.
1997	N. Seeman, bir DNA molekülü kullanarak ilk kez nanomekanik bir cihaz yapmıştır. Zyvex adlı ilk şirket kurulmuştur
1999	M.Reed ve J.M.Tour ilk kez tek organik molekül ile elektronik anahtar yapmıştır.
2000	ABD, Ulusal Nanoteknoloji Girişimi'ni (National Nanotechnology Initiative-NNI) açıklamıştır. ABD'de ilk kez 422 milyon dolar nanoteknoloji araştırmalarına ayrılmıştır. İlk eyalet araştırma girişimi Kaliforniya'da 100 milyon dolar ile gerçekleşmiştir.
2001	Transistörler ve mantık devreleri ilk kez nanotüplerden yapılmıştır. Nanoteknoloji endüstrisi üzerine ilk rapor açıklanmıştır ABD, askeri uygulamalar için ilk merkezi açıklamıştır.
2002	Superlattice nanotelleri yapılmıştır. İlk nanoteknoloji endüstrisi konferansı düzenlenmiştir. Nanoteknoloji Araştırma Ağı Merkezi Japonya'da kurulmuştur.
2004	İleri nanoteknoloji üzerine ilk politika konferansı düzenlenmiştir.
2005	İlk dört tekerlekli nano araba modeli taşınmıştır. Roco, Nanoethics toplantısında nanomakine / nanosistem proje sayısının 300'e ulaştığını duyurmuştur.
2009	Gelişmiş bir yürüyen DNA nanorobotu kullanılmıştır.
2010	DNA tabanlı 'robotik' montajın başlamıştır.
2011	Nanoprosesörler için ilk programlanabilir nanotel devrelerin üretilmiştir. IBM araştırmacıları tarafından ilk kez grafen içeren bir transistör üretilmiştir.

Kaynak: Aydoğdu, 2018: 11-12.

3.1.3. Nanoteknolojinin Amaçları

Malzemelerin özellikleri, iki ana nedenden dolayı nano ölçekte farklı olabilir. Birincisi, nanomalzemeler nispeten daha büyük bir formda üretilen aynı malzeme

kütlesinden daha büyük bir yüzey alanına sahiptir. Bu, materyalleri kimyasal olarak daha reaktif hale getirebilir (bazı durumlarda daha büyük formlarında inert olan materyaller, nano ölçekli formlarında üretildiklerinde reaktiftirler) ve güçlerini veya elektriksel özelliklerini etkileyebilir. İkincisi, 50 nm'nin altında, klasik fizik yasaları yerini kuantum etkilerine bırakarak, aynı malzemeden daha büyük ölçekte farklı optik, elektriksel ve manyetik davranışları tetikler. Bu etkiler, malzemelere olağanüstü elektrik iletimi veya direnci gibi çok faydalı fiziksel özellikler verebilir veya ısıyı depolama veya aktarmada yüksek kapasite sağlayabilir ve hatta biyolojik özellikleri değiştirebilir, örneğin gümüş bir nano ölçekte bir bakterisit haline gelebilir. Ancak bu özelliklerin kontrol edilmesi çok zor olabilir. Örneğin, nanopartiküller birbirine temas ederse hem şekillerini hem de bilim adamlarının yeni nesil mikroelektronik cihazlar ve sensörler için yararlanmayı umdukları manyetizma gibi özel özelliklerini kaybederek kaynaşabilirler. Günümüz nanoteknolojisi, yani materyallerin ve özelliklerin nano ölçekte planlı manipülasyonu, üç teknolojik amaçla yapılmaktadır (Lauterwasser, 2005):

i. Nano ölçekli yapı bloklarının boyutunun ve manipülasyonunun yeni ve geliştirilmiş kontrolü,
ii. Nano ölçekte malzemelerin yeni ve geliştirilmiş karakterizasyonu (örneğin, uzamsal çözünürlük, kimyasal duyarlılık),
iii. Nanoyapı ile özellikler arasındaki ilişkilerin ve bunların nasıl tasarlanabileceğinin yeni ve geliştirilmiş anlayışıdır.

Bu teknolojik amaçlar sayesinde nanoteknolojik ürünler ve çözümler günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Çalışmanın devamında nanoteknolojinin kullanım alanları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

3.1.4. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji, elektronik, uzay, sağlık, gıda ve tıp gibi alanlarda uygulandığı ve giderek daha fazla alanda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Çalışmanın bu kısmında nanoteknolojinin kullanım alanları açıklanacaktır.

3.1.4.1. Malzeme Bilimi

Nanoteknoloji, malzemelerin daha verimli ve etkili kullanımına da yol açabilir. Örneğin nanoteknoloji, katalitik dönüştürücülerin işlevselliğini geliştirebilir ve gerekli platin grubu metallerin kütlesini % 95'e kadar azaltabilir. Bunun genel ürün yaşam döngüsü avantajları vardır. Platin grubu metaller cevherde düşük konsantrasyonlarda oluştuğu için, kullanımdaki bu azalma madencilikten kaynaklanan ekolojik etkileri azaltabilir. Bununla birlikte, hassas nanomalzemelerin üretimi malzeme yoğun olabilir (Lloyd vd., 2005).

Nanomalzemelerin artan malzeme işlevselliği ile, bazı durumlarda toksik malzemeleri değiştirmek ve yine de istenen işlevselliği (elektriksel iletkenlik, malzeme mukavemeti, ısı transferi, vb. açısından) elde etmek mümkün olabilir, çoğu zaman diğer yaşam döngüsü faydaları ile birlikte malzeme ve enerji kullanımı açısından önemli avantajlar sağlar. Örneğin, sonunda kurşunlu lehimin yerini alabilecek nanoteknolojiye dayalı kendinden birleştirilmiş tek tabakalardan oluşan kurşunsuz iletken yapıştırıcılardır. Kurşunlu lehim elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır; Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda yaklaşık 3900 ton kurşun kullanılmaktadır. Azaltılmış kurşun kullanımının faydalarına ek olarak, iletken yapıştırıcılar, asit akışı ihtiyacı ve deterjan ve su ile temizlik dahil olmak üzere birkaç işleme adımını ortadan kaldırarak elektronik üretimini basitleştirebilir (EPA, 2007).

Nanomalzemeler ayrıca Organik Işık Yayan Diyotlar (Organic Light-Emitting Diode-OLED) için de kullanılmaktadır. OLED'ler, kurşun içeren Katot Işın Tüplerinin yerini alan bir görüntüleme teknolojisidir. OLED'ler ayrıca geleneksel Düz Panel Ekranlarda kullanılan cıva gerektirmez. OLED ekranlar, yaşam döngüsü boyunca azaltılmış enerji kullanımı ve genel malzeme kullanımı gibi ek faydalara sahiptir (Frazer, 2003).

Nanomalzemeler ayrıca yakıt katkı maddeleri ve otomotiv katalizörleri olarak ve yardımcı kazanlar ve diğer enerji üreten tesisler için katalizör olarak potansiyel göstermektedir. Örneğin, seryum oksit nanopartiküller Birleşik Krallık'ta emisyonları azaltmak için on ve off-road dizel yakıt katkı maddeleri olarak kullanılmaktadır. Bu üreticiler ayrıca yakıt tüketiminde % 5-10'dan fazla azalma ve buna bağlı olarak araç

emisyonlarında bir azalma olduğunu ileri sürmektedir. Yakıt tüketiminde böyle bir azalma ve emisyonlarda azalma, bariz çevresel faydalarla sonuçlanmaktadır (EPA, 2007: 27).

3.1.4.2. Bilgisayar Teknolojisi

Bilgisayar dünyasında nanoteknoloji önemli bir yere sahiptir. İlk nesil bilgisayarlar, mikroişlemcilerin minyatürleşmesini göstermiş ve şu anda işlemciler nano-metre ölçeğinde dizayn edilme sürecindedir (Rueckes vd., 2000). Modern bilgisayar dünyası, dökme malzemelerden rafine ürün elde edilen eski teknolojiden inşa edilmiştir ve bu nedenle bu metodoloji, yığın veya yukarıdan aşağıya teknolojisi olarak bilinir. Ancak Moore yasası, CPU'nun performansının her 18 ayda bir iki katına çıktığını, yarı iletken bir yongadaki aygıtın özellik boyutunun her bir buçuk yılda bir 2 kat azaldığını göstermiştir. Endüstri tarafından bir bilgisayar çipine yerleştirilen transistörlerin sayısı her 1,5 yılda bir ikiye katlanmakta, yeni bir Fabrika inşa etmenin maliyeti her 3 yılda bir ikiye katlanmakta ve bu sorunu aşmanın basit çözümü Nanoteknoloji olarak görülmektedir. Bu kapsamda nanoteknoloji, karmaşık moleküler veya diğer problemler için yeni hassas ve gelişmiş çözümlere giden nano hesaplamanın yolunu açmıştır. Nano hesaplama, nanomalzemelerin yapı tespiti ve yeni optimizasyon fırsatlarına yönelik yeni karakterizasyon tekniklerini sağlayarak araştırmacılara yardımcı olmuş ve böylece farklı araştırma alanlarındaki işleme ve belirleme niteliklerine göre farklı hesaplama akışlarında (Elektro nano hesaplama, kimyasal nano hesaplama, mekanik nano hesaplama, kimyasal ve biyokoimyasal nano hesaplama) kullanılmıştır (Yadav vd., 2017).

3.1.4.3. Havacılık ve Uzay Bilimi

Nano ölçekli kristalitlerden oluşan metaller olarak tanımlanan nanoyapılı metaller, mikro ölçekli veya daha büyük tane yapısına sahip muadillerine kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiş özellikler sergiler. Bu, özellikle yapısal ağırlıkta önemli azalmaları kolaylaştırmak için havacılık uygulamaları için hayati önem taşıyan özellikler için - öncelikle akma dayanımı, gerilme mukavemeti, korozyon direnci ve

düşük yoğunluk - için belirgindir. Yapısal ve yapısal olmayan polimerlerin özelliklerini arttırmak için çeşitli nanomateryaller, uçak yapımında dolgu malzemesi olarak başarıyla kullanılmıştır. En yaygın kullanılan nanokompozitler arasında karbon nanotüpler, nanokiller, nanofiberler ve grafen bulunur. Karbon nanotüpler (Carbon Nanotubes-CNT'ler), olağanüstü sertlikleri, dayanıklılıkları ve benzersiz elektriksel özelliklerinden dolayı çeşitli polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanımları nedeniyle ilgi görmüştür. Unutulmaz bir şekilde, 2011'de fırlatılan Jüpiter uydusunun gelişmiş elektrostatik yük dağılımı ve elektromanyetik parazit koruması için CNT'lerin elektriksel özellikleri kullanılmıştır (Soutter, 2012).

Uçak malzemeleri alanındaki bir diğer eğilim, metallerin dayanıklılığını artırmak için magnezyum alaşımları gibi nano kaplamaların benimsenmesidir. Bir yandan magnezyum alaşımları çelik veya alüminyumdan çok daha hafiftir; bununla birlikte, magnezyumun yüksek kimyasal reaktivitesinin neden olduğu korozyona duyarlılıklarından ödün verilir. Korozyonla mücadelede en yaygın olarak uygulanan çözüm, bir yüzey kaplaması kullanmaktır. Bununla birlikte, üreticiler tarafından tercih edilen krom bazlı kaplamaların kanserojen olduğu iyi belgelenmiştir (Soutter, 2012).

3.1.4.4. Tıp ve Sağlık Sektörü

Nanoteknoloji, tıp teknolojisindeki birçok alanda büyük etkisi olan önemli yeni araçlar sunmaktadır. Yalnızca malzemeleri ve tıbbi cihazları iyileştirmek için değil, aynı zamanda mevcut ve daha geleneksel teknolojilerin sınırlarına ulaşabileceği yeni "akıllı" cihazlar ve teknolojiler yaratmak için olağanüstü fırsatlar sunmaktadır. Tıp alanında nanoteknoloji, çeşitli hastalıkların teşhisi için ilaç dağıtımı, doku mühendisliği gibi çeşitli yönlerle gelişmiştir. Biyobelirteçler, mikro diziler kanser, diyabet, kalp ve beyin hastalığı gibi hastalıkların teşhisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanoteknoloji / nanobiyoteknolojinin son uygulamasında, nanorobotik sistemler insan sağlığının çeşitli yönlerine odaklanmaktadır (Vijayakumar vd., 2013).

Nanoteknolojilerin tıpta uygulamaları konusunda hastalık teşhisi, vücuttaki belirli bölgeleri hedef alan ilaç dağıtımı ve moleküler görüntüleme gibi alanlar yoğun bir şekilde araştırılmakta ve bazı ürünler klinik denemelerden geçmektedir.

Nanoteknoloji nispeten yenidir ve insan sağlığı alanındaki bu teknolojik ilerlemelerin tüm katkıları keşfedilmemiş olsa da, son gelişmeler nanoteknolojinin hastalıkların önlenmesi, teşhisi ve tedavisi üzerinde derin bir etkiye sahip olacağını göstermektedir (Mandal ve Gnguly, 2011). Nanotıp, nanopartiküller kullanarak doğal iyileşme süreçlerimizdeki antikorlara benzer şekilde işlev gören, belirli hastalıklı hücreleri onarma yeteneğine dayalı olan tıpta gelecekteki gelişmeleri ifade eder. Araştırmacılar, ilaçları doğrudan vücuttaki hastalıklı hücrelere iletebilen moleküllerin boyutunda özelleştirilmiş nanopartiküller geliştirmektedir. Mükemmelleştirildiğinde, bu yöntem, kemoterapinin hastanın sağlıklı hücrelerine yaptığı gibi tedavilerin neden olduğu hasarı büyük ölçüde azaltmayı vaat etmektedir (Vijayakumar vd., 2011).

Biyomedikal nanoteknoloji, birçok hastalıkla mücadelede devrim niteliğinde fırsatlar sunmaktadır. Yakın vadeli potansiyele sahip bir alan, kanser, diabetes mellitus, nörodejeneratif hastalıklar gibi hastalıklarla ilişkili molekülleri tespit etmenin yanı sıra patojenik bakteriler, mantarlar ve HIV virüsleri gibi enfeksiyonlarla ilişkili mikroorganizmaları ve virüsleri tespit etmektir. Örneğin, kanser tedavisi alanında, gelecek vaat eden yeni nanopartiküller, harici olarak uygulanan fiziksel uyaranlara, onları uygun terapötikler veya terapötik uygulama sistemleri yapan yollarla yanıt verecektir. Nanoteknoloji için bir başka önemli uygulama alanı, örneğin ortopedik implantlarda veya doku mühendisliği ürünleri için yapı iskelesi olarak kullanılan biyomalzemelerdir. Nanoteknoloji, spesifik olmayan protein adsorpsiyonunu önleyen nano yapılı yüzeyler sağlayabilir. Nano düzeydeki yüzey özelliklerinin kontrolünün, malzemelerin biyouyumluluğunu artırdığı gösterilmiştir (Roszek, 2005).

3.1.4.5. Savunma Sektörü

Nanoteknoloji askeri alanda da kayda değer bir düzeyde kullanılmaktadır. Bu bağlamda nanoteknolojinin savunma uygulamalarında, Kitle İmha Silahlarını algılama, koruma kitleri (akıllı zırh, aktif kamuflaj) ve tıbbi yardımdan (enfeksiyon kontrolü), kendi kendini iyileştiren malzemeler ve nanoelektroniğe kadar çok çeşitli alanlarda kullanıldığı görülmektedir (Lele, 2009).

Nanoteknoloji tabanlı daha güçlü ve daha hafif malzemeler, azaltılmış kütleli geleneksel namlu tipi silahların yapımına izin verecektir. Nanofiber kompozitlerden

yapılmış namlu, kilit vb. küçük silahların ve hafif silahların kullanılabileceği düşünülebilir. Bu, bu tür silahların ağırlığını önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olabilir. Balistik ve atmosferik füzeler söz konusu olduğunda bile, azaltılmış kütle hız, menzil veya yükte belirgin bir artışa ve ayrıca taşıyıcı boyutunda bir azalmaya dönüşebilir. Ayrıca nanoteknoloji tarafından geliştirilmiş patlayıcıların ve itici gazların on yıl içinde askeri kullanıma girmesi muhtemeldir (Altmann, 2006).

Günümüzün modern savaşı, daha az ikincil hasarla daha doğru güç aktarımını gerektirir. Bu, sensörlerin ve bilgi teknolojisinin akıllıca kullanılmasıyla etkin bir şekilde etkinleştirilebilir. Ayrıca, daha güçlü, daha hafif yapı malzemeleri ve daha fazla enerji açığa çıkaran güvenilir patlayıcılar ve itici gazların mevcudiyeti bunun gerçekleşmesine izin verecektir. Daha az savunmasız aşındırıcı malzeme, uydu imalatında da yararlıdır. Nanoyapı malzemeleri, yapısal uygulamalar için muazzam bir umut vaat etmektedir. Nanokompozitler yeni nesil insansız hava araçları / insansız savaş hava araçlarının tasarımında hayati bir rol oynaması muhtemeldir (Roco ve Bainbridge, 2007).

3.1.4.6. Biyoteknoloji ve Tarım

Nanobilim, nanoteknoloji ve biyoteknoloji, sıradan insanların çok çeşitli bilgi alanlarında her gün karşılaştığı birçok sorunu çözmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Çevre bilimleri, kirli alanları değerlendirmek ve iyileştirmek için faydalıdır ve nano ve biyoteknoloji ile birlikte çalışarak geliştirildiği kanıtlanmıştır. Tarım ayrıca nano bilimlerden ve biyoteknolojiden yararlanarak, uygun fiyatlı ve zararsız gıda için mahsullerin üretimini ve korunmasını geliştirmiştir (Fabian, 2019).

Nanoteknoloji, tarım alanında önemli bir potansiyeline sahiptir ve bu teknoloji, gıda üretimi ve biyoteknoloji alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Nano ölçekli katkı maddeleri içeren gıda ve beslenme ürünleri halihazırda ticari olarak mevcuttur. Meyve suyunun berraklaştırılması, katkı maddeleri nanomalzemeler kullanılarak yapılmaktadır. Pamuk, soya fasulyesi, mısır ve diğer mahsuller, onları insan sağlığı için tehlikeli olan ve böcek zararlılarından kimyasal böcek ilaçlarından korumak amacıyla "Bascillus thuringiensis" bakterisinden proteinler içerecek şekilde nanoteknoloji ile tasarlanmıştır. Araştırmacılar ayrıca, A vitamini eksikliğinden dolayı

körlükten muzdarip insanlar için A vitamininin metabolik öncüsünü sağlamak için çeşitli pirinçler tasarlamıştır (Yattinahalli vd., 2016).

3.1.4.7. Çevre ve Enerji

Nanoteknoloji, kirliliğin giderilmesiyle başa çıkmada güçlü bir araç olabilir. Birkaç çalışma, nanopartiküllerin geleneksel işlemle birleştirilmesinin organik malzemeler gibi kirletici maddelerin uzaklaştırılmasının verimliliğini artırabileceğini göstermektedir. Zhang'ın raporunda (Rickerby ve Morrison, 2007), nano ölçekli demir partikülleri, klorlu organik çözücüler, organoklorlu pestisitler ve PCB (Polychlorinated biphenyl)'ler gibi çok çeşitli yaygın çevresel kirletici maddelerin dönüşümü ve detoksifikasyonu için çok etkilidir. Nanopartiküller uzun süre toprak ve sudaki kirletici maddelere karşı reaktif kalır ve nanopartikül enjeksiyonundan birkaç gün sonra TCE (Trichloroethylene)'nin % 99'a kadar azalmasıyla hızlı yerinde reaksiyonlar gözlemlenmiştir. Pek çok araştırmacı, TiO_2 (Titanyum Dioksit) ve ZnO (Çinko oksit) gibi tasarlanmış nanopartiküllerin, karbon nanotüpün, metalik nanopartiküllerin (örneğin demir, nikel) manyetik nanopartiküllerin ve amfifilik poliüretan nanopartiküllerin kirli su, toprak veya havanın iyileştirilmesi ve arıtılması için yararlı olabileceğini göstermiştir (Mobasser ve Firoozi, 2016).

Nanoteknolojinin çevre bilimindeki uygulaması dört bölüme ayrılmıştır. Bunlar iyileştirme, koruma, bakım ve geliştirmedir. Bu dördü arasında iyileştirme, en hızlı büyüyen kategori olarak bilinir; koruma ve bakım, çevre bilimindeki nanoteknoloji uygulamasının ana bölümünü oluştururken, çevresel iyileştirme, nanoteknoloji uygulama kategorilerinin en küçük bölümünü temsil eder. Nanopartiküller hava ve su arıtımında, yeşil kimya için mezogözenekli elementlerde, katalitik uygulamalarda ve çevresel moleküler bilimde kullanılabilir. Parçacıkların boyutunu küçültmenin yanı sıra yeni kimyasal, elektronik ve fiziksel özellikler kazanırlar. Avantajlar arasında, 10 nm'den küçük parçacıklar için farklı kirleticilerle oksidasyonu veya indirgeme reaksiyonlarını hızlandırabilen geliştirilmiş adsorpsiyon ve benzersiz katalitik özellikler bulunur. Nano ölçekli materyaller, ön başarı raporlarıyla birçok kontamine sahada bulunmaktadır. Nanoteknoloji ayrıca etkili kontrol sunarak ve kirlenmeyi önleyerek çevreyi iyileştirebilir. Çevresel arıtma için,

nanoteknolojinin farklı uygulamaları laboratuvar ölçeğinde başarıyla uygulanmıştır. Geleneksel iyileştirme teknolojileri, hava, su ve topraktaki kirlilik konsantrasyonunun azaltılmasında sınırlı etkinlik göstermiştir (Cosgun vd., 2015).

Nanoteknolojinin, daha etkili sıcaklık kontrolüne katkıda bulunan araçlar, malzemeler ve geometriler için daha hafif malzemeler, üretim süreci verimliliğini artıran teknolojiler, elektrikli bileşenlerin ve iletim hatlarının verimliliğini artıran malzemeler yoluyla enerji talebinin azalmasına katkıda bulunma potansiyeli vardır. Bu, yeni nesil yakıt hücrelerine ve potansiyel bir hidrojen ekonomisine katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, nanomalzemelerin üretimi enerji yoğun olabileceğinden, bu teknolojileri geliştirirken ve analiz ederken tüm ürün yaşam döngüsünü dikkate almak önemlidir (EPA, 2007).

Enerji tüketimini potansiyel olarak azaltabilecek enerji yönetimine yönelik yeni ortaya çıkan ek yaklaşımlar vardır. Örneğin, üst üste yerleştirilmiş nanomateryaller, tüketici cihazlarında, otomobillerde ve endüstriyel işlemlerde atık ısıdan elektrik üretimine izin verebilir. Bu termoelektrik malzemeler, örneğin, hibrit arabaların ve güç üretim teknolojilerinin verimliliğini daha da artırabilir (Ball, 2005).

3.1.4.8. Gıda Sektörü

Nanoteknoloji, gıda güvenliği ve kalite kontrolünün yanı sıra yeni gıda katkı maddeleri / takviyeleri ve diğer aromaların üretimi gibi gıda endüstrisinde çekici fırsatlar sunmaktadır. Gıda endüstrisinde nanoteknoloji, gelişmiş termal ve / veya mekanik özelliklere ve güvenliğe sahip ambalajların üretiminde de kullanılabilir. Gıda paketleme sistemlerine gömülü nano sensörler, gıdaların süresi dolduğunda tüketicileri uyarmak için kullanılır. Nanoteknoloji, daha sağlıklı yiyecekler yapmak için de kullanılabilir. Çeşitli özelliklere sahip çeşitli nanoyapılar, onları gıdalara ilavenin yanı sıra gıdaların besin kalitesini artıran ambalaj ürünleri için uygun hale getirir. Mevcut 633 nanomalzemeden 55'i tarım ve gıda bilimlerinde kullanılmaktadır (Belluco vd., 2018). Yakın tarihli bir rapor, nanoteknoloji ile bağlantılı gıda ürünlerinin 2020'de toplam gıda ürünlerinin yaklaşık % 50'sini oluşturacağına işaret etmektedir (Jimenez vd., 2016).

Nanoteknolojinin gıda endüstrisinde devrim yarattığı ifade edilebilir. Gıdalardaki nanoyapıların bildirilen uygulamalarının çoğunda aşağıdaki uygulamaların yapıldığı gözlenmektedir (Shafiq vd., 2020):

- Gıda kalitesinin iyileştirilmesini,
- Biyoaktif takviye,
- Nanokariyer kapsülleme kullanılarak biyoaktif bileşiklerin kontrollü salınımını,
- Gıda yapılarının ve dokularının modifikasyonunu ve akıllı paketleme sistemleri kullanılarak biyokimyasal, mikrobiyolojik ve kimyasal değişikliklerin tespiti ve nötralizasyonu.

Farklı nanomalzemeler, gıda ürünlerinin oluşumunda ve besin değerlerinin iyileştirilmesinde geniş uygulamalara sahiptir. Örneğin, protein nanopartikülleri gıda ürünlerinin imalatında kullanılır çünkü protein çözünürlüğü, gıda maddelerinde tercih edilen fonksiyonel özelliklere sahip protein nanopartiküllerinin birleşiminde yardımcı olur (Xu, 2019).

3.1.5. Nanoteknolojinin Avantajları ve Dezavantajları

3.1.5.1. Avantajları

Nanoteknolojinin sağladığı avantajların tıp, mühendislik, bilgi işlem ve robotikler, tarım ve diğer birçok alana etki etmektedir. Nanoteknoloji, yeni ve daha hızlı bilgisayar türleri, daha verimli güç kaynakları ve hayat kurtaran tıbbi tedaviler için potansiyel sunar. Genel olarak nanotekonoljinin sağladığı avantajlar aşağıda ifade edilmiştir (Edwards, t.y.):

- Üretim Avantajları: Nanoteknoloji, birçok üretim alanında devrim yaratabilecek yeni malzemeleri kullanıma sunar. Örneğin, sadece birkaç atom çapında tüpler ve parçacıklar olan nanotüpler ve nano parçacıklar ve olağanüstü yalıtım özelliklerine sahip çok hafif ve güçlü malzemelerden oluşan aerojeller, yeni tekniklerin ve üstün ürünlerin önünü açabilir. Ek olarak, nanobot adı verilen, yalnızca birkaç nanometre uzunluğundaki robotlar ve nano fabrikalar yeni malzemeler ve nesneler oluşturmaya yardımcı olabilir.

- Enerji Avantajları: Nanoteknoloji, enerji elde etme ve kullanma şeklini dönüştürebilir. Özellikle, nanoteknolojinin, güneş panelleri ve ilgili ekipmanları inşa etme maliyetini düşürerek güneş enerjisini daha ekonomik hale getirmesi muhtemeldir. Sonuç olarak enerji depolama cihazları daha verimli hale gelecektir. Nanoteknoloji, enerji üretme ve depolama için yeni yöntemler de açacaktır.
- Elektronik ve Hesaplamadaki Avantajlar: Elektronik alanında nanoteknoloji ile devrim yapılacaktır. Örneğin kuantum noktaları, aydınlatma için veya ekran gibi amaçlar için kullanılabilen minik ışık üreten hücrelerdir. Silikon çipler halihazırda milyonlarca bileşen içerebilir, ancak teknoloji sınırına ulaşmaktadır. Belirli bir noktada devreler o kadar küçülür ki, bir molekül yerinde değilse devre düzgün çalışmaz. Nanoteknoloji, devrelerin atomik seviyede çok doğru bir şekilde inşa edilmesine izin verecektir.
- Tıbbi Avantajlar: Nanoteknoloji tıpta büyük ilerlemeler sağlama potansiyeline sahiptir. Nanobotlar, tıkanıklıkları gidermek için hastanın arterlerine gönderilebilir. Ameliyatlar çok daha hızlı ve daha doğru hale gelebilir. Yaralanmalar hücre hücre onarılabilir. Hasar görmüş genleri tamir ederek genetik koşulları iyileştirmek bile mümkün olabilir. Nanoteknoloji, ilaç üretimini iyileştirmek, ilaçları daha etkili hale getirmek ve yan etkileri azaltmak için moleküler düzeyde uyarlamak için de kullanılabilir.

3.1.5.2. Dezavantajları

Nanoteknolojinin olası dezavantajlar arasında ekonomik aksaklık ve güvenlik, mahremiyet, sağlık ve çevreye yönelik olası tehditler yer alır. Bunlar aşağıda özet olarak açıklanmıştır (Edwards., t.y.):

- Çevresel Etkiler: Potansiyel yeni toksinler ve kirleticiler nanoteknoloji tarafından oluşturulabileceğinden, çevre üzerinde bazı olumsuz etkilerin olması mümkündür.
- Ekonomik Ayaklanma: Nanoteknolojinin, kendinden önceki diğer teknolojiler gibi, birçok ekonomik alanda büyük değişikliklere neden olması muhtemeldir. Nanoteknoloji ile mümkün kılınan ürünler başlangıçta pahalı lüks veya özel ürünler olsa da, bulunabilirlik arttıkça, daha fazla pazar etkisini hissedecektir.

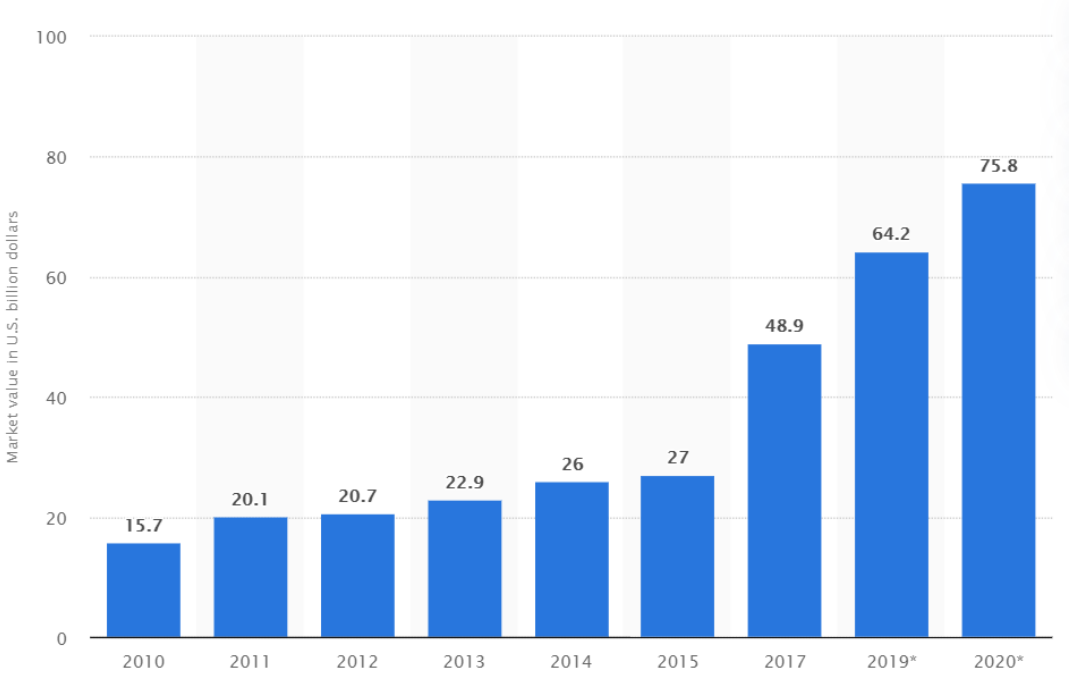
Bazı teknolojiler ve malzemeler eski hale gelebilir ve bu alanlarda uzmanlaşmış şirketlerin işsiz kalmasına neden olabilir. Nanoteknolojinin neden olduğu üretim süreçlerindeki değişiklikler iş kayıplarına neden olabilir ve bu durumda ekonomik anlamda ayaklanmalara sebebiyet verebilir.

- Gizlilik ve güvenlik: Nanoteknoloji, neredeyse tespit edilemeyen mikroskobik kayıt cihazlarının olasılığını artırıyor. Daha ciddisi, nanoteknolojinin silah haline getirilmesi mümkündür. Atom silahlarının yaratılması daha kolay olacak ve yeni silahlar da geliştirilebilecek olması muhtemeldir. Bu gelişmeler ordu için bir nimet olabilir; ama yanlış ellere düşerlerse, sonuçları vahim olur.

3.2. NANOTEKNOLOJİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

1980'lerden bu yana, nanoteknoloji kullanımı ve işleme için malzeme ve araçların icat edilmesi, dünya çapında her alanda yeniliğe katkıda bulunmuştur. Nanoteknolojinin gelecek vaat eden yönü ülkeleri bir yarışa çekmiştir. Gelişmiş ülkeler, 2000'li yıllardan itibaren yapısal ve idari düzenlemeler yaparak bu küresel teknoloji yarışının gerisinde kalmamak için dikkatli hareket etmişlerdir. Hemen hemen tüm gelişmiş ülkeler Ulusal Nanoteknoloji Programlarını ve Ar-Ge Planlarını oluşturmaya çalışmıştır. 2000 yılında kurulan ABD NNI (National Nanotechnology Initiative) ve 2002 yılında ABD'de kurulan Askeri Nanoteknoloji Enstitüsü bu çalışmaların örnekleridir. Bu enstitüde nanoteknolojinin askeri uygulamaları için Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. ABD, Japonya, Çin, Güney Kore, Almanya, İsrail gibi ülkeler bu alanda önemli çalışmalar yapmaktadır. Nanoteknoloji, teknoloji yarışında kalan ülkeler için yeni bir fırsattır. Gerekli önlemler alınırsa, uygun yapı kurulursa ve etkin mekanizmalar kurulursa gelişmekte olan ülkelerin iyi bir noktaya gelmesi kolay olacaktır (Aydoğdu, 2018).

Şekil 7. Nanoteknolojinin 2010-2020 Arası Dünya Çapında Piyasa Değeri



Kaynak: Garside, 2020.

Dünyada maddenin nano ölçekte manipüle edilmesi olan nanoteknoloji, birçok heyecan verici uygulamaya sahiptir ve araştırma ve geliştirme daha pratik uygulamalar üretmeye devam etmektedir. Nanoteknoloji, 2017 yılında dünya çapında yaklaşık 49 milyar ABD doları tutarında bir piyasa değerine sahip olmuştur ve 2020 yılına kadar yaklaşık 76 milyar ABD dolarına çıkması beklenmektedir (Garside, 2020).

3.3. NANOTEKNOLOJİNİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Türkiye tarafından özellikle 2000'li yıllardan sonra, küresel olarak çok önem verilen ve gelecek için çok önemli olan nanoteknolojide önemli adımlar atılmaktadır. Her nanoteknoloji. - özellikle TÜBİTAK odaklı araştırma merkezleri NT'de faaliyetlerini sürdürmektedir. Tekstil ve boya sektörü başta olmak üzere ürünlerinde nanoteknoloji kullanan birçok firma bulunmaktadır. Yeni yüzyılda kritik bir teknoloji devrimi olarak görülen ve henüz emekleme döneminde olan bu teknolojiyi yeni bir sıçrama noktası olarak kullanmak Türkiye için çok önemlidir. Küresel nanoteknoloji yarışını kaçırmamak için ülkemizin NT'ye yatırım yapmak gerekmektedir. Türkiye'de

nanoteknolojiye yapılan yatırım diğer ülkelere göre çok iyi durumda değildir. Ancak bu teknolojinin gelişmesi için önemli kurumsal yapılar oluşturulmuş ve bilim adamları ve üniversiteler nanoteknoloji ile ilgili önemli projeler yürütmekte, altyapı ve teşvikler açısından gerekli desteği vermeye çalışmaktadırlar (Aydoğdu, 2018).

Türkiye'de 2015 yılında 70'den fazla firma ürünlerinde NT kullanılmıştır. Savunma Sanayii Başkanlığı (SSB) desteği ile İleri Araştırma Laboratuvarları kurulmuş ve çok önemli araştırmalar yapılmıştır. Birçok üniversite nanoteknoloji merkezleri kurmuştur. Nanoteknoloji ile ilgili eğitim programları başlatılmıştır. Ülkemizde NT alanında uygulamalı araştırma yapan firmalar da bulunmaktadır. TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) desteği ve teşvikleriyle yürütülen projelerin yanı sıra, önce ODTÜ'de, ardından Bilkent Üniversitesi'nde ve ardından birçok üniversitede eğitim programları ve NT merkezleri kurulmuştur (Bozkurt, 2015).

Türkiye'deki bilim ve teknoloji çalışmalarının yönetilmesi ve yönlendirilmesi amacıyla son on beş yılda yapılan planlarda öncelikli alanlar belirlenmiştir. Vizyon 2023 Strateji Belgesi, Bilim ve Teknoloji Politikaları Uygulama Planı 2005-2010 ve Ulusal Bilim, Teknoloji ve İnovasyon Stratejisi 2011-2016 gibi belgeler / planlar bu çalışmalara örnektir. Bu belgelerde nanoteknoloji gibi gelişmekte olan teknolojiler Türkiye için stratejik olarak tanımlanmıştır. Son 10 yılda Türkiye'de bu alanda araştırmalar yapmak üzere 19 merkez kurulmuş ve yaklaşık 1 milyar TL tutarında yatırım yapılmıştır. NT konusunda araştırma yapılanması Türkiye'de 2005 yılında başlamıştır. Nanoteknoloji alanında araştırma düzeyinde en hızlı gelişen ülkeler arasında Türkiye'nin ilk üçte yer aldığı söylenebilir (Aydoğdu, 2018).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ENDÜSTRİ 4.0'IN İÇERİSİNDE NANOTEKNOLOJİNİN ROLÜ

4.1. NANOTEKNOLOJİNİN ENDÜSTRİ 4.0 İÇERİSİNDEKİ ROLÜ

Nanoteknoloji büyük bir atılımdır ve mevcut yüzyılda olağanüstü nano dünya yaratacağı için devrim niteliğindedir (Grinin ve Grinin 2013). 1-100 nm arasındaki her şeyin incelenmesi nanoteknoloji olarak bilinir. Nanoteknoloji, 1-100 nanometre aralığında maddenin kontrolü yoluyla fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin oluşturulmasıdır. Nanoteknoloji araştırmacıları ve imalatçılarını kullanmak, malzemeleri moleküle göre tam anlamıyla moleküle göre imal edebilir (Mansoori vd., 2005). Nanoteknoloji, nanopartiküller ve diğer nano cihazların kullanımıyla gündelik ürünlerin kozmetik, güneş kremi, golf topları, giyim ve cep telefonlarının kalitesini artırılmakta ve bu nedenle nanoteknoloji 21. yüzyılın önemli bir teknolojisi haline gelmektedir. Bu nedenle üretim endüstrisinde yaşanan son devrimin de bir parçası haline geldiği ifade edilebilir.

Nanoteknolojinin vizyonu, görece daha ucuz olan yüksek kaliteli ürünlerin ne şekilde dizayn edileceğini ve kontrol edileceğine yönelik çok önemli gelişmeleri vaat etmektedir. Nanoteknoloji, oldukça disiplinler arasıdır ve enerji, elektronik, kozmetik, tekstil, tıp, tarım ve çevre vb. alanlarda uygulama sunar (Mody ve Choi 2013). Geçen yüzyılda hem bilim hem de ekonomi ilerlediğinden hem fiziksel hem de ekonomik alan anlayışı çok genişlemiştir. Bilim, insanlık tarihinde bilgisayarın keşfi ile emeğin değişimini kanıtlamıştır. Nanoteknoloji, teknolojilerdeki çeşitli boşlukları doldurmuştur ve ücretler, istihdam, piyasa para birimleri, döviz kurları, arz ve talep, vb. dahil olmak üzere ekonominin tüm yönlerini geliştirme potansiyeline sahiptir. Küçük boyutlu nanoteknoloji, fiziksel kısıtlamalar nedeniyle daha önce erişilemeyen görevlerin otomasyonuna izin verebilir.

Sanayi devrimi, dünya ekonomisini değiştirmeye yaklaşık 250 yıl öncesinden başlamış, şimdi enerji, kaynaklar ve üretim, ekonomi ve teknolojilerin gelişiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Endüstri 4.0 olarak isimlendirilen son sanayi devrimi ise nanoteknolojinin de etkisiyle şimdiye kadar görülmemiş bir ilerleme ve teknolojik gelişmeyi vaat etmektedir. Örneğin, nanoteknoloji günümüzde tarımdan, sağlığa,

elektronikten askeri alana birçok endüstriyel üretim alanlarında etkisini hissettirmektedir. Nanoteknolojinin yeni yenilikleri, ekonominin gücünü ve günümüz üretim ve ekonomik yaklaşımlarını değiştirme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle nanoteknolojinin beşinci sanayi devrimine yol açacağına yönelik görüşler de mevcuttur (Rai ve Rai, 2015).

Bu bağlamda günümüzde büyük IoT projeleri için sabit ve kablosuz ağlar arasındaki kombinasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır, ancak 5G ile %99,999 güvenilirliğe, 1 mS gecikme süresine, düşük enerji tüketimine sahip olacağı ve teknolojilerin eksikliklerini gidereceği için farklı olacaktır. Eklemeli üretim veya 3D baskı, sensör teknolojileri, nanoteknoloji, yapay zeka, robotik ve drone'lar olmak üzere Endüstri 4.0'ı yönlendirecek aşağıdaki teknolojilerin katlanarak büyümesiyle, 5G'nin çok yardımcı olacağına şüphe yoktur, ancak Endüstri 4.0'ın zaman içinde endüstriyi tatmin eden bir iletişim ağı teknolojisine, heterojenliğe, güvenliğe ve endüstrilerin korunmasına ihtiyacı vardır. 5G, üreticilerin uçtan uca operasyonları otomatikleştirmesine ve neredeyse yeni ürün hatlarını veya tüm fabrikaları yapılandırmasına veya ortadan kaldırmasına olanak tanıyacaktır. Milyarlarca sensör, makine kontrollü robotlar ve otonom lojistik sayesinde, tümü 5G aracılığıyla gerçek zamanlı olarak uzaktan iletişim kurabilen ve çalışabilen, üreticiler büyük verimlilik kazanımları elde edebilirler. 5G, pek çok sektörde büyüme ve dönüşüme imkân tanıyacak, sosyal ve ekonomik kalkınmaya doğrudan katkı sağlayacak bir platform olacaktır (Ortiz vd., 2020).

Üretim alanında geçmiş paradigmaları değiştirecek olan nanoteknolojinin modern endüstriyel üretimde, diğer bir ifadeyle Endüstri 4.0'da kayda değer değişimlere neden olduğu görülmektedir. Örneğin optik sensör ve izleme cihazları Endüstri 4.0'da veri toplama ve otomasyon açısından hayati öneme sahiptir. Bu konuda nanoteknolojik çözmelerin geliştirildiği görülmektedir. Krishnamoorti'ye (2006) göre nanomateryaller, optik, manyetik ve elektriksel özelliklerindeki önemli değişiklikler (toplu analoglarına kıyasla) ve perkolasyonlu yapılar (elektriksel ve / veya geometrik olarak) oluşturma kabiliyetleri nedeniyle sensörlerin ve görüntüleme-kontrast ajanlarının geliştirilmesi için mükemmel bir araçtır. Bu tür nanomateryaller, akıllı sıvılarla birleştirildiğinde, aşırı koşullar altında bile sıcaklık, basınç ve stres için son derece hassas aşağı delik sensörleri olarak kullanılabilir. Maden arama için

cihazların nihai evrimi, rezervuarın gerçekten etkili bir haritalamasını sağlayan nanorobotlarla temsil edilmektedir. Günümüzde nanorobotlar hala bir rüya olarak kalmaya devam ediyor. Ancak nanosensör minyatürleştirmesindeki gelişmeler hızla meydana gelmektedir ve gözenekli ortamda nanopartiküller içeren çok fazlı sıvıların akışı hakkında çok sayıda teorik ve deneysel araştırma, son teknik literatürü zenginleştirmektedir (Ryoo vd., 2012).

Nanomalzemeler yalnızca gelişmiş işlevsel malzemeler olarak değil, aynı zamanda sensörler, aktüatörler ve kontrol cihazları dahil olmak üzere çeşitli unsurlardan oluşan ve Endüstri 4.0'ın omurgasını meydana getiren akıllı yapıların ayrılmaz bir parçası olarak da kullanılacaktır (Rai ve Rai, 2015). Diğer taraftan nano boyutta üretilen robotlar sayesinde çok daha ince ve detaylı işlerin de otomasyon ile yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Endüstri 4.0 açısından artırımlı üretim ve 3D baskının önemi önceki bölümlerde incelenmiştir. Bu bağlamda bu üretim yaklaşımında nanomateryallerin baskı malzemesi olarak kullanılması mümkündür ve bu sayede istenen fonksiyonlarda malzemenin üretiminin nano malzemeler ile sağlanabileceği ifade edilmektedir. Ivanova ve diğerleri (2015)'ne göre nanoyapılı malzemelerin artımlı üretim için baskı ortamına eklenmesi, nihai parçaların özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Nanomalzemelerin katmanlı üretime uygulanmasındaki zorluklar yine de çoktur. Bu tasarım sınırlarının aşılması, nanomalzemeler ile başarılı artırımlı üretim için yeni enstrümantasyon geliştirilmesini gerektirebilir.

Gelecekte endüstri 4.0'ın kullandığı ve ürettiği verilerin saklanması ve işlenmesi amacıyla çok büyük kapasiteli bilgisayarlar ve sunucuların hizmet vermesi gerekecektir. Bu bağlamda daha fazla kapasiteli nanoteknolojik işlemcilere gereksinm duyulacaktır. Endüstri tarafından bir bilgisayar çipine yerleştirilen transistörlerin sayısı her 1,5 yılda bir ikiye katlanmakta, yeni bir Fab inşa etmenin maliyeti her 3 yılda bir ikiye katlanmakta ve bu sorunu aşmanın temel olarak çözümü Nanoteknoloji tarafından sağlanabilir. Bu bağlamda nanoteknoloji, karmaşık moleküler veya diğer problemler için yeni hassas ve gelişmiş çözümlere giden nano hesaplamanın yolunu açmıştır (Yadav vd., 2017). Bu durum endüstri 4.0'ın daha yaygın bir şekilde uygulanmasına da imkan tanıyacağı değerlendirilmektedir.

4.2. NANOTEKNOLOJİNİN ENDÜSTRİ 4.0'DA KULLANIMI VE ETKİLERİ

4.2.1. Dünyadaki Etkileri

Nanoteknolojinin endüstri üzerinde global etkileri çok yüksek düzeydedir. ABD'nin, çeşitli son kullanım endüstrilerinden nanomalzemelere olan talebin artması nedeniyle sektörde önemli bir tüketici olarak kalması beklenmektedir. Nanomalzemelerin, tahmin dönemi boyunca ABD'de kronik hastalıkların artması ve artan yaşlı nüfus nedeniyle biyomedikal sektöründe en yüksek uygulamaya sahip olması beklenmektedir. Nanomalzemelerin sentezi için metaller, polimerler ve alaşımlar dahil olmak üzere mevcut hammaddelerin bolluğunun, genel maliyeti düşürmek için yenilikçi sentez yöntemleriyle bir araya getirilmesinin benimsenmesini artırması tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, hammadde fiyatlarındaki dalgalanma, nihai ürünlerin fiyatını etkileyerek üreticilerin kar marjlarının düşmesine neden olabilir. Aşağıda ifade edeilen nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin endüstriyel üretim üzerinde etkili olacağı değerlendirilmektedir (Grand View Research, 2020):

- Karbon nanotüpler, 2019'da % 26,9'luk en büyük pazar payına sahiptir ve en yüksek tersinir kapasiteyi sergiledikleri için lityum iyon pillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca süperkapasitör elektrotların üretiminde oldukça tercih edilmektedir. Geniş yüzey alanları ve ısıl iletkenlikleri, PEM yakıt hücrelerinde elektrot katalizörü desteği olarak kullanılmalarına izin verir.
- Titanyum dioksit nanopartiküllerinin, bakteri büyümesini önleme ve diğer hücre yapısının formülasyonunu önleme yetenekleri nedeniyle talepte önemli bir artışa tanık olmaları beklenmektedir. Segmentin 2027 yılına kadar 4,1 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir ve bu tahmin dönemi sürecinde önemli bir büyümeye tanık olması beklenmektedir.
- Grafen nanopartiküllerinin belirlenen tahmin dönemi boyunca en hızlı büyümeye tanık olması beklenmesi tesadüf değildir. Bu, enerji, çevre ve biyomedikal bilimlerinde kapsamlı uygulamalara yönelik artan talebine bağlıdır. Grafen nanopartiküller, grafenle geliştirilmiş hücre farklılaşması ve büyümesi, biyo-algılama ve kütle spektrometrisi için iyonizasyon gibi çok çeşitli biyomedikal uygulamalarda da kullanılmaktadır.

- Alüminyum oksit nanopartiküller, mekanik stres, kimyasallar ve aşınmaya karşı üstün direnç dahil olmak üzere olağanüstü yapısal ve fizikokimyasal özellikleri nedeniyle çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nanopartiküllerin düşük hazırlık maliyeti ve bulunabilirlik ve kullanım kolaylığı, muhtemelen taleplerini daha da artıracaktır.

4.2.2. Türkiye'deki Etkileri

Ülkemizde nanoteknoloji alanında çalışmalar yapan ve Devlet Planlama Teşkilatı ve Bilkent Üniversitesi tarafından ortaklaşa kurulmuş olan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) bir takım gelişmelere imza atmıştır. Bu bağlamda Endüstri 4.0 ile ilgili olarak projelerin yürütülmüş olduğu görülmektedir. Diğer taraftan akademik olarak ülkemizde çeşitli üniversitelerin (Koç Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Gebze Teknik Üniversitesi) ve araştırma merkezlerinin (TÜBİTAK MAM-Marmara Araştırma Merkezi) nanoteknolojinin endüstriye entegrasyonuna yönelik çalışmalarda bulunduğu da görülmektedir. Özel sektörün araştırmaları ise aşağıdaki örneklerle açıklanabilir (Kahraman, 2018):

- Normtest: Temel olarak elektrik-elektronik, fizik, metalürji, kimya, biyoloji, biyoteknoloji, malzeme mühendisliği alanlarında nanoteknolojik ürünlerin pazarlamasını yapmaktadır. Bu ürünler ince filmler, malzemelerin optik özelliklerini ölçmekte kullanılan spektrometrelerdir.
- Arçelik: Özellikle "polimer" veya "yüzey işlemleri" alanlarına odaklanmıştır. Bunlar İlk kez 2003 yılında koku filtreli hijyen uygulamasıyla nanoteknoloji ürünü buzdolabının üretimini yapmıştır.
- Kordsa: Nanoparçacıklarla iplik mukavemetinin arttırılmasına yönelik çalışmalar sürdürmektedir.
- Mesel Grup: Askeri amaçlı fonksiyonel tekstil uygulamalarının üzerinde çalışmaktadır.
- Öztek Tekstil: Askeri amaçlı fonksiyonel tekstil uygulamalarının üzerinde çalışmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM
YBS UYGULAMALARINDA NANOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

5.1. YBS BİLEŞENLERİNDE NANOTEKNOLOJİNİN ETKİSİ

Çalışmanın bu bölümünde YBS bileşenleri üzerinde nanoteknolojik gelişmelerin etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda YBS'ye etki edecek nanoteknolojik gelişmeler araştırılmıştır.

5.1.1. Bilgisayar İşlemcileri ve Nanoteknoloji

Son yıllarda bilişim sistemlerinin tasarımı için önemli gelşimelerin meydana geldiği bir döneme olduğu ifade edilebilir. Tarihsel olarak, terascal hesaplamayı (1012 veya saniyede bir trilyon işlem) gerçekleştiren ilk bilgisayar 1990'ların sonlarında ortaya konulmuştur. 2000'li yıllarda, ilk peta ölçekli bilgisayar, bin kat daha iyi performansla çalıştırılmıştır. Bu eğilimler exascale bilgisayarlar (saniyede bir milyon trilyon işlemle) gibi giderek daha fazla işlemleri yapabilecek bilgisayarların ortaya konulacağını göstermektedir. Performansta devam eden ilerlemelere ek olarak, güç, sürdürülebilirlik, yönetilebilirlik, güvenilirlik ve ölçeklenebilirlik konularında da muazzam gelişmeler olduğu da gözlenmektedir. Özellikle güç yönetimi, artık birinci sınıf bir tasarım konusu halini almıştır. Son zamanlarda, sistem tasarımları, gelişmiş çevresel sürdürülebilirlik için sistemlerin toplam yaşam döngüsü enerji tüketimini incelemek için operasyonel enerji tüketimini optimize etmenin ötesine geçmiştir. Benzer şekilde, bilgi işlem sağlamak için heyecan verici yeni bir model sunmanın yanı sıra, bulut bilişimin ortaya çıkması, yazılım yığınındaki yeniliklerin yanı sıra ölçeklenebilirlikte önemli ilerlemeler sağlamıştır. Daha ileriye bakıldığında, fotonik, kalıcı bellek, 3B yığınlama ve yeni veri merkezli iş yükleri gibi gelişmekte olan teknolojiler cazip yeni fırsatlar sunmaktadır. Bu eğilimlerin birleşimi, temel sistemlerin geleceğin yapı taşlarının yeniden düşünülmesini ve gelecek teknolojiler için veri merkezli iş yüklerine ve donanım-yazılım ortak tasarımına odaklanan nanostores adı verilen olası yeni bir tasarım yaklaşımını gerektirmektedir (Ranganathan, 2011).

Geçtiğimiz on yıllar boyunca, elektronik alanı, her iki yılda bir çoğalan bir entegre devre yongasına gömülü transistör sayısıyla transistörlerin hızlı bir şekilde minyatürleştirilmesine tanık olmuştur (Lundstrom, 2003; Wong, 2005; Mori vd., 2017). Cihaz kanal uzunlukları -10 nm'nin altındaki çağa ulaştığında, ciddi kısa kanal etkileri ve kaynak ile drenaj arasındaki doğrudan tünelleme, silikon cihazların artan ölçeklendirmesinde büyük bir zorluk teşkil eder. Bu nedenle, nano ölçekte daha yüksek mobilite ve gelişmiş elektrostatik sağlayan kanal malzemesi olarak yeni yarı iletkenleri entegre etmek için birkaç araştırma kuruluşu tarafından son zamanlarda dikkate değer araştırma çabaları yürütülmüştür (Mehrad ve Ghadi, 2017; Banerjee ve Sarkar, 2017; Chowdhury vd., 2017). Yüksek k-kapılı (high k-gate) dielektrikler ve çeşitli metaller gibi yeni malzemelerin entegrasyonu, CMOS ölçeklemenin evrimsel yolunu yöneten itici faktör olmuştur (Chau vd., 2003). CNET (Carbon nanotube transistors) teknolojisinin geliştirilmesinin arkasındaki itici güç, silikon bazlı CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) teknolojisinin yakında mutlak sınırlarına ulaşacağı bilincidir. Silikonun sürekli ölçeklenmesi yerine, transistör performansı ve hızındaki iyileştirmelerin yeni malzemelerden gelmesi gerekecektir. Bu bağlamda, akademi ve endüstriden araştırmacılar, ortaya çıkan beklentiler üzerinde aktif olarak çalışmaya başlamıştır (Peng vd., 2014).

Yarı İletken İçin Uluslararası Teknoloji Yol Haritası (The international technology roadmap for semiconductor-ITRS)[1], yarı iletken endüstrisindeki ilerlemeyi denetlemeyi 2017 yılına kadar sürdürmüştür. ITRS çalışma grubu 2008 yılında, ihtiyacı fark etmiş ve CMOS'un ötesindeki mevcut teknikleri ve teknolojiyi araştırmak için çalışma komitesine sunmuştur (Peng vd., 2014). Ortaya çıkan tüm olası cihazların kapsamlı bir değerlendirmesinden sonra, çalışma komitesi gelecek vaat eden teknoloji olarak karbon bazlı nanoelektronik, özellikle CNET 'ler ve grafen önermiştir. Önerinin ana nedenleri, minimum kısa kanal etkileri, yüksek hareketlilik ve yüksek normalleştirilmiş sürücü akımları gibi CNET'ler ve grafen mükemmel performans özellikleri ifade edilmiştir (Bachtold vd., 2001; Pennington vd., 2003; Dürkop vd., 2004).

[1] Yarı İletkenler için Uluslararası Teknoloji Yol Haritası (ITRS), bir grup yarı iletken endüstrisi uzmanı tarafından üretilen bir dizi belgedir. Bu uzmanlar, Tayvan, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa, Japonya ve Çin'deki Yarı İletken Endüstrisi Derneklerini içeren sponsor kuruluşların temsilcileridir. 2017 itibariyle, ITRS artık güncellenmemektedir. Onun halefi, Cihazlar ve Sistemler için Uluslararası Yol Haritasıdır.

Hesaplamaları gerçekleştirmek için 1 ile 0 bit arasında geçiş yapan kritik mikroişlemci bileşenleri olan silikon transistörler, bilgisayar endüstrisini onlarca yıldır taşımıştır. Moore Yasası'nın öngördüğü gibi, endüstri giderek daha karmaşık hesaplamaların yapılmasına yardımcı olmak için her birkaç yılda bir küçülmeyi ve çiplere daha fazla transistör yerleştirmeyi başarmıştır. Ancak uzmanlar artık silikon transistörlerin küçülmeyi bırakacağı ve giderek verimsiz hale geleceği bir zaman öngörmektedir. Bu bağlamda MIT araştırmacıları tarafından, geleneksel silikon yonga dökümhanelerindeki süreçleri kullanarak karbon nanotüp alan etkili transistör (Carbon nanotube field-effect transistors-CNFET)'lerin imalatında kusurları önemli ölçüde sınırlamak ve tam işlevsel kontrol sağlamak için yeni teknikler icat edilmiştir. Ticari mikroişlemcilerle aynı görevleri yerine getiren 14.000'den fazla CNFET'li 16 bitlik bir mikroişlemci ortaya konmuştur. Mikroişlemci, bir mikroişlemcinin yürütebileceği bir dizi talimat içeren RISC-V açık kaynaklı çip mimarisine dayanmaktadır. Araştırmacıların mikroişlemcisi, talimatların tamamını doğru bir şekilde yürütebilmiştir (Matheson, 2019).

Karbon nanotüp alan etkili transistörler (CNFET) yapmak, yeni nesil bilgisayarlar oluşturmak için önemli bir hedef haline gelmiştir. Araştırmalar, CNFET'lerin silikona kıyasla yaklaşık 10 kat daha fazla enerji verimliliği ve çok daha yüksek hızlar vaat eden özelliklere sahip olduğunu gösteriyor. Ancak, uygun ölçekte üretildiğinde, transistörler genellikle performansı etkileyen birçok kusurla gelirler, bu nedenle pratik olmazlar. Karbon nanotüp alan etkili transistörler (CNFET'ler), enerji verimli hesaplamanın geliştirilmesi için umut verici bir nanoteknolojidir. Hızlı ilerlemeye rağmen, CNFET'ler yalnızca akademik veya araştırma laboratuvarlarında üretilmiştir. Bu teknolojinin ticari üretim tesislerine aktarılmasında kritik bir zorluk, nanotüpleri endüstri standardı geniş alanlı substratlar üzerinde tek tip olarak biriktirmek için uygun bir yöntem geliştirmektir. Böyle bir biriktirme yönteminin üretilebilir olması, günümüzün silikon bazlı teknolojileriyle uyumlu olması ve silikona göre enerji verimliliği faydaları olan sistemlere ulaşmak için bir yol sağlaması gerekir. Bishop ve diğerleri (2020) tarafından substratın bir nanotüp çözeltisine batırıldığı bir biriktirme tekniğinin bu zorlukların üstesinden gelebileceğini ve CNFET'lerin endüstriyel tesislerde üretilmesine izin verebileceği ifade edilmektedir. Araştırmacılar nanotüp birikimini yönlendiren mekanizmaları açıklayarak, verimi önemli ölçüde

artıran, biriktirme sürecini 1100 kattan fazla hızlandıran ve aynı zamanda maliyeti düşüren standart çözüm tabanlı yöntemlerde işlem modifikasyonları geliştirmiştir. Bu, ticari bir silikon üretim tesisinde ve yüksek hacimli yarı iletken dökümhanede CNFET'leri üretmemizi sağlamaktadır. Şu anda silikon ürün levhalarını (wafer) imal etmek için kullanılan aynı ekipmanı kullanan endüstri standardı 200 nm levhalar arasında tek tip ve yeniden üretilebilir CNFET imalatı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. Bu durum halen nano-işlemciler için araştırma süreçlerinin devam ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak halihazırda kullanılmakta olan silikon teknolojisi işlemcilerin gelecekte büyük verileri işlemede yetersiz kalacağı bilim insanları ve bu alandaki uzmanlar tarafından öngörüldüğü ve yeni büyük kapasiteli işlemci arayışına gidildiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda nanoteknolojinin öne çıktığı ve karbon nanotüp alan etkili transistörlerin üzerinde çalışmaların yapıldığı gözlenmektedir. Bu alanda sağlanan gelişmelerin YBS üzerinde de kayda değer etkide bulunması kaçınılmazdır. Zira YBS'nin temelini bilgi işleme oluşturduğundan işlemcilerin gelişiminin bu sistemler üzerinde kendini göstereceği değerlendirilmektedir.

5.1.2. Veri Depolama Sistemleri ve Nanoteknoloji

Veri depolama, bilgi ve bilişim teknolojisindeki temel unsurlardan biridir. Dünyada işlenen verinin artmasıyla birlikte daha fazla depolama alanlarına ihtitaç duyulmaktadır. Bu bağlamda daha fazla depolama kapasitesi için sürekli artan talep ve depolama birimi başına fiyatı ($/Gbyte) düşürme baskısı, depolama yoğunluklarını çeşitli yollarla artırmak için dünya çapında önemli araştırma ve geliştirme faaliyetleri için önemli bir itici güç olmuştur. Uzun yıllardır, silikon bazlı yarı iletken bellek yongalarının ve manyetik sabit sürücülerin (Hard Disk Drive-HDD) veri depolama pazarına hakim durumda olduğu görülmektedir. Şimdiye kadar, her iki teknoloji de gigabayt başına maliyeti düşürürken depolama yoğunluklarını yılda yaklaşık %60-100 oranında iyileştirmiştir. Bununla birlikte, günümüzün manyetik kayıt teknolojilerinin ulaşabileceği alan yoğunlukları, eninde sonunda, bugün uzunlamasına kayıt için 250 Gbit/inç^2 civarında olduğu tahmin edilen, iyi bilinen süperparamanyetik etkinin dayattığı bir sınıra ulaşacaktır. Bu sınırın üstesinden gelmek için çeşitli öneriler

formüle edilmiştir, örneğin, en büyük zorluğun manyetik diskin uygun maliyetli bir şekilde modellenmesi olduğu desenli manyetik ortamın benimsenmesi bir öneri olarak sunulmuştur. Ancak DRAM (Dynamic random-access memory), aynı şekilde SRAM (Static random-access memory), Flash vb. gibi yarı iletken bellekler söz konusu olduğunda, zorluklar ağırlıklı olarak litografide 100 nm altı FET (Field Effect Transistor-Alan Etkili Transistör) geçitlerini ve çok ince geçit oksit malzemelerini tanımlama ve üretme konusunda ortaya çıkmaktadır (Eleftheriou vd., 2003; Juang ve Bogy, 2005).

Son yıllarda veri depolama teknolojilerinin evrimi, bireysel bitlerin boyutlarını mikron ve mikron altı ölçeklerin çok altına indirmiş ve şu anda nano boyutlar çağına girdiğimiz noktaya gelmiştir. Veri deoplama alanında kullanılan sistemlerin zamanla bir sınıra ulaşacağından hareketle çeşitli nanotekenolojik çözümlerin araştırıldığı gözlenmektedir. Bu bağlamda Atomik kuvvet mikroskobu (Atomic force microscope-AFM) ve tarama tünelleme mikroskobu (Scanning tunneling microscope-STM) gibi malzemelerin yapısının atomik ölçeğe kadar görüntülemek ve araştırmak için nanometre keskinliğinde uçları kullanan tekniklerin, ultra yüksek yoğunluklu depolama cihazlarının geliştirilmesi için uygun olduğu ileri sürülmüştür. Basit uç, etkileşimin nihai olarak yerel olarak sınırlandırılması için çok güvenilir bir araç olduğundan, uç tabanlı depolama teknolojileri, geleneksel manyetik ve yarı iletken depolamanın yaklaşmakta olduğu fiziksel sınırları genişletmek için doğal adaylar olarak kabul edilebilir (Eleftheriou vd., 2003; Binnig ve Rohrer, 1999).

Şu anda tek bir AFM, en iyi ihtimalle mikrosaniye zaman ölçeğinde çalışır. Bununla birlikte, geleneksel manyetik depolama, en iyi şekilde nanosaniye zaman ölçeğinde çalışmaktadır ve AFM veri hızlarının, mevcut ve gelecekteki manyetik kayıt teknolojileriyle rekabet edebilmek için en az üç büyüklük sırası ile iyileştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Uç tabanlı depolama cihazlarının veri hızlarında böylesine önemli bir artış elde etmek için bir çözüm, paralel olarak çalışan mikroelektro-mekanik sistem (Microelectro-mechanical-system-MEMS) tabanlı konsol dizilerini kullanmaktır, her konsol bir üzerinde yazma/okuma/silme işlemlerini gerçekleştirir. Çok büyük ölçekli entegre (Very-large-scale integrated-VLSI) mikro/nanomekaniğin gelecekteki mikro ve nanoelektronik (entegre veya hibrit) için

ideal bir tamamlayıcı sağlayacağına ve şimdiye kadar duyulmamış VLSI-MEMS uygulama fırsatları yaratabileceği ifade edilmektedir (Eleftheriou vd., 2003).

MEMS tabanlı depolama cihazları geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, 2 cm^2 kalıp alanında 2 Gbyte veri depolayabilmesi gereken ve üretimi standart bir entegre devre üretim süreci ile uyumlu olan MEMS aktüatörlü manyetik prob tabanlı bir depolama cihazı önerilmiştir. Bu yaklaşımla, bir manyetik depolama ortamı x/y düzleminde konumlandırılır ve yazma, her bir uç z-yönünde çalıştırılan bir dizi prob ucu vasıtasıyla manyetik olarak elde edilir (Carley vd., 2000). Diğer bir yaklaşım, bir faz değişim ortamının durumunu bit bazında polikristalden amorfa veya tam tersine değiştirmek için elektron alan yayıcılarının kullanıldığı ifade edilen depolama konseptidir. Daha sonra ya geri saçılmış elektronları ya da ortamdaki yarı iletken özelliklerindeki değişiklikleri tespit ederek daha düşük akımlarla okuma yapılır (Gibson vd., 1996).

Statik ve dinamik rastgele erişimli bellekler uzun süredir elektronik bilgisayarların birincil depolama ortamı olmuştur. Son on yılda Flash bellek teknolojilerindeki ilerlemeler, bu elektronik cihazları ikincil veri depolama ortamı için de piyasada önemli bir rakip haline getirmiştir. Gelişmiş foto-litografinin getirdiği küçülen boyutlar, Flash kapasitelerinde hızlı bir artışa neden olurken, bunların nispeten yavaş veri hızları ve azalan veri saklama süresi beklentisi (şarj sızıntısı nedeniyle) alternatif teknolojiler için niş bir pazar açmıştır. Örneğin manyetik ve faz değişimli rastgele erişimli bellekler, çapraz tel dizisinin bağlantı noktalarında nano hacimlerdeki malzemenin elektronik olarak değiştirilmesine dayanır. Örneğin, PRAM, bir çift çapraz elektrik iletkeni (gri) arasına sıkıştırılmış ince bir polikristal GeSbTe alaşımı (kırmızı) ile meydana getirilir. GeSbTe malzemesinin amorf ve kristal fazları arasındaki termo-elektrik geçiş, bağlantının direncinde geri dönüşümlü de olsa dayanıklı bir değişiklik üretir. Bu malzemeler, bağlantı alanını ~10×10 nm^2'ye küçülterek tera bit/cm^2 yoğunlukları elde etme potansiyeline sahiptir. Nisan 2010'da Samsung, NOR çiplerine göre kelime başına üç kat daha hızlı "yazma" sağlayan 512 Mb çoklu çip paketi PRAM'ı duyurmuş ve böylece flash belleğin uçucu olmayan yapısını DRAM'in yüksek hızlı kapasitesiyle birleştirmiştir (Mansuripur, 2011).

Plazmonik veri depolama, son yıllarda önerilen yeni bir optik kayıt modudur. Metalik nano yapılar, belirli dalga boylarında oldukça keskin rezonanslara sahiptir.

Rezonans dalga boyu, nano yapının geometrik şekline ve boyutuna ve ayrıca gelen ışığın polarizasyonuna göre yönelimine duyarlıdır. E-ışın litografisi kullanılarak 30 nm kalınlığında bir altın filmde imal edilmiş bir plazmonik yapı ile hücre elde edilir. Her 500×500 nm^2 hücre, 10 farklı nano özellik içerir. Kırınımla sınırlı odaklanmış bir nokta altında bu hücrelerin yansıması ve geçirgenliği, dalga boyunun güçlü işlevleridir, bu nedenle, bireysel özelliklerin kırınım sınırından çok daha küçük olmasına rağmen, çok sayıda farklı desen arasında ayrım yapmak için spektral bir araç sağlar (Mansuripur vd., 2009; Zhou vd., 2015).

Yukarıdaki örneklerden de anlaşılacağı veri depolama araçlarında nanoteknolojinin gerek araştırmalarda yer aldığı ve gerekse de endüstriyel olarak üretildiği gözlenmektedir. Bu nedenle daha küçük alanlarda daha büyük verilerin depolanması imkânı doğmaktadır. Bunun sonucunda YBS'de giderek artan veri depolama ihtiyaçlarına cevap verecek bir etkinin olduğu görülebilmektedir.

5.1.3. Nesnelerin İnterneti ve Nanoteknoloji

Günümüzde yönetim bilişim sistemleri arasında veritabanları ve telekominikasyon ağlarının temel bileşenler olduğu çalışmanın önceki bölümlerinde ifade edilmiştir. Bu bağlamda özellikle nesnelerin interneti (IoT) kavramının Endüstri 4.0 konsepti içinde yer aldığı ve yönetim bilişim sistemlerine veritabanlarına bilgi sağlama, ağ oluşturma ve tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda yenilikler sağladığı anlaşılmaktadır. Bunun yanında IoT'nin de nanoteknoloji gelişmelerinden etkilenerek geliştirildiği gözlenmektedir. Bu gelişme aşağıda özet olarak ifade edilmiştir.

IoT, modern kablosuz telekomünikasyon dünyasında büyük popülerlik kazanan yeni bir devrim olarak görülmektedir. IoT'nin arkasında temel olarak RFID (Radio Frequency Identification-Radyo Frekansı Tanımlama) etiketleri, sensörler, aktüatörler, mobil teknoloji, NFC (Yakın Alan İletişimi - Near Field Communication), Akıllı Telefonlar, Tabletler vb. istenen hedeflere ulaşmak için birbirleri arasında etkileşim ve iletişim için benzersiz adresleme şemaları gibi elemanlar yatmaktadır. Bugün bir gerçeklik olan IoT kavramı, 1999 yılında Ashton (2009) tarafından önerilmiş ve tedarik zincirindeki kullanımına ilişkin yeni RFID kavramı ile bağlantılı olarak ortaya konulmuştur. IoT, gömülü sistemler aracılığıyla etkileşim için her

nesneyi entegre ederek İnternet'in her yerde yaygınlığından gün geçtikçe faydalanmakta ve onu insanlarla ve hatta cihazlarla her iki şekilde iletişim kuran yüksek oranda dağıtılmış bir cihaz ağı haline getirmektedir. Çok çeşitli cihazlar ve iletişim protokolleri, e-sağlık, e-tarım, e-sanayi, akıllı şehirler, askeri vb. çeşitli alanlardaki endüstriler ve araştırmacılar tarafından hızlı bir geliştirme sürecinde olduğundan, IoT kavramı herkesin yaşamının çeşitli yönleri üzerinde yüksek bir etkiye sahiptir (Nayyar vd., 2016). IoT, uygun şekilde depolanması, işlenmesi ve verimli bir şekilde sunulması gereken tonlarca veri üretir çünkü izleme cihazları, verilerin depolanması, veri analitiği araçları ve müşteri tabanlı veri teslim modelleri, bulut bilişim (cloud computing) gibi çeşitli diğer bilgi işlem teknolojileri, bu tür yardımcı programlar için entegre olan sanal bir altyapı sağlar. Artan 4G Ağları, LTE (Long-Term Evolution) ve WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) trendi ile IoT'ye yönelik vizyon da gelişmektedir. IoT sisteminin kurulabilmesi için kullanıcıların ve cihazların iletişim için ortak bir protokol, bağlamsal bilgi sunmak için yazılım mimarileri ve yaygın ağlar ve akıllı teknolojiyi betimleyen yüksek performanslı veri analitik araçları gereklidir (Gubbi vd., 2013).

Nesnelerin İnterneti, cihazların, sensörlerin ve nesnelerin birbirleriyle etkileşime girdiği ve veri alışverişinde bulunduğu İnternet ve Cihazdan Cihaza iletişim kullanımını dönüştürmüştür. Bu kablosuz Vücut Sensör Ağları (Wireless Body Sensor Networks-WBAN), Nanoteknoloji-Nano Nesnelerin İnterneti (The internet of nano things-IoNT) gibi diğer birçok alanın da doğmasına neden olmuştur (Nayyar vd., 2017).

Nanoteknolojinin temel tanımı, moleküler ölçekte fonksiyonel sistemlerin mühendisliğidir. Orijinal anlamıyla "Nanoteknoloji", eksiksiz, yüksek performanslı ürünler yapmak için bugün geliştirilen teknikleri ve araçları kullanarak, aşağıdan yukarıya doğru öğeleri inşa etme yeteneği anlamına gelir. Nanoteknoloji, Biyoteknoloji, Biyomedikal, Sanayi, Tarım, Askeri uygulamalar gibi birçok gerçek dünya uygulama alanına, bir ila birkaç yüz nanometre ölçeğinde cihazlar geliştirirken, çeşitli Yüksek dereceli çözümler sağlamıştır (Akyıldız vd., 2008; Akyıldız ve Jornet, 2010a). Nanoteknolojiye güç sağlamak için omurga Nanomakinedir. Nanomakine, algılama veya çalıştırma gibi temel görevleri gerçekleştirmek için nano bileşenler aracılığıyla entegre edilen temel işlevsel birim olarak tanımlanır. Nano makineler

arasındaki etkin işbirliği ve koordinasyon, karmaşıklık ve operasyonlar açısından uygulama çeşitliliğini genişletir. Özetle, nano ölçekli cihazların mevcut geleneksel iletişim ağları ile Yüksek Hızlı İnternet ile entegrasyonu "Nano-Nesnelerin (Internet of Nano-Things, IoNT) İnterneti" olarak adlandırılan yeni bir evrime yol açmıştır (Akyıldız ve Jornet, 2010b; Balasubramaniam ve Kangasharju, 2013). Nano-Nesnelerin İnterneti'nin ortaya çıkmasıyla birlikte, Nano cihazların kendi aralarında iletişim kurması için yeni standartlar oluşturma hedefiyle Nano iletişim alanındaki araştırmalar da önemli oranda artmış ve ayrıca çeşitli uygulamalarda kullanılması planlanmaktadır. Nano-Nesnelerin İnterneti, nesnelerden veri elde etmek için Nano ağlar aracılığıyla birbirine bağlanan minyatür sensörlerden oluşacaktır. Dolayısıyla, Nano Nesnelerin İnterneti, Nano Sensörler, Nano iletişim ve Nano Cihazlar alanında yeni araştırma kapıları açacaktır.

Nano Nesnelerin İnterneti kavramı, Akyıldız ve Jornet (2010b) tarafından "The Internet of Nano-Things" makalesinde önerilmiş ve nano ölçekli cihazlar arasında yeni bir ağ oluşturma paradigmasını ve son teknoloji elektromanyetik iletişimi ifade etmiştir. Nano ağlar için kanal modelleme, bilgi kodlama ve protokoller ve önerilen "Nano-Nesnelerin İnterneti" açısından büyük araştırma zorluklarını sunmuştur. IoNT, çeşitli alanlarda gerçek zamanlı uygulamalarda bu kadar kabul edilebilir olma potansiyeline sahip en minyatür nano sensör ağları olarak kabul edilir. Ancak, tonlarca gelişmiş avantaja sahip olmasına rağmen, IoNT'nin yakın gelecekte herhangi bir aksama olmadan insanlığın vazgeçilmez bir parçası olabilmesi için ele alınması gereken bazı sorunlar ve zorluklar da vardır. Araştırmacılar, bağlam yönetimi, güvenlik ve gizlilik, hizmet bileşimi ve keşif ile ilgili sorunları ele almalıdır. Nanoteknoloji tabanlı IoNT cihazlarının çeşitli uygulama alanları üzerinde araştırma yapılması ve geliştirilmesinin yanı sıra, nano sensörler tarafından toplanan verilerle ilgili olarak yeni güvenlik ve gizlilik mekanizmalarının ele alınması gerekmektedir. Hizmetler de geliştirilmeli ve nano sensörleri ve nano ağları tonlarca büyük veri türünü tutmak için uyumlu hale getirmek için yeni hizmet odaklı mimariler önerilmelidir (Nayyar vd., 2017). Bu cihazlar ile mikro düzeyde veri toplama ile yönetim bilişim sistemlerine anlık olarak verilerin sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Bu mimarilerin özellikle stok yönetimi, tedarik zinciri yönetimi gibi yönetsel faaliyetler kapsamında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

5.1.4. Nanoteknoloji ve Telekominikasyon Ağları

Yeni nesil telekomünikasyon sistemlerinin nanoteknoloji modüllerinde, özellikle elektronik alanlarında ve etkileşimli süreçlerde kurulması beklenmektedir. Mobil iletişim sistemleri için Nano bilim uygulaması, kontrol işlemini Nano ölçek aralığında olacak bir Nano metre ölçeğinde yapmak için kullanılır. Moleküler Nano Teknoloji (MNT) olarak bilinen Nanoteknoloji, maddenin yapısının atom ve molekül temelli kontrolünü temsil eder. Nanoteknolojinin çalışma modunda birlikte kapsüllenen mobil ve çekirdek ağın etkisi ve güvenlikteki mükemmellik ve sensör üzerindeki daha iyi etki, nanoteknolojiyi bu alanlarda en önemli teknoloji haline getirmektedir (Dixit, 2015).

Nanoteknolojiye dayalı iletişim sistemindeki diğer bir konu, iletişim sistemleri alanında gelecekteki zorluklarda önemli bir rol oynaması beklenen nanometre uzunluk ölçeğinde yeni malzemelerin keşfedilmesidir. Bu malzemelerin, uzun ve kısa menzilli iletişim bağlantıları için ultra yüksek hızlı, güç verimli bilgi işlem cihazları, yüksek yoğunluklu bellek ve mantıklar ve ultra hızlı ara bağlantılar gibi cihazlarda kullanılması beklenmektedir. Ayrıca bilgiyi kodlamak ve iletmek için elektromanyetik veya akustik dalgalar yerine moleküllerin kullanılması, moleküler alıcı-vericiler, kanal modelleri yanında Nano ağlar için protokoller gibi farklı çözümlere ihtiyaç duyulan yeni bir iletişim paradigmasını temsil eder (Hossain, 2013).

Moleküler alıcı-vericilerin boyutları ve çalışma alanları nedeniyle Nano cihazlara entegre edilmesi kolay olacaktır. Bu alıcı-vericiler, belirli moleküllere tepki verebilir ve bir tür işleme gerçekleştirdikten sonra yanıt olarak diğerlerini serbest bırakabilir. Moleküler ve karbon elektroniğindeki son gelişmeler, Nano piller, Nano bellekler, nano ölçekte mantıksal devreler ve hatta Nano antenler gibi yeni nesil elektronik haberleşmede Nano bileşenler uygulamıştır (Akyildiz ve Jornet, 2010a).

İletişim sistemlerinde, yüksek düzeyde hesaplama ve iletişim sağlayan mobil cihazlar, ev, ofis, halka açık yerler gibi diğer insan ortamları ile etkileşime girerken, özellikle bu cihazlar ve gömülü sistemler haline geldiğinde, algılama, bilgi işlem ve iletişim teknolojileri için akıllı bir yol gerektirir (Nair, 2013). Bu tür mobil cihaz zekası için temel gereksinimler, cihazların özerk ve sağlam olması, kolayca konuşlandırılabilmesi ve açık bir yönetim veya bakım olmadan hayatta kalması ve bu

cihazların hareketliliğinin ayrıca sınırlı boyut ve güç tüketiminde kısıtlamalar anlamına gelmesidir (Lokhande ve Pate, 2014). Akıllı mobil sistemler için diğer gereksinimler ise; Akıllı arabirim ve diğer cihazlar ve ortamlarla etkileşim, algılama, bağlam, farkındalık ve daha fazla bellek ve bilgi işlem gücü gerektiren artan veri hızları. Tüm bu gereksinimler, mevcut teknolojilerle çözülemeyecek bir duruma yol açmaktadır. Ancak nanoteknoloji, algılama, çalıştırma, radyo, çevreye zeka yerleştirme, güç verimli hesaplama ve bellek için çözümler sağlayabilir (Islam ve Logeeswaran, 2010). Bu bağlamda bazı nanoteknolojik çözümlerin gereksinimi duyulmaktadır. Bu kapsamda aşağıda bir takım nanoteknoloji tabanlı iletişim çözümleri açıklanmıştır.

5.1.4.1. Mobil ve Kablosuz Cihazlar

Hesaplama ve algılama için taşınabilir cihazlar, sürekli olarak erişilebilir oldukları ve müşteriye hizmet etmeye hazır oldukları çevre bilgisine sahip olmak, uzak işletmelerin temel hayalleri haline gelir. Bu cihazlar, cep telefonları ile birlikte ev, ofis, açık alanlar gibi insan durumlarına bağlanabilir (Mousa, 2012). Cihazların dünyadaki fiziksel nesnelere yerleştirilmesi için temel gereksinimlerden biri, cihazların çevrelerine uyum sağlayabilmeleri ve onları kapsayan cihazlar sisteminin bir parçası haline gelmelerini gerektirir. Bağımsız olarak gelişen ve doğaya uyum sağlayan organik sensörler iyi bir örnek olarak öne çıkmaktadır (Poslad, 2009). Nanoteknoloji, bu organik çerçevelerle iletişim kurabilen yeni tür anlayışlı Nano cihazların ve Nano sensörlerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Nanoteknoloji, çevremizin doğasında gelişen koşullara yardımcı olmak kadar karmaşık veya organik ürünün sağlıklı veya hasarlı olup olmadığını bilmek kadar basit olabilecek olanaklar sağlayacaktır (Lokhande ve Pate, 2014).

Askeri nanoteknolojilerin geliştirilmesinde özellikle büyük bir araştırma bölgesi olan uzak sensörler gibi kablosuz cihazlarda nanoteknolojinin kullanılmasına başka bir örnektir. Sensörler, saha koşulları, düşman birliklerinin veya donanımının geliştirilmesi, sürekli zayiat ve hasarları araştırmak veya bir düşmanın saldırısının sürekliliğini engellemek için içgörü toplamak için kritik olarak görülmektedir. Gözlem uygulamalarındaki nano sensörler, aynı şekilde, örneğin kontrol seviyelerini

değiştirmek için veri vererek, silah taşıma hassasiyetini arttırmada ve saldırıların ölümcüllüğünü arttırmada önemli bir rol üstlenebilir. Nano kablosuz cihazlar, sıcaklık, ağırlık, titreşim, artan hız, ışık, manyetik veya akustik ile ilgili bilgileri yakalamak için bir savaşta dağılabilir ve bu verileri sürekli olarak iletebilir (Miller ve Kearnes, 2012). Bu şekilde veri toplama imkanları kolaylıkla askeri uygulamalardan endüstriye yansıtılabileceği ve YBS bileşeni olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

5.1.4.2. Nano İletişim Ve Kablosuz Ağlar

Telekomünikasyon endüstrisinin radikal bir şekilde Nanoteknolojiye yönelmesi beklenmektedir. Nanoteknolojinin hem hücresel hem de çekirdek ağın işleyişindeki etkisi ve ek olarak güvenlikteki mükemmellik ve sensör üzerindeki daha iyi etki, nanoteknolojiyi önceki geleneksel teknolojilerden en avantajlı hale getirmektedir (Elmustafa ve Sohal, 2017).

Kablosuz teknoloji endüstrileri, hesaplama ve iletişimin istendiği gibi olmasını sağlamaya izin veren akıllı operasyonların uygulanmasında önemli bir role sahip olmuştur. Mobil cihazlarda akıllı ve Nano teknoloji kavramlarının ortaya çıkışı, şimdiye kadar var olan algılama ve hesaplama konusunda yepyeni bir platform yaratabilecek cihazları insanların yaşadıkları ortamlara yerleştirmeye yardımcı olacaktır (Elmustafa ve Sohal, 2017). Nano cihazlar, kendi kendine güç verme, çevreye duyarlı veya diğer sistemlerle akıllı etkileşim gibi bazı yetenekler elde etmek için kullanılabilir (Jamthe ve Bhande, 2017).

Beşinci nesil mobil sistemlerde hücreler, nanoteknoloji ile donatıldıkları için Nano cihazlar olarak adlandırılır. Kablosuz endüstrilerin ilgili vizyonlarından biri, kişiye akıllı bir şekilde hizmet etmek için hazırlanacak Nano akıllı teknolojilerin bir aracını elde etmektir. Bu, ağ cihazlarının ve mobil cihazların istihbarat araçlarıyla birlikte ev, işyeri veya halka açık yerler gibi insan ortamlarına gömülmesi için akılda olmasını gerektirir ve Nano iletişim sistemlerinde algılama ve hesaplamaya izin veren yeni bir platform yaratacaktır (Latha vd., 2014).

SONUÇ

Bu çalışmada Endüstri 4.0 ve nanoteknoloji kavramları incelenmiş ve bu kavramların birbiri ile ilişkisi günümüzün modern üretim yaklaşımları bağlamında ele alınmıştır. Ayrıca nanoteknolojik gelişmelerin günümüz YBS sistemleri üzerindeki mevcut ve potansiyel etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu kavramsal çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Öncelikle yapılan kavramsal çalışmada önceki sanayi devrimleri ve Endüstri 4.0 kavramı incelenmiş, her bir sanayi devriminin diğerinin üzerinde birikimli olarak ilerlediği, ancak son devrimlerin daha önce meydana gelen devrimlere göre çok hızlı ve çığır açıcı olduğu gözlenmiştir. Meydana gelen teknolojik ilerlemelerin ise endüstriyel devrimlerin arasındaki zamanı kısalttığı gözlenmiştir. Zira nanoteknoloji alanında yaşanan değişimlerin de Endüstri 4.0'a hız kazandıracağı ve hatta 5. Endüstri devrimine yol açacağı gözlenmiştir.

Endüstri 4.0'ın en önemli temelini verilerin işlenmesi, IoT, sensörler, siber fiziksel sistemler ve robotların oluşturulduğu dikkate alındığından nanoteknolojinin bu noktalarda kayda değer bir etkiye sahip olacağı gözlenmiştir. Bilhassa nanomateryallerin kullanılmasıyla çok daha küçük ve hassas sensörlerin, nanorobotların üretim bantlarına yer alacağı, gözle görülemeyecek küçüklükte alanlarda bu cihazların görev alabileceği yeni üretim paradigmalarının oluşturulacağı görülmektedir.

Sanayi devrimlerinin tarihsel olarak ele alındığı yapılan kavramsal araştırmalarda görülmüştür. Günümüzdeki endüstriyel devrimin 4. Sanayi devrimi olduğu, ancak nanoteknolojinin çok daha ileri seviyelere ulaşmasıyla birlikte üretimde moleküler ve atomik seviyede müdahale ile birlikte 5. Sanayi devrimine geçiş yapılacağına ilişkin görüşlerin varlığı da gözlenmiştir. Bu nedenle nanoteknolojinin endüstriyel üretim açısından çığır açan bir teknoloji olduğu ifade edilebilir.

Endüstri 4.0 kapsamında çok büyük miktarlarda veri üretilmekte, saklanmakta, işlenmekte ve iletilmektedir. Bu verilerin işlenmesinde ise gelecekte işlemci kapasitesi çok büyük olan süper bilgisayarlara ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda daha fazla işlemci kapasitesinin nanoteknolojik malzemeler ile üretilen yongalar ile üretileceği yapılan incelemede gözlenmiştir. Diğer taraftan bahse konu

verilerin iletilmesinde ve otonom cihazların kablosuz iletişiminde ise nonaoteknoloji tabanlı 5G teknolojisinin önemli bir rolü olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak günümüzde halen geliştirilmekte olan nanoteknolojinin halihazırda Endüstri 4.0'a kayda değer düzeyde katkı sağladığı gözlenmekte, gelecekte ise sahip olduğu potansiyel ile yeni sanayi devrimlerine yol açacağı düşünülmektedir.

Tüm dünyada bu gelişmelerin olduğu dikkate alındığında bir üretim ekonomisi haline gelen ülkemizin gerek Endüstri 4.0 ve gerekse de nanoteknolojiden uzak kalmaması ve bu yeniliklere dünya ile eşzamanlı olarak entegre olması gerekmektedir. Aksi takdirde mevcut sahip olduğu geleneksel üretim kapasitesinin geri kalacağı ve ülkemizin de çok yönlü kayıplar yaşayabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle ülkemizin Endüstri 4.0, nanoteknoloji ve bunların entegrasyonu konusunda gereken politikaları ve yatırımları sürekli olarak uygulaması ve güncellenmesi gerektiği değerlendirilmektir.

Günümüzde yönetim bilişim sistemleri güncel teknolojik değişimlerden ve gelişmelerden doğrudan etkilendiği ifade edilebilir. Zira bilişim başlı başına bir teknoloji ürünüdür. Bu bağlamda YBS alt bileşeni olan cihaz ve sistemlerde nanoteknolojik gelişmelerin etkili olduğu gözlenmiştir. Örneğin son yıllarda giderek artan bilgi işlem kapasitesi gereksinimi klasik silikon temelli işlemcilerden nano yapılı işlemcilere yönelik ilgiyi artırmıştır. Şu anda kullanılmakta olan silikon teknolojisi işlemcilerin gelecekte büyük verileri işlemede yetersiz kalacağı bilim insanları ve bu alandaki uzmanlar tarafından öngörüldüğü ve yeni büyük kapasiteli işlemci arayışına gidildiği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda nanoteknolojinin öne çıktığı ve karbon nanotüp alan etkili transistörlerin üzerinde çalışmaların yapıldığı gözlenmektedir. Bu alanda sağlanan gelişmelerin YBS üzerinde de kayda değer etkide bulunması kaçınılmazdır. Zira YBS'nin temelini bilgi işleme oluşturduğundan işlemcilerin gelişiminin bu sistemler üzerinde kendini göstereceği ifade edilebilir.

YBS alt birimlerinden biri olan ve hayati öneme sahip olan veri depolama sistemlerinin giderek artan veriler sayesinde yeni çözümleri gerektirdiği gözlenmektedir. Bu bağlamda daha küçük alanlarda daha büyük verilerin depolanmasının nanoteknolojik yaklaşımları gerektirdiği ve bu yönde çözümlerin sağlandığı gözlenmektedir. Örnek olarak Atomik kuvvet (Atomic force microscope-AFM) ve tarama tünelleme mikroskobu (Scanning tunneling microscope-STM) gibi

malzemelerin yapısının atomik ölçeğe kadar görüntülemek ve araştırmak için nanometre keskinliğinde uçları kullanan tekniklerin, ultra yüksek yoğunluklu depolama cihazlarının geliştirilmesi için uygun olduğu literatürde ifade edilmiştir. Ayrıca Statik ve dinamik rastgele erişimli bellekler (SRAM ve DRAM) nano hacimlerdeki malzemenin elektronik olarak değiştirilmesine dayandığı gözlenmiş ve endüstri tarafından kullanıldığı ve pazara sürüldüğü gözlenmiştir. Bu bağlamda veri depolama araçlarında nanoteknolojinin gerek araştırmalarda yer aldığı ve gerekse de endüstriyel olarak üretildiği ifade edilebilir. Bu sebeple daha küçük alanlarda daha büyük verilerin depolanması imkânı doğmaktadır. Bunun sonucunda YBS'de giderek artan veri depolama ihtiyaçlarına cevap verecek bir etkinin olduğu değerlendirilmektedir.

Nanoteknolojinin bilhassa nesnelerin interneti (IoT) kavramının Endüstri 4.0 konsepti içinde yer aldığı ve yönetim bilişim sistemlerine veritabanlarına bilgi sağlama, ağ oluşturma ve tedarik zinciri yönetimi gibi alanlarda yenilikler sağladığı gözlenmiştir. IoT'nin de nanoteknoloji gelişmelerinden etkilenerek geliştirildiği gözlenmektedir. IoT, cihazların, sensörlerin ve nesnelerin birbirleriyle etkileşime girdiği ve veri alışverişinde bulunduğu İnternet ve Cihazdan Cihaza iletişim kullanımını dönüştürmüştür. Bu kablosuz Vücut Sensör Ağları (Wireless Body Sensor Networks-WBAN), Nanoteknoloji-Nano Nesnelerin İnterneti (IoNT) gibi diğer birçok alanın da doğmasına neden olmuştur. Bu bağlamda YBS sistemlerinin en küçük bileşenlerinden dahi kolaylıkla verilerin alınabileceği değerlendirilmektedir. Bu bileşenlerin tedarik zinciri yönetimi, envanter yönetimi gibi yönetim araçlarına kayda değer katkılar sunacağı değerlendirilmektedir.

Bilimin son yıllarda çok hızlı bir şekilde ilerlediği açıkça görülmektedir. Bilimin farklı dallarındaki ilerleme, farklı teknolojilerin gelişmesine neden olmuştur. Artan teknoloji ve arazi ve altyapıdaki kısıtlamalarla birlikte, toplumun her türlü malın daha küçük boyutlu olması acil bir ihtiyaç haline gelmiştir. Teknolojinin de Semi'den Mili'ye, Micro'dan Nano'ya kaymasının nedeni budur. Nano Teknolojinin doygunluğunun ardından Pico teknolojisinin de piyasaya çıkacağı günler uzak değildir. Ama bu gelişme aniden olmayacaktır. Mevcut nanoteknoloji ile Elektronikten Tıptan Robotiğe kadar neredeyse tüm mühendislik dallarının verimliliği, dayanıklılığı, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği nedeniyle nanoteknolojiye dayalı olması

beklenmektedir. Bu nedenle, bu çalışma ile Nanoteknolojinin geleceğin mühendisliği olduğu sonucuna varılabilir.

KAYNAKÇA

Addo-Tenkorang, R., & Helo, P. T. (2016). Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 528-543.

Aktaş, F., Çeken, C. & Erdemli Y. E. (2016) Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4, 37-54.

Akyıldız, I. F. & Jornet, J. M. (2010a). Electromagnetic wireless nanosensor networks. *Nano Communication Networks*, 1(1), 3-19.

Akyıldız, I. F., & Jornet, J. M. (2010b). The internet of nano-things. *IEEE Wireless Communications*, 17(6), 58-63.

Akyıldız, I. F., Brunetti, F. & Blázquez, C. (2008). Nanonetworks: A new communication paradigm. *Computer Networks*, 52(12), 2260-2279.

Alcami, R. L. ve Caranana, C.D. (2012). Introdution to Management Information Systems, Universitat Jaume, Espana.

Altmann, J. (2006). *Military Nanotechnology,* Routledge, London.

Armentia, J., C.-Mansilla, D. & Ipiña, D. L. (2012). Fighting against Vampire Appliances through Eco-aware Things. Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services, Ubiquitous Computing.

Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.

Aydoğdu, A. (2018). *A Nanotechnology Roadmap For The Turkısh Defense Industry*, (Unpublished PhD Thesis), Middle East Technical University, The Graduate School Of Social Sciences, Ankara.

Bachtold A, Hadley P, Nakanishi T, et al. (2001). Logic circuits with carbon nanotube transistors. *Science*. 294:1317–1320.

Baheti, R. & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. *The impact of control technology*, 12(1), 161-166.

Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N. & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13).

Balasubramaniam, S. & Kangasharju, J. (2013). Realizing the internet of nano things: challenges, solutions, and applications. *Computer*, 46(2), 62-68.

Ball, P. (2005). Nanomaterials Draw Electricity from Heat. Nature Materials Update. 24 March 2005.

Banerjee P, Sarkar S.K. (2017). 3-D analytical modeling of high-k gate stack dual-material tri-gate strained silicon-onnothing MOSFET with dual-material bottom gate for suppressing short channel effects. *J Comput Electron*.16(3):1–9.

Bayrak, A. (2018). *Dünya'da Ve Türkiye'de Sanayi'de Dijital Dönüşüm (Sanayi 4.0) İncelemesi Ve Türkiye'nin Entegrasyonu İçin Değerlendirmeler*. Eylül, 2018 Ankara, https://digit4turkey.org/wp-content/uploads/2020/01/End%C3%BCstri_4.0_Raporu.pdf (24.12.2020).

BCG (2019). *Are you spending enough on cybersecurity*?, Boston Consulting Group, https://www.bcg.com/publications/2019/are-you-spending-enough-cybersecurity.aspx (22.12.2021).

Bee, R. & Bee, F. (1999). *Managing Information and Statistic*. Trowbridge: Cromwell Press.

Belluco, S., Gallocchio, F., Losasso, C. & Ricci, A. (2018). State of art of nanotechnology applications in the meat chain: A qualitative synthesis. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58, 1084–1096

Biegelbauer, G., Vincze, M., Nohmayer, H. & Eberst, C. (2004). Sensor based robotics for fully automated inspection of bores at low volume high variant parts. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 (Vol. 5, pp. 4852-4857). IEEE.

Binnig, G., & Röhrer, H. (1982). Scanning Tunnelling Microscopy. *Helvetica Physica Acta*, 55(6), 726–735.

Binnig, G., Quate, C. F., & Gerber, C. (1986). Atomic Force Microscope. *Physical Review Letters*, 56(9), 930–934.

Binnig, G., & Rohrer, H. (1999). In touch with atoms. *Reviews of Modern Physics*, 71, (2), 324-330.

Bishop, M. D., Hills, G., Srimani, T., Lau, C., Murphy, D., Fuller, S. & Shulaker, M. M. (2020). Fabrication of carbon nanotube field-effect transistors in commercial silicon manufacturing facilities. *Nature Electronics*, 3(8), 492-501.

Bozkurt, A. (2015). Nanotechnology in Turkey. *The Informatics Association of Turkey Informatics Magazine*, 172, 40–54.

Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.

Burt, A. (2019). Cybersecurity is putting customer trust at the center of competition, *Harvard Business Review*, https://hbr.org/2019/ 03/cybersecurity-is-putting-customer-trust-at-the-center-of-competition (01.05.2022).

Cacciatore M. A., Scheufele D., & Corley, E. (2011). From Enabling Technology to Applications: The Evolution of Risk Perceptions About Nanotechnology, *Public Understanding of Science,* 20 (13), 385-404.

Cadavid, J., Alférez, M., Gérard, S., & Tessier, P. (2015). Conceiving the model-driven smart factory. In Proceedings of the *2015 International Conference on Software and System Process* (pp. 72-76).

Carey, J., Galletta, D. F., Kim, Y., Te'eni, D., Wildemuth, B., & Zhang, P. (2004). The role of human computer interaction in management information systems curricula: A call to action. *Communications of the Association for Information Systems* 13 (1), 357-379.

Carley, L. R., Bain, J. A., Fedder, G. K., Greve, D. W., Guillou, D. F., Lu, M. S., & Min, S. (2000). Single-chip computers with microelectromechanical systems-based magnetic memory. *Journal of applied physics*, 87(9), 6680-6685.

CERP-IoT (Internet of Things Strategic Research Roadmap, Cluster of European Research Projects on the Internet of Things) (2009). *Internet of Things Strategic Research Roadmap.* http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_ Cluster_ Strategic _Research_Agenda_2009.pdf (22.06.2022).

Chau R, Doyle B, Doczy M, et al. (2003). Silicon nano-transistors and breaking the 10 nm physical gate length barrier. In: *Device Research Conference*; Salt Lake City, UT, USA. p. 123–126.

Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). Smart factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. *IEEE Access*, 6, 6505–6519.

Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile networks and applications*, 19(2), 171-209.

Chong, S., Pan, G. T., Chin, J., Show, P. L., Yang, T. C. K., & Huang, C. M. (2018). Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. *Sustainability*, 10(11), 3960.

Chowdhury N, Iannaccone G, Fiori G, et al. (2017). GaN nanowire n-MOSFET with 5 nm channel length for applications in digital electronics. *IEEE Electron Device Lett.* 38:859–862.

Cosgun A, Fu R, Jiang W, Li J, Song J, Song X, Zeng H. (2015). Flexible quantum dot–PVA composites for white LEDs. *Journal of Materials Chemistry C*, 3(2): 257-264, 2015.

Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M., & Sartor, M. (2019). Addressing Industry 4.0 cybersecurity challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 79-86.

Çeliktaş, M.S., Sonlu, G., Özgel, S. & Atalay, Y. (2015). Endüstriyel devrimin son sürümünde mühendisliğin yol haritası. *Mühendis ve Makina* 56 (662), 25-34.

Çeltek, A., Soy, H., Hacıbeyoğlu, M. (2015) Nesnelerin İnternetine Doğru: Güncel Konular ve Gelecekteki Eğilimler, *17. Akademik Bilişim Konferansı,* Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

De Pace, F., Manuri, F., & Sanna, A. (2018). Augmented reality in industry 4.0. *Am J ComptSci Inform Technol*, 6(1), 17.

Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545-554.

Dixit, S. (2015). Future wireless technology. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(2), 420-423.

Dondurmacı, G. A., & Çınar, A. (2014). Yönetim Bilişim Sistemleri. G. A. Dondurmacı, & A. Çınar İçinde, *Yönetim Bilişim Sistemleri* (S. 38). İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim.

Dorji, S., & Kirikova, M. (2016). Data, Information, and Knowledge Modeling in Worksystem Networks. In *BIR Workshops*.

Dürkop T., Getty, S., & Cobas E, et al. (2004). Extraordinary mobility in semiconducting carbon nanotubes. *Nano Lett*. 4:35–39.

Edwards, C. (t.y.). *Advantages & Disadvantages of Nanotechnology*, https://smallbusiness.chron.com/advantages-disadvantages-nanotechnology-37398.html (21.12.2020).

Eleftheriou, E., Bächtold, P., Cherubini, G., Dholakia, A., Hagleitner, C., Loeliger, T. & Wiesmann, D. (2003, January). A Nanotechnology-based Approach to Data Storage. In VLDB (pp. 3-7). *Proceedings of the 29th VLDB Conference*, Berlin, Germany.

Elmustafa, S. A. A., & Sohal, H. S. (2017). Nanotechnology in communication engineering: issues, applications, and future possibilities. *World Scientific News*, (66), 134-148.

EPA. (2007). *Nanotechnology White Paper*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA, February 2007, Washington, DC, https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-01/documents/nanotechnology_whitepaper.pdf, (21.05.2022).

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production, 6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories, *Procedia CIRP* 54 13 – 18.

Fabian, F. L. (2019). Advantages and Drawbacks of the Nanotechnology and Biotechnology toward Shaping a Global Sustainable Development. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(4), 693-695.

Frazer, L. (2003). Organic electronics: a cleaner substitute for silicon. *Environmental health perspectives*, 111(5), A288-A291.

Freeman, C., & Soete, L. (1997). *The economics of industrial innovation*. Psychology Press.

Frost and Sullivan (2017) *Cyber Security in the Era of Industrial IoT*. Frost & Sullivan White Paper, Germany

Garside, M. (2020). *Market value of nanotechnology worldwide from 2010 to 2020*, https://www.statista.com/statistics/1073886/global-market-value-nanotechnology/, (13.06.2022).

Gibson, G., Kamins, T. I., Keshner, M. S., Neberhuis, S. L., Perlov, C. M., & Yang, C. C. (1996). U.S. Patent No. 5,557,596. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0 The Industrial Internet of Things*, 2016th ed. Bangken, Nonthaburi, Thailand.

Gokalp, M. O., Kayabay, K., Akyol, M. A., Eren, P. E., & Koçyiğit, A. (2016, December). Big data for industry 4.0: A conceptual framework. In *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (pp. 431-434). IEEE.

Goldhar, J. D., & Jelinek, M. (1983). Plan for economies of scope. *Harvard Business Review*, 61(6), 141- 148.

Gorkhali, A., & Xu, L. D. (2019). Enterprise architecture, enterprise information systems and enterprise integration: A review based on systems theory perspective. *Journal of Industrial Integration and Management*, 4(02), 1950001.

Grand View Research, (2020). *Nanomaterials Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Carbon Nanotubes, Titanium Dioxide), By Application (Medical, Electronics, Paints & Coatings), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027*, https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nanotechnology-and-nanomaterials-market (21.05.2022).

Greengard, S. (2015). *The internet of things*. MIT press.

Grinin LE, Grinin AL. (2013). Global technological transformations. Globalistics and Globalization Studies (2013): 98-128.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.

Hanaylı, M. C. (2018). Yönetim Bilişim Sistemleri. *Bilgi Teknolojileri Ve Yönetim Bilişim Sistemleri* (s. 125-126). İçinde İstanbul: İnkilap Kitapevi Yayınları.

Hossain, S. (2013). 5G wireless communication systems. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2(10), 344-353.

Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowey, S., & Dargusch, M. S. (2019). Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 1-12.

Hutchinson, K., N. Shin, S. Stevens, M. Yunker, C. Delgado, N. Giordano, and G. Bodner, (2007), "Exploration of Student Understanding and Motivation in Nanoscience", In: *National Association for Research in Science Teaching, NARST Annual International Conference*, New Orleans, Louisiana.

Islam, M. S., & Logeeswaran Vj, L. (2010). Nanoscale materials and devices for future communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 48(6), 112-120.

ITU (International Telecommunication Union) (2005). *ITU Internet Report. The Internet of Things.* https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf (27.05.2022).

Ivanova, O., Williams, C., & Campbell, T. (2013). Additive manufacturing (AM) and nanotechnology: promises and challenges, *Rapid Prototyping Journal* 19(5):353.

Jamthe, D. V., & Bhande, S. A. (2017). Nanotechnology in 5G wireless communication network–an approach. *Int Res J Eng Tech*, 4, 58-61.

Jensen, M. C. (1993). The modern industrial revolution, exit, and the failure of internal control systems. *The Journal of Finance*, 48(3), 831-880.

Jiménez, D.; de Miguel-Díez, J.; Guijarro, R.; Trujillo-Santos, J.; Otero, R.; Barba, R.; Muriel, A.; Meyer, G.; Yusen, R.D.; Monreal, M. Trends in the management and outcomes of acute pulmonary embolism: Analysis from the RIETE registry. J. Am. Coll. Cardiol. 2016, 67, 162–170.

Juang, J. Y., & Bogy, D. B. (2005). Nanotechnology advances and applications in information storage. *Microsystem technologies*, 11(8-10), 950-957.

Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2013) *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative*, INDUSTRIE 4.0. acatech, Final report of the Industrie 4.0 Working Group.

Kahraman Deniz (2018). *Nanoteknoloji alanında Türkiye'de yürütülen çalışmalar*. https://www.academia.edu/541722/Turkiyede_Nanoteknoloji_Alan%C4%B1nda_Yap%C4%B1lan_%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar_%C3%9Czerine?auto=download (12.06.2022).

Kaplan J, Weinberg A, Sharma S (2011) Meeting the cybersecurity challenge. Digit. McKinsey.

Kayal, D. (2014). CMiS: A Cloud Computing Based Management Information System. *International Journal of Information and Computation Technology*, 1(4), 15-20.

Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017, May). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. In *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.

Klingenberg, C., & Antunes, J. (2017). Industry 4.0: what makes it a revolution. *EurOMA* 2017, 1-11.

Krishnamoorti R. (2006). Extracting the benefits of nanotechnology for the oil industry. *J Petroleum Technol* 58: 24-26.

Krotov, V. (2017). The Internet of Things and new business opportunities. *Business Horizons*, 60(6), 831-841.

Kuhn, W. (2006). Digital factory-simulation enhancing the product and production engineering process. In *Proceedings of the 2006 winter simulation conference* (pp. 1899-1906). IEEE.

Landes, D. S. (2003). *The unbound Prometheus: technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present.* Cambridge University Press.

Lasi H, Fettke P, Feld T, Hoffmann M (2014) Industry 4.0. *Bus Inf Syst Eng* 6(4):239–242.

Latha, D. H., Reddy, D. R. K., Sudha, K., Mubeen, A., & Savita, T. S. (2014). A Study on 5th Generation Mobile Technology-Future Network Service. IJCSIT) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(6), 8309-8313.

Laudon, K.C. & Laudon, J.P. (2014), *Management information system: an aging the digital firm*, Globsl ed. Pearson education ltd, Harlow, England.

Lauterwasser, C. (2005). *Opportunities and risks of Nanotechnologies Report*, OECD International Futures Programme & Allianz Center for Technology, https://www.oecd.org/science/nanosafety/37770473.pdf (12.06.2022).

Lee EA, Seshia SA (2015) *Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach* Second Edition, E. A. Lee and S. A. Seshia, Berkley, USA.

Lee, J. Kao, H. A. & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment, *Procedia CIRP*, 16, 3–8.

Lei, D., Hitt, M. A., & Goldhar, J. D. (1996). Advanced manufacturing technology: organizational design and strategic flexibility. *Organization Studies*, 17(3), 501-523.

Lele, A. (2009). Role of Nanotechnology in defence. *Strategic Analysis*, 33(2), 229-241.

Lezzi, M., M. Lazoi, and A. Corallo (2019). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework, *Computers in Industry*, 103, 97–110.

Liew, A. (2013). DIKIW: Data, information, knowledge, intelligence, wisdom and their interrelationships. *Business Management Dynamics*, 2(10), 49-62.

Lloyd, S.M., Lave, L.B., & Matthews, H.S. (2005). Life Cycle Benefits of Using Nanotechnology to Stabilize Platinum-Group Metal Particles in Automotive Catalysts. *Environ. Sci. Technol*. 39, 1384-1392.

Lokhande, S., & Pate, R. (2014). Role of Nanotechnology in Shaping the Future of Mobile and Wireless Devices. *International Journal of Science and Research*, 3(1), 212-215.

Lundstrom M. (2003). Moore's law forever? *Science*, 299, 210–211.

Lysne, O. (2018). The Huawey and Snowden Questions: Can Electronic Equipment From Untrusted Vendors be Verified? Can an Untrusted Vendor Build Trust Into Electronic Equipment?, *Simula Springer Briefs on Computing 4*. Cham, Switzerland: Springer.

Mandal, G. and Ganguly, T. (2011). Applications of nanomaterials in the different fields of photosciences. *Indian Journal of physics*, 85(8): 1229–45.

Mansoori AG, Mohazzabi P, McCormack P, Jabbari S. (2005). Nanotechnology in cancer prevention, detection and treatment: bright future lies ahead'. *World Rev Sci Technol Sust Dev* 4 (2/3): 226-257.

Mansuripur, M. (2011, July). The role of nano-technology in data storage devices and systems. In *Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage* (p. OMA2). Optical Society of America.

Mansuripur, M., Zakharian, A. R., Lesuffleur, A., Oh, S. H., Jones, R. J., Lindquist, N. C., ... & Moloney, J. V. (2009). Plasmonic nano-structures for optical data storage. *Optics Express*, 17(16), 14001-14014.

Matheson, R. (2019). Engineers build advanced microprocessor out of carbon nanotubes, Aug 29, 2019, https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=53495.php (12.06.2022).

McKinsey&Company (2019), "Perspectives on transforming cybersecurity," https://www.mckinsey.com//media/McKinsey/McKinsey%20Solutions/Cyber%20Solutions/Perspectives%20on%20transforming%20cybersecurity/Transforming%20cybersecurity_March2019.ashx

Miller, G., & Kearnes, M. (2012). Nanotechnology, Ubiquitous Computing and The Internet of Things. Council of Europe Report.

Mobasser, S., & Firoozi, A. A. (2016). Review of nanotechnology applications in science and engineering. *J Civil Eng Urban*, 6(4), 84-93.

Mody CCM, Choi H. 2013. From materials science to nanotechnology: Institutions, communities, and disciplines at Cornell University, 1960-2000. *Histor Stud Nat Sci* 43 (2): 121-161.

Mori T, Iizuka S, Nakayama T. (2017). Material engineering for silicon tunnel field-effect transistors: isoelectronic trap technology. *MRS Commun*. 7:541–550.

Mousa, A. M. (2012). Challenges of future R&D in mobile communications. *IJACSA, International Journal of Advanced Computer Science and Applications,* 3(10), 1-10.

Mostafa, N., Hamdy, W., & Alawady, H. (2019). Impacts of Internet of Things on supply chains: A framework for warehousing. *Social sciences*, 8(3), 84.

National Nanotechnology Initiative, (2007), *Strategic Plan,* http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nni_strategic_plan_2007.pdf?q=NNI_Strategic_Plan_2007.pdf (14.05.2022).

Nair, G. P. (2013). Nano core-A Review on 5G Mobile Communications. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing, ICMIC13*, 124-133.

Nayyar, A., & Puri, V. (2016). Data glove: Internet of things (iot) based smart wearable gadget. *British Journal of Mathematics & Computer Science* 15(5): 1-12.

Nayyar, A., Puri, V., & Le, D. N. (2017). Internet of nano things (IoNT): Next evolutionary step in nanotechnology. *Nanoscience and Nanotechnology*, 7(1), 4-8.

NIST (2013) *Foundations for innovation: Strategic R&D opportunities for 21st century cyber-physical systems: Connecting computer and information systems with the physical world*. National Institute of Standards and Technology, Report of the Steering Committee for Foundations in Innovation for cyber-physical systems, NIST, US, 28, January.

NITRD (2015) *Cyber Physical Systems (CPS SSG).* Networking and Information Technology Research and Development https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/index.php?title=File%3ACyber_Physical_Systems_(CPS)_Vision_Statement.pdf (18.04.2022).

NSF (2015) *Cyber-Physical Systems (CPS).* Directorate for Computer & Information Science & Engineering, National Science Foundation

NSF, (2006) *Workshop on "Cyber-Physical Systems"*. National Science Foundation, Austin, Texas, US.

Hicks, O. J.Jr. (2003). *Management Information System*. Third edition, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Özdemir, Ş. (2014), Sanayi Devriminin Bilim Tarihi Üzerine Etkisi, *Üretim Ekonomisi Kongresi Bildirisi*.

Öztürk, D. G. (2018). *Bilgi Yönetimi. Bilgi Teknolojileri Ve Yönetim Bilişim Sitemleri* (s. 30). İçinde İstanbul: İnkilap Kitapevi Yayıncılık.

Paelke V. (2014) Augmented reality in the smart factory supporting workers in an Industry 4.0. Environment. *IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*

Park K-J, Zheng R, Liu X (2012) Cyber-physical systems: Milestones and research challenges. Editorial. *Computer Communications* 2012(1):1-7.

Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science,* 91, 744–750

Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5). 6122-6131.

Peng L-M, Zhang Z, Wang S. (2014). Carbon nanotube electronics: recent advances. *Mater Today* 17:433– 442.

Pennington G, Akturk A, Goldsman N. (2003). Electron mobility of a semiconducting carbon nanotube. In: *International Semiconductor Device Research Symposium*, p. 412–413.

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.

Porter, M. E. (1994). The role of location in competition. *Journal of the Economics of Business,* 1(1), 35- 40.

Poslad. S. (2009). *Ubiquitous Computing Smart Devices, Environments and Interactions,* Wiley.

Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190.

Rai, S., & Rai, A. (2017). Nanotechnology-The secret of fifth industrial revolution and the future of next generation. *Jurnal Nasional*, 7(2), 61-66.

Rajkumar R, Lee I, Sha L, Stankovic J (2011) Cyber-physical systems: The next computing revolution. *Proceedings of the Design Automation Conference*, Anheim, CA, US, 731-736.

Ramsden, J. J. (1990). What is nanotechnology? *Nature (Lond.)*, 344, 524-526.

Ranganathan, P. (2011). From microprocessors to nanostores: Rethinking data-centric systems. *IEEE Computer,* 44(01), 39-48.

Reddy, G. S., Srinivasu, R., Rikkula, S. R., & Rao, V. S. (2009). Management information system to help managers for providing decision making in an organization. *International Journal of Reviews in Computing*, 5(1), 1-6.

Rickerby D.G. & Morrison M. (2007). Nanotechnology and the environment: A European perspective. *Science and Technology of Advanced Materials*, 8(1): 19- 24.

Roco, M. and Bainbridge, W. S. (eds.), (2007). Nanotechnology, In: *Societal Implications* I, , pp. 82–83. Springer, Dordrecht.

Roco, M. C., (2004), Nanoscale Science and Engineering: Unifying and Transforming Tools, *American Institute of Chemical Engineers*,. 50 (5), 890-897.

Roco, M. C., and W. Bainbridge, (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science*, http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf, (12.06.2022).

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 11(5), 77-90.

Roszek, B., Jong, W.H.de. ve Geertsma, R.E. (2005). *Nanotechnology formedical applications: State-of the-art in materials and devices*, RIVM report 265001001. RIVM, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands.

Rueckes, T., Kim, K., Joselevich, E., Tseng, G. Y., Cheung, C.-L. and Lieber, C.M. (2000). Carbon nanotube based nonvolatile random access memory for molecular computing, *Science*, 289, 94–97.

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.

Ryoo, S., Rahmani, A. R., Yoon, K. Y., Prodanović, M., Kotsmar, C., Milner, T. E. & Huh, C. (2012). Theoretical and experimental investigation of the motion of multiphase fluids containing paramagnetic nanoparticles in porous media. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81, 129-144.

Salkın, C., Öner, M., Üstündağ, A. & Çecikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0, İçinde: A. Ustundag and E. Cevikcan, *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Springer Series in Advanced Manufacturing, (3-) Springer International Publishing Switzerland.

Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A.R. (2014). Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0, Robust Manufacturing Conference (RoMaC 2014), *Procedia CIRP* 19 51 – 56.

Shafiq, M., Anjum, S., Hano, C., Anjum, I., & Abbasi, B. H. (2020). An Overview of the Applications of Nanomaterials and Nanodevices in the Food Industry. *Foods*, 9(2), 148.

Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 607-617.

Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart factory implementation and process innovation: A preliminary maturity model for leveraging digitalization in manufacturing moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22–31.

Somendra, P., & Cheng, H. (1995). Strategic Information Systems Planning: A Review. Information Resources Management Association International Conference. Atlanta.

Soutter, W. (2012). *Nanotechnology in Aerospace Materials*, Editorial Feature, AZoNano Network, https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3103 (13.06.2022).

Stafford, S. P. (2009). Data, information, knowledge, and wisdom. Knowledge Management, Organizational Intelligence And Learning, And Complexity, 3, 179-187, *Encyclopedia of Life Support Systems*.

Stentoft, J., Olhager, J., Heikkilä, J., & Thoms, L. (2016). Manufacturing backshoring: a systematic literature review. Operations Management Research, 1-9.

Stock, T. & Seliger, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing- Decoupling Growth from Resource Use, *Procedia CIRP* 40 (2016) 536 – 541.

Syberfeldt A, Holm M, Danielsson O, Wang L, Brewster RL (2016) Support systems on the industrial shop-floors of the future—operators' perspective on augmented reality. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). *Procedia CIRP* 44, 108–113.

Taniguchi, N. (1974). On the basic concept of nanotechnology. *Proceeding of the ICPE. Proc. Intl Conf. Prod. Engng* Tokyo, Part II (Jap. Soc. Precision Engng)

Thames, L. & Schaefer, D. (2016). Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, *Procedia CIRP*, 52, 12–17.

Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. CIRP annals, 65(2), 737-760.

Tideman, M., Van der Voort, M.C., Van Houten, F.J.A.M. (2008) A new product design method based on virtual reality, gaming and scenarios. *Int J Interact Des Manuf (IJIDeM)* 2(4):195–205.

TÜSİAD. (2016). *Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olan sanayi 4.0*, Mart, 1-15. Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği.

UBS, (2016*). Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution*, January 2016 UBS White Paper for the World Economic Forum Annual Meeting 2016, https://www.ip-watch.org/weblog/wp-content/uploads/2017/09/ubs-vierte-industrielle-revolution-2016-01-21.pdf (21.05.2022).

Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0–a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.

Vijayakumar, R., Agarwal, R., Jagannathan, S., Gandhı, R., & Ranjıthkumar, R. (2013). Applications of Nanotechnology in Medicine: A View. *Nanotechnology* 7, 89-100.

Vijayakumar, R., Jagannathan, S., Rahul Gandhi, P. and Chaansha, D. (2011). Nanorobotics: A newer platform for molecular diagnose. *Nano Biomedicine and Engineering*. 3(3): 192–201.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Liu, C. (2018). Knowledge reasoning with semantic data for real-time data processing in smart factory. *Sensors*, 18(2), 471.

Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for Industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168.

Whitesides, G. M., & Love, J. (2007), The Art of Building Small, *Scientific American*, 17, 12-21.

Wong, H-SP. (2005). Beyond the conventional transistor. *SolidState Electron*. 49:755–762.

Xu, W. (2019). *Three-Dimensional Printing of Wood Derived Biopolymers Towards Biomedical Applications*. (Unpublished Ph.D. Thesis), Åbo Akademi University, Turku, Finland.

Yadav, R., Dixit, C. K., & Trivedi, S. K. (2019). Nanotechnology and Nano computing. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 5, 531-533.

Yattinahalli, S. S., Kapatkar, S. B., & Mathad, S. N. (2016). Review of Nanoscience Materials and its applications. *Research Journal of Engineering and Technology*, 7(3), 121-127.

Zelbst, P. J., Green, K. W., Sower, V. E. ve Reyes, P. M. (2012). Impact of RFID on manufacturing effectiveness and efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*. 32 (3) 329-350.

Zhang, D., Wan, J., Hsu, C. H. ve Rayes, A. (2016). Industrial technologies and applications for the Internet of things. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 101(C), 1–4

Zhong, R. Y., Newman, S. T., Huang, G. Q., & Lan, S. (2016). Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 572-591.

Zhou, K., Taigang, L. ve Lifeng, Z. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. Paper presented at 2015 *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery* (FSKD), Zhangjiajie, China, August 15–17.

Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129–138.