



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞLETME ANABİLİM DALI

**ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0
UYGULAMALARININ OLGUNLUK MODELİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ: DOĞANLAR MOBİLYA GRUBU
İMALAT SAN. VE TİCARET A.Ş. (DOĞTAŞ) ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

SELİN GÜREMEN

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. ERDAL AYDIN

ÇANAKKALE – 2025



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

**ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ
OLGUNLUK MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: DOĞANLAR MOBİLYA
GRUBU İMALAT SAN. VE TİCARET A.Ş. (DOĞTAŞ) ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

SELİN GÜREMEN

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. ERDAL AYDIN

ÇANAKKALE – 2025



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Selin GÜREMEN tarafından Doç. Dr. Erdal AYDIN yönetiminde hazırlanan ve 29/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Üretim İşletmelerinde Endüstri 4.0 Uygulamalarının Olgunluk Modeli ile Değerlendirilmesi: Doğanlar Mobilya Grubu İmalat San. ve Ticaret A.Ş. (Doğtaş) Örneği**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İşletme Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Erdal AYDIN
(Danışman)

Prof. Dr. Nazan YELKİKALAN

Prof. Dr. Meliha ENER

Doç. Dr. Yavuz Tansoy YILDIRIM

Doç. Dr. Selma KILIÇ KIRILMAZ

.....

.....

.....

.....

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 29/01/2025

.....

Prof.Dr.Melis ULU DOĞRU

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Selin GÜREMEN

29/01/2025

TEŞEKKÜR

Akademik ve idari çalışmalarının tüm yoğunluğuna rağmen bu tezin tamamlanabilmesi için değerli desteklerini ve zamanını esirgemedi den harcayan, tecrübeleri ve bilgisi ile ufku mu açan değerli danışmanım Doç. Dr. Erdal AYDIN hocama, hem yüksek lisans hem de doktora öğrenimim boyunca bilgi birikimi ve tecrübeleriyle ilham kaynağı olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Nazan YELKİKALAN'a ve doktora tez aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Meliha ENER, Doç. Dr. Sena Erden AYHÜN'e ve Doğanlar Holding Yönetim Kurulu Üyesi sayın Şadan DOĞAN'a en içten duygularım la teşekkür ediyorum. Akademik yolculuğum boyunca yakın destekleri ve bilgileriyle kariyerime önemli katkı lar sağlayan hocalarıma, sabırla ve desteklerini esirgemedi den sunan sosyal bilimler yönetimi ve personeline, ayrıca kendimi bildim bileli desteğini her an yanımda hissettiğim kıymetli anneme ve varlıklarıyla hayatımı anlamlı kılan evlatlarım Altan ve Balkan'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Selin GÜREMEN

Çanakkale, Ocak 2025

ÖZET

ÜRETİM İŞLETMELERİNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ OLGUNLUK MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: DOĞANLAR MOBİLYA GRUBU İMALAT SAN. VE TİCARET A.Ş. (DOĞTAŞ) ÖRNEĞİ

Selin GÜREMEN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Erdal AYDIN

29/01/2025, 127

Endüstri 4.0 uygulamalarının üretim işletmelerindeki olgunluk düzeyini değerlendirmek oldukça önemli bir konudur. Endüstri 4.0, otomasyon, veri değişimi, yapay zekâ ve diğer dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu tür bir değerlendirme, bir işletmenin Endüstri 4.0'ı ne ölçüde benimsediğini ve bu teknolojilerin işletme performansına etkisini anlamak açısından önemlidir. Olgunluk modelleri, işletmenin Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme sürecini belirlemek için bir çerçeve sağlamaktadır. Olgunluk modelleri, işletmenin mevcut durumunu değerlendirirken, gelecekteki gelişim potansiyelini de belirlemede önemli bir göstergedir.

Bu kapsamda örneklem olarak mobilya sektöründe faaliyet gösteren öncü bir şirket olan Doğtaş Mobilya Grubu seçilmiştir. Doğanlar Mobilya Grubu, Endüstri 4.0'ın ilk aşamalarından itibaren teknolojiye yatırım yapmaya ve üretim Süreçlerini dijitalleştirmeye önem vermiş bir işletmedir. Çalışma ile amaçlanan; Doğanlar Mobilya Grubu'nun Endüstri 4.0'ı ne kadar etkin kullandığını değerlendirmek ve Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini ortaya koymaktır. Bu Amaçla, çalışmaya konu edilen Doğanlar Mobilya Grubu İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Doğtaş) işletmesinin orta ve üst düzey yöneticileriyle yarı yapılandırılmış mülakat tekniği gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Maxqda 2024 Nitel Veri Analiz programı yardımıyla analiz edilerek işletmenin, belirlenen beş endüstri 4.0 olgunluk seviyesinden 3. seviye ile 4. seviye arasında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm, Üretim İşletmeleri, Olgunluk Modelleri



ABSTRACT

EVALUATION OF INDUSTRY 4.0 IMPLEMENTATIONS IN MANUFACTURING BUSINESSES USING MATURITY MODEL: THE CASE OF DOĞANLAR FURNITURE GROUP MANUFACTURING INDUSTRY AND TRADE COMPANY

Selin GÜREMEN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation Department of Business Administration

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Erdal AYDIN

01/29/2025, 127

Evaluating the maturity level of Industry 4.0 applications in production enterprises is a very important issue. Industry 4.0 refers to the integration of automation, data exchange, artificial intelligence and other digital technologies into production processes. This type of assessment is important to understand the extent to which a business has adopted Industry 4.0 and the impact of these technologies on business performance. Maturity models provide a framework for determining the process by which a business adopts Industry 4.0 technologies. Maturity models are an important indicator in evaluating the current status of the business while also determining its future development potential.

In this context, Doğtaş Furniture Group, a leading company operating in the furniture industry, was chosen as a sample. Doğanlar Furniture Group is a business that has given importance to investing in technology and digitalizing its production processes since the early stages of Industry 4.0. The aim of the study is to evaluate how effectively Doğanlar Furniture Group uses Industry 4.0 and to reveal its Industry 4.0 Maturity level. For this purpose a semi structured interview was conducted over middle and senior managers of Doğanlar Furniture Group Production, Industry and Trade Company. The data obtained was analyzed with the help of Maxqda 2024 Qualitative Data Analysis program and it was determined that the business was between level 3 and level 4 of the five industry 4.0 maturity levels.

Keywords: Industry 4.0, Digital Transformation, Manufacturing Enterprises, Maturity Model



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI	i
ETİK BEYAN	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ	1
-------	---

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİYEL DEVRİMLER VE ENDÜSTRİ 4.0	3
2.1. Endüstri Devrimleri	3
2.1.1. Birinci Endüstri Devrimi	7
2.1.2. İkinci Endüstri Devrimi	8
2.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi	9
2.1.4. Dördüncü Endüstri Devrimi	11
2.2. Endüstri 4.0 Kavramı ve Bileşenleri	12
2.2.1. Endüstri 4.0 Kavramı	12
2.2.2. Endüstri 4.0 Kavramının Bileşenleri	16
Siber Fiziksel Sistemler (CPS)	16

Nesnelerin İnterneti (IoT)	18
Bulut Bilişim.....	19
Artırılmış Gerçeklik (AR).....	21
Yatay ve Dikey Entegrasyon.....	22
Akıllı Robotlar	24
Büyük Veri (BD).....	25
Siber Güvenlik	27
Eklemeli Üretim.....	28
Simülasyon.....	29
2.2.3. Dünyada Endüstri 4.0	30
2.2.4. Türkiye’de Endüstri 4.0	34
2.3. Endüstri 4.0’ın Üretim Süreçlerine Yansımaları	36
2.3.1. Esnek Üretim Sistemleri.....	36
2.3.2. Toplam Kalite Yönetimi.....	38
2.3.3. Yalın Üretim.....	40
2.3.4. Süreç Odaklı Üretim.....	41
2.3.5. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	42
2.3.6. Altı Sigma.....	43
2.3.7. Bilgisayarla Bütünleşik Üretim	45

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 46

3.1. Endüstri 4. 0 Olgunluk Modelleri.....	47
3.1.1 Impuls Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli	53
3.1.2 Endüstri 4.0 / Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme	54
3.1.3 Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli.....	55

3.1.4 İmalat İşletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli	56
3.1.5 Endüstri 4.0 için Güçlendirilmiş Bir Uygulama Stratejisi.....	57
3.1.6 Savunma Sektörüne Yönelik Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli.....	57
3.1.7. Endüstri 4.0 Hazırlık Değerlendirme Modeli.....	58
3.1.8. SPICE tabanlı Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli	58
3.1.9 Endüstri 4.0 Olgunlaşma Endeksi	59
3.1.10 TÜBİTAK Dijital Olgunluk Modeli.....	60
3.1.11 SIMMI 4.0	61
3.1.12 Endüstri 4.0'ın Uygulanmasını Değerlendirmesinde Yeni Bir Olgunluk Model	62
3.2. Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	62

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM	66
-----------------------------------	----

4.1. Gereç ve Yöntem	66
4.1.1. Araştırmanın Amacı	66
4.1.2. Araştırmanın Önemi	66
4.1.3. Araştırmanın Örneklemi	67
4.1.4. Araştırmanın Yöntemi	67
4.1.5. Verilerin Elde Edilmesi	69
4.1.6. Verilerin Analizi	70
4.1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları	70

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI	71
---------------------	----

5.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri	71
--	----

5.2. Analiz Bulguları	72
-----------------------------	----

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER	107
-------------------------	-----

6.1. Sonuç ve Öneriler	107
------------------------------	-----

KAYNAKÇA	116
----------------	-----

EKLER	I
-------------	---

EK 1. BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ	II
---	----

EK 2. GÖRÜŞME SORULARI	III
------------------------------	-----

ÖZGEÇMİŞ.....	IX
---------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

3D	3 Boyutlu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AI	Yapay Zekâ (Artificial Intelligence)
AR	Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMMI	Capability Maturity Model Integration
COBOT	İşbirlikçi Robot
CPS	Cyber-Physical Systems- Siber Fiziksel Sistemler
DMAİC	Define, Measure, Analyze, İmprove, Control
EBSO	Ekonomik ve Bilimsel Stratejiler Ofisi
ERP	Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlaması)
I4.0	Endüstri 4.0
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
IoS	Internet of Services (Hizmetlerin İnterneti)
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
MES	Manufacturing Execution System (Üretim Yönetim Sistemi)
MM	Maturity Models (Olgunluk Modelleri)
M2M	Machine To Machine (Makineden Makineye)
NFC	Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)
PwC	PricewaterhouseCoopers
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
SIMMI 4.0	System Integration Maturity Model Industry 4.0
SPICE	Software Process Improvement And Capability Determination
TKY	Toplam Kalite Yönetimi

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Üretim Yönetimi'nin tarihsel gelişimi	5
Tablo 2	Endüstri devrimlerinin tarihçesi	9
Tablo 3	Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri, İçerikleri, Boyutları ve Olgunluk Seviyeleri	51
Tablo 4	İmpuls Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli 'ne ait Boyutlar ve İlişkili Alanlar	53
Tablo 5	Endüstri 4.0 Olgunluk Modelinin boyutları ve olgunluk maddeleri	56
Tablo 6	Makale çalışmaları	63
Tablo 7	Katılımcılara Ait Bilgiler	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Araştırma Tasarımı	69
Şekil 2	Endüstri 4.0 uygulamalarını değerlendirmeye yönelik olgunluk modeli boyutları	72
Şekil 3	Strateji koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	73
Şekil 4	Strateji (Yeni teknolojilere uyum) Koduna Ait Görsel Harita	73
Şekil 5	Strateji (Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı) Koduna Ait Görsel Harita	75
Şekil 6	Süreçler koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	76
Şekil 7	Süreçler (Faaliyetlerin izlenmesi) Koduna Ait Görsel Harita	76
Şekil 8	Süreçler (Disiplinlerarası/Departmanlar arası iş birliği) Koduna Ait Görsel Harita	77
Şekil 9	Teknoloji koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	78
Şekil 10	Teknoloji (Teknoloji yatırımları) Koduna Ait Görsel Harita	78
Şekil 11	Teknoloji (Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı) Koduna Ait Görsel Harita	79
Şekil 12	Müşteri koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	80
Şekil 13	Müşteri (Müşterilerle iletişim/geribildirim) Koduna Ait Görsel Harita	81
Şekil 14	Müşteri (Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi) Koduna Ait Görsel Harita	82

Şekil 15	Yönetim koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	83
Şekil 16	Yönetim (Üst yönetim kaynak tedariki) Koduna ait Görsel Harita	83
Şekil 17	Yönetim (Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma) Koduna ait Görsel Harita	84
Şekil 18	Yönetim (Endüstri 4.0 yönetim birimi) Koduna ait Görsel Harita	85
Şekil 19	İş gücü koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	85
Şekil 20	İş gücü (İşletmenin çalışanlara teşviği) Koduna ait Görsel Harita	86
Şekil 21	İş gücü (Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı) Koduna ait Görsel Harita	87
Şekil 22	İş gücü (Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojisi yetkinliği) Koduna ait Görsel Harita	87
Şekil 23	Ürünler koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	88
Şekil 24	Ürünler (Ürünlerin dijitalleştirilmesi) Koduna ait Görsel Harita	89
Şekil 25	Liderlik koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	90
Şekil 26	Liderlik (Etkin liderlik modeli varlığı) Koduna ait Görsel Harita	90
Şekil 27	Liderlik (Yönetim yeterlilikleri) Koduna ait Görsel Harita	91
Şekil 28	Kültür koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	91
Şekil 29	Kültür (Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi) Koduna ait Görsel Harita	92
Şekil 30	Kültür (Değişimi destekleyen uygulamalar) Koduna ait Görsel Harita	93
Şekil 31	İnovasyon koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	94

Şekil 32	İnovasyon (İnovasyon açısından motive eden uygulamalar) Koduna ait Görsel Harita	94
Şekil 33	İnovasyon (İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü) Koduna ait Görsel Harita	95
Şekil 34	Akıllı üretim koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	96
Şekil 35	Akıllı üretim (Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti) Koduna ait Görsel Harita	96
Şekil 36	Akıllı üretim (Akıllı üretim sistemleri) Koduna ait Görsel Harita	97
Şekil 37	Akıllı üretim (Makineler arası iletişim) Koduna ait Görsel Harita	98
Şekil 38	Ar-Ge koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	98
Şekil 39	Ar-Ge (Üst yönetimin değişimci bakış açısı) Koduna ait Görsel Harita	99
Şekil 40	Ar-Ge (Özgün ürünler tasarlama kültürü) Koduna ait Görsel Harita	100
Şekil 41	Yapay zekâ koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli	101
Şekil 42	Yapay zekâ (Yapay zekâ teknolojisi kullanımı) Koduna ait Görsel Harita	101
Şekil 43	Kod Matrisi Tarayıcısı	102
Şekil 44	Kod İlişkileri Haritası	103
Şekil 45	Kod Birlikte Oluşma Modeli	105
Şekil 46	Kelime Bulutu	106

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bu dijital dönüşüm, üretim işletmelerinin rekabet gücünü, verimliliği artırmak ve inovasyonu teşvik etmek adına kilit bir rol oynamaktadır. Endüstri 4.0'ın temelinde, üretim süreçlerini dijital teknolojilerle entegre ederek daha akıllı ve esnek üretim sistemleri oluşturmak yatmaktadır. Bu kapsamda, sensörler, yapay zekâ, otomasyon, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler üretim işletmelerinde yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir.

İşletmelerin Endüstri 4.0 uygulamalarına geçişi bir dizi kolaylığı da beraberinde getirmektedir. Bu kolaylıklar; üretim sistemlerinin daha esnek olması, müşteri taleplerine verilen yanıtların hızı ve pazara daha hızlı uyum sağlayabilme şeklinde sıralanabilir. Ayrıca otomasyon ve robotik uygulamaları sayesinde iş güvenliği geliştirilirken, büyük veri analitiği ve yapay zekâ ile verimlilik artırılmakta ve ürün geliştirme süreçleri iyileştirilmektedir.

Endüstri 4.0 uygulamalarının önemi konusunda hemfikir olan uzmanlar, bu dijital dönüşümün işletmeler için vazgeçilmez olduğunu vurgulamaktadır. İşletmelerin rekabetçi kalabilmek ve sürdürülebilir büyüme sağlayabilmeleri için Endüstri 4.0 uygulamalarını benimsemeleri ve bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanmaları gerektiği belirtilmektedir.

Günümüzde Türkiye'deki birçok üretim işletmesi Endüstri 4.0 uygulamalarını benimseyerek bu teknolojileri işletmelerine entegre etmeye başlamıştır. Endüstri 4.0'ın getirdiği fırsatları en iyi şekilde değerlendirebilmek için, işletmelerin bu teknolojilere yatırım yapması ve çalışanlarını bu konuda eğitmeye odaklanması gerekmektedir.

Endüstri 4.0, günümüzde üretim işletmeleri için dönüşümün merkezinde yer alan bir teknoloji bütünü haline gelmiştir. Bu dönüşüm, dijitalleşme, otomasyon, veri analitiği ve yapay zekâ gibi teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Endüstri 4.0, gelişen teknolojiyle birlikte üretim süreçlerinde dijitalleşme, otomasyon ve veri odaklı karar verme gibi dönüşümleri ifade eden bir kavramdır. Bu makalede, Türkiye'nin önde gelen mobilya üreticilerinden biri olan Doğanlar Mobilya Grubu İmalat Sanayi ve Ticaret

A.Ş. (DOĞTAŞ) örneği üzerinden Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile nasıl değeriendirilebileceği incelenecektir.



İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİYEL DEVRİMLER VE ENDÜSTRİ 4.0

Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0, insanlık tarihindeki önemli dönüm noktalarını temsil eden ve endüstriyel ve ekonomik yapıları kökünden değiştiren süreçlerdir. Endüstri Devrimleri, insanlığın tarımsal toplum yapısından endüstriyel bir yapıya geçişini ifade ederken, Endüstri 4.0 ise dijital teknolojilerin ve akıllı üretim sistemlerinin gelişimiyle birlikte yeni bir döneme işaret etmektedir. Her iki dönem de üretim süreçlerini, iletişimi ve toplumsal yapıları derinlemesine etkileyerek, ekonomi, toplum ve kültür üzerinde önemli değişimlere neden olmuştur. Bu makalede, Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0'ın genel özellikleri, etkinliği ve farkları incelenecek ve günümüz endüstriyel peyzajının nasıl şekillendiğini anlamak için bir çerçeve sunulacaktır.

2.1. Endüstri Devrimleri

İmalatın önemli olduğu endüstri çağları 20. ve 21. Yüzyıllarda varlık göstermekte ve Endüstri 1.0, 2.0, 3.0 ve halen içinde bulunduğumuz Endüstri 4.0 olarak isimlendirilmektedir. On sekizinci yüzyıl ile on dokuzuncu yüzyıl arasında varlık gösteren Endüstri 1.0, tarım toplumundan endüstriyel topluma geçiş sürecini başlatmıştır. Endüstri 1.0'da endüstriyel ürünlere olan talep, yalnızca ürün hacmi boyutunda olduğundan bu talep ortamı Basit Pazar olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 1.0'da arzların taleplerden daha az olması, endüstriyel ürünlerin toplumun taleplerini karşılayamamasına neden olmaktaydı. Ayrıca, çoğunlukla tarıma dayalı olan ve sayıca az olan ürün çeşitliliği de arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu arttırmaktaydı. İşte o dönemde Adam Smith'in "Wealth of Nations" yayınından gelen fiyat ayarlaması fikri arz-talep arasındaki dengesizliği gidermek için doğru bir yöntem olarak kabul görmüştür (Yin vd., 2018: 848-849). Adam Smith işgücünde uzmanlaşmanın önemini fark ederek, işlerin alt görevlere bölünmesini önermiş ve işçileri, becerilerine göre yüksek verimlilik sağlayacak uzmanlaşmış görevlere ayırmıştır (Kumar ve Suresh, 2006: 1-3).

1800'lü yılların sonundan 1980'lere kadar olan zaman dilimini kapsayan Endüstri 2.0 döneminde endüstriyel ürünler hem üretim hem de çeşitlilik bakımından hızla gelişim göstermiştir. En temel yenilikler elektrik, elektronik, mekanik cihazlar ve beraberinde

otomotiv teknolojisi olarak kabul edilmektedir. Endüstri 2.0 döneminde ayrıca, Frederick Taylor'a ait olan ve modern yönetim teorisi üzerine yazılmış ilk yayın “Bilimsel Yönetim İlkesi” de yer almaktadır. Endüstri 2.0, hacim ve çeşitlilik olmak üzere ürünlere ait olan talebin iki boyutuna sahip hale gelmiştir. Bu talep ortamı İstikrarlı Pazar olarak tanımlanmaktadır. Yine bu dönemde Henry Ford ve Taiichi Ohno, Taylor'ın teorisini uygulayıp geliştirmişlerdir. Ford ürün hacimlerindeki arz eksikliğini, seri üretim montaj hatlarını geliştirerek gidermiştir. Ohno ise, yalının öncüsü olan Toyota üretim sistemine (TPS) öncülük etmiş ve ürün çeşitliliğiyle müşteri taleplerini karşılamayı amaçlamıştır. Endüstri 3.0 döneminde özellikle, analogdan dijitale geçiş gibi elektronik endüstrisinde büyük etki yaratan teknolojik yeniliklerden söz edilmektedir. Bu dönemde ürünlere olan talep; hacim, çeşitlilik ve teslim süresi olmak üzere üç boyuta yükselmiştir. Bu talep ortamı Dalgalı Piyasa olarak adlandırılmıştır. Halen içinde bulunduğumuz Endüstri 4.0 ise, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, elektrikli araçlar (EV), 3D baskı, bulut bilişim, yapay zekâ ve siber-fiziksel sistemler gibi pek çok teknolojik yenilikleri barındıran bir dönem olarak kabul edilmektedir. Endüstri 4.0 ülkelerin, endüstrilerin ve araştırmacıların ilgisini çekmiş ve gelecek yıllarda da dikkat çekmeye devam edecektir (Yin vd., 2018: 848-849).

Üretim sistemleri, pazar ortamının değişimine ve değişen müşteri ihtiyaçlarına çabuk yanıt verebilmek için daha dinamik bir ortama evrilmektedir. Önceki yıllarda ticari faaliyetlerin her alanıyla ilgilenmek isteyen işletmeler, günümüzde yalnızca temel yetkinliklere odaklanarak diğer işletmelerin tamamlayıcı uzmanlıklarından ve kaynaklarından yararlanmak istemektedirler. Bu bağlamda işletmelerin, giderek sertleşen uluslararası rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için tedarik zincirinin dikey (tedarikçiler, üreticiler, depolar ve perakendeciler arasında) ve rakipler arasında yatay olarak iş birliği yapmaları zorunlu hale gelmiştir. Farklı dokulardaki işletmelerin birlikteliği internet ve akıllı etmenlerle sağlanacaktır (Hao vd., 2005: 71).

İki yüzyılı aşkın bir süre içerisinde üretim yönetiminin bir ülkenin ekonomik gelişimi açısından önemli bir dinamik haline geldiği görülmektedir. Aşağıda Tablo 1’de üretim yönetimine katkı sağlayanlar yer almaktadır (Kumar ve Suresh, 2006: 1-3; Barutçu, 2019: 41):

Tablo 1

Üretim Yönetimi'nin Tarihsel Gelişimi

Tarih	Olay	Katkı Sağlayan
1776	İmalatta emeğin uzmanlaşması	Adam Smith
1799	Değişebilen parçalar, tüm girdilerin hesaplaması	Eli Whitney ve Diğerleri
1832	Beceriye göre işlerin atanması	Charles Babbage
1911	Bilimsel Yönetim	Frederick W. Taylor
1913	İlk hareketli üretim bantlarının kullanımı	Henry Ford
1913	Faaliyetin programlaştırılması	Henry Gantt
1927	İnsan psikolojisi; Hawthorne çalışmaları	Elton Mayo
1931	İstatistiksel çıkarımlar ve Kalite kontrol çizelgeleri	Walter Shewhart
1934	İş Örneklemesi	F.W. Tippet
1946	Dijital Bilgisayar	John Mauchly ve J.P. Eckert
1947	Lineer Programlama	G.B. Dantzig, Williams ve diğerleri
1951	Stok hesaplamaları	Ford Dickey
1951	Dijital bilgisayarın ticarileşmesi	Sperry Univac
1954	Bilgisayarların işletmecilikte kullanımı	General Electrics
1957	Kalite yönetimi	Juran
1950-1960	Sayısal denetimli tezgâhlar; kodlamalar, yazılımlar, simülasyonlar	ABD ve Birleşik Krallık Araştırmacıları

Tablo 1'in devamı		
1960	Envanter İhtiyaç Planlamasının kullanımı	Joseph Orlicky ve Oliver Wight
1961	Sistem yaklaşımı (yönetim)	Jay Foster
1970	Just in Time Modeli	Toyota
1970	İşletme yönetimi içerisinde üretim yönetiminin önemi	Wickham Skinner ve Harward Business School Araştırmaları
1980	Japonya'dan kalite ve üretkenlik uygulamaları: W.E. Deming ve robotik, CAD-CAM	W.E. Deming and robotics, CAD-CAM J. Juran.
1980'ler	Robotikleşme, CAM, Esnek Üretim sistemleri gibi benzer otomasyon sistemleri	Genel
1980	Benchmarking yaklaşımı	Xerox
1990'lar	ISO 9000 standartları sayesinde kalitenin belgelenmesi	ISO
1990'lar	İnternetin kullanımı, Elektronikleşme, Yalın üretim	Netscape, Microsoft ve ABD Devleti
2000'ler	Üretimde uzaktan kontrol	-
2010'lar	Teknoloji alanında son yenilikler; Nesnelerin İnterneti, Siber Fiziksel Sistemler, Robotlar, Akıllı Fabrikalar	Almanya (Lider), ABD ve Avrupa Ülkeleri

Günümüzde işletmeler üretim fonksiyonları bakımından teknolojiye geçmişe nazaran daha fazla ihtiyaç duymaktadırlar. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) gibi teknolojilerle hesaplamalar daha hassas yapılmaktadır. Ayrıca hata payının minimuma indirilmesi ve daha güvenilir olması gibi sebeplerle bu teknolojiler

üretimde yerlerini almaktadır. Endüstri 4.0'a ait uygulamalardan Nesnelerin interneti ve Siber Fiziksel Sistemler, üretim alanında bulunmadan da üretimi mümkün kılmakta ve üretim süreçlerinin kontrolünü sağlamaktadır (Barutçu, 2019: 42).

2.1.1. Birinci Endüstri Devrimi

Küçük ölçekli atölyelerin büyük ölçekli üretim yapan endüstriyel atölyelere dönüşme süreci yaklaşık olarak 18. yüzyılın sonlarından başlamış ve 19. yüzyılın ortalarına kadar devam etmiştir. I. Endüstri Devrimi olarak adlandırılan bu süreç; küçük atölyelerde çalışan küçük zanaatkarlara göre daha seri ve etkin bir şekilde üretimin gerçekleşmesine imkân tanıyan teknolojik değişim ve gelişmeler olarak tanımlanmaktadır (Kılıç, Alkan, 2018: 30).

18. yüzyılın başlarına kadar ekonominin temeli tarıma dayalı olduğundan bu zamanlarda Çin ve Hindistan o dönemde en güçlü ülkeler olarak kabul edilmiştir. Aynı dönemde Avrupa ise nispeten daha fakirdir. Ancak İngiltere'nin kömürü enerji kaynağı olarak endüstride kullanmaya başlamasıyla durum değişmiştir (Peker, Arslanoğlu, 2018: 123).

1784 yılında İngiltere'de James Watt'ın buhar makinesini keşfetmesi ve patentini almasıyla; o dönemin en göze çarpan hammadde kömürün daha derinlerden daha ucuza çıkartılması sağlanarak imalat sanayiinin gelişiminin yanında hizmet sektöründe ve ziraat alanında üretimde de artış gözlemlenmiştir. Böylece, mekanik güç için kullanılan bedensel gücün, su ve rüzgâr gücünün yerini kömür ve buhar gücü almıştır. Buhar makinesinin lokomotiflerde kullanılması ve buharlı gemilerin yaygınlaşması ile artan üretim kıtalar arası alışverişi mümkün kılmıştır. Ayrıca iplik ve dokuma fabrikaları, bira imalathaneleri, un değirmenleri ve kâğıt fabrikalarına enerji temin edilerek farklı endüstri alanlarında büyük ölçekli işletmeler kurulması sağlanmıştır. I. Endüstri Devriminin sonlarına doğru tüm bu gelişmeler İngiltere içinde yaygın hale gelirken, farklı ülkeler için de yeni başlangıçlar anlamına gelmektedir (Başer, 2011: 138).

Kömürden sonra çelik ve demirin de işlenmesiyle demir yolları ve tren işletmeciliği sektörleri gelişmiştir. Ağır sanayinin de gelişmesiyle daha sağlam ürünler üretilmeye başlanmıştır. Bu gelişime paralel olarak, ulaşım sorununu çözmek ve iyileştirmeler yapmak

için Avrupa, özellikle 17. yüzyılın sonlarına doğru tam anlamıyla bir şantiyeye dönüşmüştür. Bu süreçte, ekonomik gelişmenin artık kontrol edilemeyecek seviyeye gelmesinden dolayı hayatlarını devam ettirebilmek ve mücadele edebilmek için birleşme yoluna giden küçük aile şirketleri yerini gl fabrikalara bırakmıştır (Arslan ve Demirağ, 2017: 5).

Üretimdeki bu olumlu gelişmeler, sosyoekonomik yapıyı etkileyerek nüfusun artmasına ve ortalama hayatta kalma süresinin uzamasına neden olmuştur. Böylece I. Endüstri Devrimi tarihte, dünyanın daha küçük ve birbiriyle bağlantı kurulmasını sağlayan ilk ve kritik dönemlerden biri olarak kabul edilmiştir (Taş, 2018: 1821).

2.1.2. İkinci Endüstri Devrimi

I. Sanayi Devrimi'nde üretim mekanikleştirilmesiyle birlikte II. Sanayi Devrimi'nin de temelleri atılmıştır. Bu süreçte İngiltere'nin öncülük ettiği bilgi ve know-how'ın diğer ülkeleri de etkilemesiyle yeni bir teknoloji devri başlamıştır (Genç, 2018: 237). Böylece, 1870'li yıllarda başlayan II. Sanayi Devrimi, elektrik enerjisinin tanınması, kullanılması ve seri üretim hatlarının uygulamaya koyulması gibi teknolojik gelişmelerle 20 yy. başlarına kadar sürmüştür (Sağbaş, Gülseren, 2019: 2). II. Sanayi Devrimi'nin en belirgin özelliklerinden biri; demiryollarının geliştirilerek daha uzak pazarla ulaşılması ve beraberinde hammadde tedariğinin daha kolay sağlanmasıdır (Pamuk ve Soysal, 2018: 2).

Bu dönemde, elektrik teknolojisinin bulunması, doğru akım motorlarının üretilmesi, elektrikli alet kullanımının yaygınlaşması gibi pek çok gelişmenin yanında telgraf ve telefon da bu dönemde icat edilmiştir. Ayrıca petrol sondajı, ilk içten yanmalı motorların üretilmesi ve benzinle çalışan otomobiller de insan hayatına girmiştir (Peker, Arslanoğlu, 2018: 124). Elektrik enerjisinin buhar gücü yerine fabrikalarda kullanımı, enerji kaynağı olarak petrolün kömürün yerini alması, demirin yerine elik üretiminin gelişmesi, seri üretim ve üretim bandı teknolojisi II. Sanayi Devrimi'nin ne çıkan özellikleri olarak sayılabilir (Genç, 2018: 238).

II. Sanayi Devrimi, elektrik enerjisiyle iş bölümüne dayalı seri üretim uygulandığı bir dönem olarak kabul edilmektedir. Teknoloji Devrimi de denmektedir. İlk olarak 1870 yılında Amerika'da mezbahalarda oluşturulan seri transport bantları ile başlanmış

sonrasında ise Ford T seri üretim bandı sayesinde hem üretim arttırılmış hem de maliyetler düşürülmüştür (Derya, 2018: 2)

Bu dönemde, 1913'te Henry Ford'un kullanmış olduğu üretim bandı teknolojisinin üretimdeki verimliliği arttırmasıyla, bu teknik diğer sektörlerle de yansımış ve geniş kullanım alanı bulmuştur (Bulut, Akçacı, 2017: 52). Henry Ford'un seri üretiminin otomobil üretiminde uygulamasıyla otomobil kullanımı dünyada yaygın hale getirmiştir. Seri üretim sonucunda otomobil fiyatlarının düşmesi ile Amerika'da esnek üretime başlanmıştır. Seri üretimin sağladığı verimlilik artışı ile ücretler artmış, orta sınıf doğmuş ve sonucunda da refah düzeyi yükselmiştir (Genç, 2018: 238). Ayrıca, artan refah talebini karşılaması ve çıkması muhtemel toplumsal gerilimlerin giderilmesi amacıyla sendikalar toplum içerisinde çok daha önemli roller üstlenmişlerdir (Derya, 2018: 2).

Bütün bu gelişeler sonucunda, şehirler hızla büyümeye başlamış, gelişmiş ülkelerde ailelerin hayat biçimleri büyük oranda değişikliğe uğramıştır. Ekonomik alanda yeni ve zengin devletler kurulmuştur. I. Sanayi Devrimi'nde İngiltere'de başlayan ve sonrasında Avrupa kıtasında etkisini gösteren endüstrileşme, II. Sanayi Devrimi ile başka kıtalarda ABD'de ve Japonya'da da uygulanarak hızla etkisini göstermiştir (Taş, 2018: 1821).

2.1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi

III. Endüstri Devrimi süreci 20. yüzyılın sonlarına doğru özellikle ABD ve Doğu Asya'nın öncülüğünde bilgi, iletişim teknolojileri, biyoteknoloji, nanoteknoloji, yarı iletken teknolojilerindeki yeniliklerle varlık göstermiştir (Akben ve Avşar, 2018: 27).

Tablo 2

Endüstri Devrimlerinin Tarihçesi

	1.Endüstri Devrimi	2.Endüstri Devrimi	3.Endüstri Devrimi
Yaklaşık Tarih	1750-1815	1870-1914	1973-
Yer	Birleşik Krallık	Almanya, ABD	ABD, Doğu Asya
Teknoloji	Makine	Kimya	Bilgi ve iletişim tekn, Biyoteknoloji

Tablo 2'nin devamı			
Enerji	Su, Buhar, Kömür	Elektrik, petrol	Nükleer ve temiz enerji kaynakları
Malzeme	Demir Çelik,	Plastik, Silikon	Silikon, akıllı malzeme
Otomasyon	Dönüşüm	Transfer	Kontrol
Süreç cinsi	Emek	Sermaye	Bilgi
Şirket hacmi	Küçük	Büyük	Küçük ve büyük
Avantajları	Uzmanlık	İç bütünleşme	Dış bütünleşme
Şirket tipi	Girişimci	Çok ortaklı	Ağ
Endüstri Yapısı	Rekabetçi	Oligopolistik	Karma
Sermaye Cinsi	Kişisel	İdari	Çok ortaklı
Yönetim Biçimi	Market	Aşamalı sistem	Ağ

(Tunzelmann, 2003)

III. ve IV. Sanayi Devri dönemi, genellikle II. Sanayi Devrimi'nin ikinci yarısı olarak kabul edilir (Arslan ve Demirağ, 2017: 6). 1970'li yıllardan itibaren elektronik ve bilgi teknolojilerinden faydalanılmak suretiyle üretimde otomasyonun sağlanmasıyla III. Sanayi Devrimi süreci resmen başlamıştır. Dijitalizasyonun gelişimi ve bilgi teknolojileri en önemli gelişim unsurlarıdır. Bilgi, üretimi gerçekleştirmek için bir araya getirilmesi gereken üretim faktörlerinden biri olarak sayılmaya başlamıştır. Özellikle elektronik ve beyaz eşya sektöründeki büyük gelişmeler bu dönemde gerçekleşmiştir. 1980'li yıllar işletmelerin işgücü yapısındaki değişiklikler açısından insan kaynağının önem kazandığı yıllardır. 1980'li yıllardan itibaren emek yoğun iş gücünü temsil eden mavi yakalı çalışanlardan daha çok zihinsel emeğin önemli olduğu beyaz yaka çalışanlara doğru bir eğilim yaşanmıştır. Bu durum da yönetilmeleri, motivasyonlarının sağlanması vb. konular açısından beyaz yakalıların mavi yakalıları göre farklılaştığı gerçeğini karşımıza çıkarmaktadır (Aydın ve Demiral, 2019: 1979).

Bilgisayarlar ve bilişim teknolojileri, bu dönemin en önemli gelişmeleri olarak kabul edilirler. Amerikan ordusu tarafından üretilen ilk bilgisayarlar, veri depolama, iletişim ve kriptolama amacıyla üretilmişlerdir ve geliştirilen pek çok özelliğiyle 50 yılda tüm dünya geneline yayılmıştır. Bilişim teknolojileriyle ortaya çıkan bilgisayar

programcılığı ve kodlama sayesinde hem üretimler otomasyona dökülmüş hem de tıp, ziraat ve kimya gibi doğa bilimlerinde gelişmeler yaşanmıştır. Ayrıca orta çağda yaşanan veba, cüzzam gibi hastalıkların tedavisinin bulunması, tarımdaki yöntemlerin gelişmesiyle verimin ciddi oranda artması gibi pek çok gelişme bilişim teknolojilerinin bu dönemde hayatımıza girmesiyle yaşanmıştır. Ayrıca yine bu dönemde yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, termik ve nükleer gibi enerji kavramlarıyla tanışılmış ve günümüzde bu enerji türleriyle elektrik üretimi devam etmektedir (Arslan ve Demirağ, 2017: 7).

2.1.4. Dördüncü Endüstri Devrimi

Sanayi Devrimi'nin başlamasından bu yana, teknolojik gelişmeler sayesinde endüstriyel üretimde ciddi anlamda artışlar sağlanmıştır. 19. Yy.'da buhar motoruyla çalışan fabrikalardan sonra 20. Yy. başlarında elektrik enerjisinin bulunmasıyla seri üretim yaygınlaşmış ve 1970'lerde sanayi otomasyonla tanışmıştır (Rüßmann vd., 2015: 1).

2000'li yıllarda ise bilgisayar ve internet teknolojilerinin entegrasyonu ile bedensel güce olan ihtiyaç hemen hemen tamamen ortadan kalkmıştır. Bu dönem 4. Sanayi devrimi ya da Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır. “Nesnelerin İnterneti” adı verilen yeni sistem sayesinde makineler birbirlerini ve üretim süreçlerini yalnız başlarına yöneterek günümüzde donanımlı insanların bile yapamayacağı işler bilgisayar teknolojileri ile yaptırılabilir hale gelmiştir (Taş, 2018: 1823). Endüstri 4.0 kavramı, karmaşık makine ve cihazların, hayata ait konuların tahmin, kontrol ve planlama alanlarında daha iyi sonuçlar elde edebilmek için sisteme ait sensörler ve yazılımlar entegrasyonu olarak da tanımlanmaktadır (Yıldız, 2018: 548).

Endüstri 4.0, iş ve üretim süreçlerinde en iyi üretim kapasitesini elde etmek amacıyla, Siber Fiziksel Sistem (CPS) veya Nesnelerin interneti (IoT) gibi gelişen teknolojileri kullanan bir üretim yaklaşımıdır (Freund, Majeed, 2021: 570). Ayrıca, üretimle ilgili olan bütün departmanların beraber çalıştığı, verilerin, yazılımın ve bilişim teknolojilerinin ortak olduğu bir sistemdir (Yıldız, 2018: 548).

Endüstri 4.0'ın yaratacağı ekonomik potansiyelin büyük olması beklenmektedir öyle ki Almanya'nın gayri safi değerinin Endüstri 4.0'ın devreye girmesinden sonra 2025'e kadar

ciddi oranda artacağı varsayılmaktadır (Freund, Majeed, 2021: 571). Ülkelerin rekabet ortamında söz sahibi olabilmeleri çoğunlukla yüksek teknoloji sayesinde ürettikleri ürünlere ve pazarladıkları teknolojiye bağlıdır. Ülkelerin gelişmişlik göstergelerinden en önemlileri arasında Ar-Ge harcamaları ve patent başvuruları da bulunmaktadır. Dolayısıyla ülkelerin tüketen toplum anlayışını terk ederek üreten toplum olmaya özen göstermeleri ve Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinin içerisinde hızla yer almaları gerekmektedir (Öztürk ve Alaşahan, 2019: 8-16).

Endüstri 4.0, üretim sistemlerindeki bilgi ve iletişim teknolojilerinin dijital dönüşüm süreçlerini etkilemesiyle yeni bir döneme zemin hazırlarken, makine ve insan arasındaki etkileşiminin sağlanması ve bu sayede akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesi konusunda da büyük değişim yaratmıştır. Sanayideki gelişim, ortalama 300 yıl içerisinde buhar gücünün hakim olduğu mekanik sistemlerden siber fiziksel sistemlerin yer aldığı dijital bir sisteme dönüşmüştür (TUBİTAK, 2016: 1).

2.2. Endüstri 4.0 Kavramı ve Bileşenleri

Endüstri devrimlerinin en son aşaması olarak kabul edilen Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijitalleşmenin ve otomasyonun en üst seviyede uygulamaya koyulduğu bir dönüşüm süreci olarak ifade edilmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zekâ ve siber-fiziksel sistemler gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu, üretim süreçleri daha esnek, verimli ve akıllı hale gelmektedir. Bu dönüşüm sayesinde, sadece üretim süreçlerinin değil, iş modellerinin, tedarik zincirlerinin ve müşteri deneyimlerinin de çarpıcı bir şekilde değiştiği ve geliştiği görülmektedir.

2.2.1. Endüstri 4.0 Kavramı

Dünyadaki rekabet şartlarının farklılaşması ve pazarların doygunluğa ulaşması sonucu, endüstri devrimlerine liderlik yapan Avrupa ve Amerika, maliyetlerini düşürmek için üretim faaliyetlerini daha düşük iş gücü maliyetine sahip Brezilya, Arjantin, Türkiye, Hindistan, Endonezya, Tayvan, Tayland ve Çin gibi ülkelere yönlendirmiştir. Bu gelişme, gelişmekte olan ülkeler tarafından bir fırsat olarak değerlendirilmiş ve üretim faaliyetlerinin kendi ülkelerinde gerçekleşmesi sağlanarak, sanayileşmiş ülkelerin sermaye ve bilgi

birikimlerinden yararlanma hedeflenmiştir. Günümüzde ise, sanayi ve teknolojiye öncü olan Almanya başta olmak üzere bazı ülkeler, rekabet avantajlarını artırmak ve üretim maliyetlerini daha da düşürmek amacıyla Dördüncü Sanayi Devrimi'ni başlatmışlardır. Bu devrim, düşük nitelikli iş gücüne bağımlılığı azaltmayı, maliyetleri daha da düşürmeyi ve üretimin Uzakdoğu'ya kayma riskini minimum düzeye indirmeyi hedefleyen birçok sektörde gerekli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Pamuk ve Soysal, 2018: 5).

Endüstri 4.0, üretim değer zincirlerinde olumlu yönde önemli değişiklikler öngörmektedir. Gelecek yıllarda işletmelerin esnek ve yüksek verimli olması beklenmekte ve özellikle gelişmiş bölgelerdeki endüstrilere hız kazandırmaktadır. Gelişmekte olan pazarlar, bu yeni üretim sürecine adapte olabilmek için Endüstri 4.0 uygulamalarına ne kadar hazır olduklarını değerlendirmek durumundadırlar (Todorovic vd., 2020: 139).

Mekanizasyon, elektrik ve bilişim, ilk üç sanayi devriminde sırasıyla meydana gelen yenilikler olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde ise, nesnelerin interneti ve hizmetlerin interneti gibi yeniliklerin üretim alanına entegrasyonu ile Dördüncü Sanayi Devrimi'nin temelleri atılmaktadır. Gelecek yıllarda organizasyonlar, cihazlarını, depolama sistemlerini ve üretim sistemlerini Siber-Fiziksel Sistemler (CPS) şeklinde bir araya getirerek, bu sistemlerin bağımsız şekilde bilgi paylaşımı yapmasını, eylemleri tetiklemesini ve birbirlerini kontrol edebilmesini sağlamaları hedeflenmektedir. Bu tür sistemler, üretim, mühendislik, malzeme yönetimi ve tedarik zinciri gibi birçok endüstriyel sürece önemli katkılar sağlayacaktır. Akıllı fabrikalar ise, bu dönemde üretim süreçlerine tamamen yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır (Kaggermann, 2013: 5).

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011'de Hannover Fuarı'nda telaffuz edilmiş ve ileri teknoloji strateji planı çerçevesinde kamuoyuyla paylaşılmıştır (Derya, 2018: 3). Aynı zamanda tüm dünyadaki akademisyenler, yöneticiler, hükümet yetkilileri ve politikacılar tarafından da büyük ilgiyle karşılanmıştır (Sung, 2018: 40).

Endüstri 4.0 kavramı, 2011 yılında ortaya çıkmasından itibaren, ekonomik ve toplumsal faydalar sağlayacağı beklentisiyle dünya genelinde büyük bir ilgi görmüştür. Bu kavram, üst düzey otomasyon sistemlerini, bilgi alışverişlerini ve gelişmiş üretim teknolojilerini bir araya getiren kapsamlı bir yaklaşımı temsil etmektedir. Sanal dünyanın

bilgi teknolojileri aracılığıyla makinelerin fiziksel dünyası ile internet üzerinden birleşmesi, endüstride hızlı bir dönüşümün sonucu olarak değerlendirilmektedir. Bu sebeple Endüstri 4.0, tüm sektörlerin bilgi teknolojileri sayesinde sürekli artan entegrasyonun merkezinde yer almaktadır (Bayrak, 2018: 10).

Endüstri 4.0 teknolojisinin amacı bu süreci destekleyerek Alman sanayisinin bu sürece hazırlanmasını sağlamaktır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın piyasaya sürülmesi yalnızca Almanya'nın rekabetçi konumunu güçlendirmekle kalmayacak hem küresel zorluklara (örneğin kaynak ve enerji verimliliği) hem de ulusal zorluklara (örneğin demografik değişimin yönetimi) çözümler getirecektir (Kaggermann, 2013: 14).

Gelecekteki üretimin şiddetli bir şekilde bireyselleşmenin etkisi altında kalacak olması ve bunun için farklı üretim modeline ihtiyaç duyulacağı çok açıktır. Ayrıca, gelecekteki müşterilerin ve iş ortaklarının direkt organizasyon ve katma değer üretme sürecine dahil edilecekleri de göz önüne alınmalıdır. Endüstri 4.0'da insan, makine, sistem, lojistik ve ürün arasında iletişim ve etkileşim bulunmaktadır (Derya, 2018: 3)

Programlanabilir makinelerin geliştirilmesi 3. Sanayi Devriminin en önemli gelişmelerinden kabul edilirken aynı dönemde üretimde de fordizm yerini post-fordizme bırakmıştır. Programlanabilir makinelerin da geliştirilip endüstriyel yatılara dönüştürülmesi 4. Sanayi Dönemi'nin en önemli gelişmelerindendir. İlk olarak 2006 yılında ABD'de, ama daha etkili bir sesle beş yıl sonra Almanya'da Hannover Fuarında söz edilen Sanayi 4.0 (4. Sanayi Devrimi), artık üretimde yeni bir modelin ortaya çıktığının göstergesi olmuştur (Alçın, 2016: 21).

Endüstri 4.0 kavramı genellikle kaynaklarda; endüstriyel ve iş ortamlarının dijitalleşme düzeyini artırmak için gerekli olan teknolojik gelişmeleri tanımlamak için kullanılır. Endüstri 4.0'ın gelişiminden söz ederken, şu dört temel bileşeni ayırt etmek gerekir: siber-fiziksel sistemler (Cyber-Physical Systems [CPS]), nesnelerin interneti (Internet of Things [IoT]), hizmetlerin interneti (Internet of Services [IoS]), akıllı fabrika ve ayrıca altı temel teknoloji, katkı teknolojileri de eklenmelidir: 3 boyutlu baskı (3D printing), nesnelerin endüstriyel interneti (Industrial Internet of Things [IIoT]), büyük veri (big data),

yapay zekâ (Artificial Intelligence [AI]), işbirlikçi robot (Collaborative Robot [CoBot]) ve sanal gerçeklik (virtual reality) (Martynov, vd., 2019: 539).

4. sanayi devrimi olarak da anılan Endüstri 4.0, akıllı siber-fiziksel sistemler alt yapısıyla akıllı fabrikalar inşa etmek vizyonunu taşır. Endüstri 4.0, kendi kendini kontrol eden, düzenleyen ve iyileştiren otonom özelliklere sahip, akıllı sistemlerin hakim olduğu üretim yönetimlerinin kullanımını mümkün kılacaktır. Böylece Endüstri 4.0, büyük ölçüde operasyonel verimlilik ve hızlandırılmış büyüme elde edilmesini sağlayarak, makineler arası iş birliği ve simbiyotik ürün ortaya çıkarmak adına ileri üretim ve endüstriyel süreçlerin gelişimine imkân tanıyacaktır (Thames ve Schaefer, 2016:13).

Endüstri 4.0 ya da diğer adıyla dördüncü sanayi devrimi, teknolojik eğitim ihtiyaçlarını temel alan önemli gelişmelerle öne çıkmaktadır. Bu devrimin yapı taşı olarak görülen en önemli teknolojik yenilikler büyük veri, 3D yazıcılar, nesnelerin interneti (IoT), akıllı fabrikalar ve siber sistemler olarak sıralanabilir. Büyük veri, dijital ortamda toplanan geniş veri tabanlarına işaret ederek şirketlerin üretim, pazarlama ve dağıtım süreçlerinde ihtiyaç duydukları bilgilere hızlıca erişmelerini sağlamaktadır. Böylelikle, üretim süreçlerinin daha hızlı ve etkin bir şekilde sistemde kalmasına olanak tanımaktadır. Nesnelerin interneti, üretim sürecinde kullanılan robotik sistemlerin ağ üzerinden birbirleriyle iletişime geçerek üretim sürecinin tam olarak otomasyon ile yönlendirilmesini sağlamaktadır. Akıllı fabrikalar, nesnelerin interneti ile desteklenmekte ve bu teknoloji yardımıyla şoförsüz araçlar ve karanlık fabrikalar gibi yeniliklerin uygulamaya koyulması sağlanmaktadır. Bu durum, sistemdeki aksamaların önceden tahmin edebilmekle üretim kayıplarının asgariye indirilmesine destek verecektir. 3D yazıcılar ise, her türlü nesnenin üretimini mümkün kılarak tedarik süreçlerinde devrim yaratmakta ve sağlık sektöründe organ üretimi gibi büyük ilerlemeler sağlamaktadır (Aydın, 2018: 463).

Özet olarak; Birinci Endüstri Devrimi ile su ve buhar gücünden yararlanılarak üretim mekanize hale getirilmiştir. İkinci Endüstri Devrimi'nde seri üretimin gerçekleşmesi ve yaygınlaşması için elektrik gücünden yararlanılmıştır. Üçüncü Endüstri Devrimi'nde ise üretimin otomatikleştirmesi için elektronik ve bilgi teknolojisi kullanılmıştır. Şimdi Dördüncü Endüstri Devrimi, geçtiğimiz yüzyılın ortasından beri meydana gelen dijital devrim olan Üçüncünün üzerine inşa edilmekte ve fiziksel, dijital ve biyolojik alanlardaki

pek çok teknolojinin birleştigi bir devrim olarak nitelendirilmektedir (Schwab, 2016). Endüstri 4.0 işletmeler açısından son derece önemli bir teknoloji haline gelmiştir ve bu alanda yaşanan değişim ve dönüşümlerin işletmelerin verimliliğini arttırması bakımından gelecekte daha da önemli olacağı beklenmektedir (Yelkikalan vd., 2021: 664).

2.2.2. Endüstri 4.0 Kavramının Bileşenleri

Endüstri 4.0, günümüzde endüstriyel süreçlerin dijitalleşmesi ve otomasyonunun önemli bir ifadesidir. Bu kavram, endüstriyel üretim alanında devrim niteliğinde bir dönüşümü temsil ederken, işletmelerin üretim süreçlerini yeniden tanımlamasına ve daha akıllı, esnek ve verimli hale getirmesine olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan bileşenler, birbiriyle bağlantılı olarak çalışan çeşitli teknolojilerden oluşur. Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zekâ, dijital ikizler, bulut bilişim ve esnek üretim sistemleri gibi bileşenler, üretim süreçlerindeki dönüşümü yönlendiren ve hızlandıran unsurlardır. Bu teknolojiler, endüstriyel tesislerdeki makinelerin birbirleriyle ve dış dünya ile iletişim kurmasını, verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını ve analiz edilmesini, süreçlerin optimize edilmesini ve karar alma süreçlerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bu bölümde, Endüstri 4.0'ın ana bileşenleri ayrıntılı bir şekilde incelenecek ve her birinin endüstriyel dönüşümdeki kritik rolü tartışılacaktır.

Siber Fiziksel Sistemler (CPS)

Siber Fiziksel Sistemler (CPS), endüstriyel ve akıllı sistemlerin temelini oluşturan önemli bir kavramdır. CPS'ler, fiziksel dünyadaki nesnelerin (makine, sensörler, aktüatörler vb.) dijital olarak bağlanmasını ve kontrol edilmesini sağlayan karmaşık sistemlerdir. Bu sistemler, nesnelerin interneti (IoT) ile bilgi teknolojilerinin entegrasyonunu temsil ederken, akıllı üretim, otomasyon, ulaşım, sağlık, enerji yönetimi ve daha birçok endüstriyel alan için temel bir altyapı sağlarlar. CPS'ler, gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve karar alma yetenekleriyle endüstriyel süreçleri optimize etmeyi ve daha esnek, verimli ve güvenli bir ortam sağlamayı amaçlamaktadır.

Artan rekabet koşulları bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT), makine ile makine arası (M2M) iletişim ve kablosuz sensör ağları (WSN) alanında kaydedilen ilerlemelerle, siber-

fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Hizmetlerin İnterneti (IoS) gibi yenilikçi teknolojilerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Özellikle, Amerika Birleşik Devletleri'nde başlayan "Endüstriyel İnternet" girişimi ve Almanya'nın "Endüstri 4.0" devrimi, CPS, IoT ve IoS'yi bir araya getirerek üretim kontrol sistemlerinde büyük bir dönüşüme neden olmuştur. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde esneklik ve gelişmiş bir networkun temellerini atmıştır (Dafflon vd., 2021: 2395).

Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişim ve koordinasyonu sağlayan yapıların tamamı olarak tanımlanan Siber Fiziksel Sistemler (CPS), üretimin daha dinamik hale gelmesi ve tüm sanayinin verimliliğini arttırması noktasında önemli bir role sahiptir (Yıldız, 2018: 549).

CPS, bir işletmenin makineleri, depolama sistemleri ve üretim tesisleri için global ağlar kurarak fiziksel ve dijital dünyaların bir araya getirilmesi olarak tanımlanabildiği gibi; CPS, fiziksel dünya ve onun devam eden süreçleri ile yoğun bağlantı içinde olan ve aynı zamanda internet üzerindeki veri erişim ve işleme hizmetlerini sağlayarak iş birliği yapan hesaplamalı varlıklar sistemleri olarak da tanımlanabilmektedir. CPS, sensörleri ve aktüatörleri kontrol eden mikro denetleyicilerden meydana gelmektedir. Ayrıca, gömülü bilgisayar terminalleri, kablosuz uygulamalar, evler ve hatta bulut arasında veri ve bilgi değişimi yapılabilmektedir. Kompleks, dinamik ve entegre bir yapıya sahip olan CPS, üretim sürecinde planlama, analiz etme, modelleme, dizayn, uygulama ve bakım konusunda iş birliği yapabilecek kapasitedir (Lu, 2017: 4).

Siber Fiziksel Sistemler bilgisayar bilimi açısından ele alındığında bilgi işlem ile fiziksel süreçlerin bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir. Genellikle geri beslemeli gömülü bilgisayarları, ağ monitörlerini ve denetleyicileri içermektedir. Otomasyon teknolojileri açısından baktığımızda ise Siber Fiziksel Sistemler; fiziksel çevredeki objelere ve yapılara gömülü bilgisayar ve iletişim çekirdekleri tarafından kumanda edilen özelleşmiş sistemlerdir (Alguliyev vd., 2018: 213).

Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT), günümüzde giderek daha fazla önem kazanan ve endüstriyel ve günlük yaşamın birçok alanında kullanılan bir teknoloji kavramıdır. IoT, internete bağlanabilen her türlü fiziksel cihazın (nesnenin) birbirleriyle iletişim kurmasını ve veri alışverişi yapmasını sağlayan bir altyapı sağlamaktadır. Bu sayede, sensörler, akıllı cihazlar, araçlar ve endüstriyel ekipmanlar gibi çeşitli nesneler, gerçek zamanlı veri toplayabilir, analiz edebilir ve işleyebilirler. IoT, bu verilerin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi, süreçlerin otomatikleştirilmesi, verimliliğin artırılması, hizmetlerin iyileştirilmesi ve yeni iş modellerinin ortaya çıkması gibi birçok avantaj sunmaktadır.

Nesnelerin interneti, makinelerin ya da cihazların kendi içlerinde bilgi alışverişi yaptığı, elde edilen bilgileri topladığı ve karar verdiği bir network yapısı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu yapı, hiç insan müdahalesine ihtiyaç kalmadan ya da bir verinin geleneksel yöntemlerle manuel girişine gerek olmaksızın gerçekleşen bir teknoloji türüdür. Mobil cihazla iletişim halinde olan evdeki buzdolabının, market alışverişi sırasında evde eksik olan bir ürünün önünden geçerken evde o ürünün olmadığına dair uyarı vermesi bir nesnelerin interneti örneği olarak verilebilir (Aydın ve Demiral, 2019: 1979).

Nesnelerin İnterneti kavramı net olarak; internete ve birbirine bağlanan "şeyler" ya da "nesneler" anlamına gelmektedir. Örneğin: bilgisayar, tablet, akıllı telefon, spor malzemeleri, ampul, kapı kilidi, kitap, uçak motoru, ayakkabı ve daha fazlası örnek olarak verilebilir. Bu cihazların veya objelerin her birinin kendine ait bir kimlik numarası (UID) ve bir İnternet Protokolü (IP) adresi mevcuttur. Bu nesneler, uydular, hücreli ağlar, Wi-Fi ve Bluetoothun yanı sıra kablolar, teller ve kablosuz teknoloji aracılığıyla birbirlerine bağlanırlar. Ayrıca yerleşik elektronik devrelerin haricinde çipler ve etiketler yardımıyla eklenen radyo frekansı tanımlama (RFID) veya yakın iletişim (NFC) yeteneklerini de kullanırlar. Kesin olarak şu söylenebilir ki IoT, bir odanın bir ucundan dünyanın başka ucundaki bir yerdeki süreçleri etkinleştirebilecek hareketleri içermektedir (Greengard, 2015: 4).

Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramı, organizasyonlar için hem gelişen bir trend hem de kanıtlanmış bir strateji ve yenilik içeren bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Bu

kavram ilk olarak 1999'da Massachusetts Institute of Technology'de Otomatik Kimlik Merkezi'nin yönetici direktörü Kevin Ashton tarafından telaffuz edilmiştir. Kevin Ashton IoT'yi, dünyayı değiştirme potansiyeline sahip, radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisiyle eşsiz olarak tanımlanan birbirine bağlı nesneler olarak çerçevelemiştir. IoT, geleceğin İnternetinin bir parçası olarak kabul edilecek ve milyarlarca akıllı iletişim objesini içerecek hale gelecektir. Bu sebeple bu kavramın kesin tanımı, çeşitli bakış açılarına bağlı olarak hala şekillenme sürecindedir (Tang vd., 2018: 2040).

“Nesnelerin interneti” teriminin kullanımı 21. yüzyılın ilk on yılında yükseliş eğilimine girerek Endüstri 4.0 açısından ilk kabul edilen bir teknoloji haline gelmiştir. Akıllı ve bağlantılı ürünler, yeni işlevler, daha yüksek güvenilirlik, genişletilmiş kullanım imkânları ve geleneksel ürün sınırlarını aşan yetenekler sunarak hızla artan fırsatlarla dikkat çekmektedir. Nesnelerin İnterneti sayesinde, tüm üyelerinin her zaman ve her ortamda kendi kendini konfigüre eden, kendi kendini yöneten ve akıllı teknolojiyle donatılmış bir internet ortamına erişebildiği bir toplum da öngörülmektedir. Ayrıca, IoT büyük ekonomik fırsatlar açmasıyla çarpıcı güce sahip en umut verici yeniliklerden biri olarak da kabul edilmektedir (Hofmann ve Rüşch, 2017: 25).

Bulut Bilişim

Bulut bilişim fikri ilk olarak 1959'da John McCarthy tarafından öne sürülmüştür. Devamında 1995'te Amazon, World Wide Web'i kullanarak kitap satışına başlamıştır. 1999 yılında Salesforce.com, World Wide Web'de ödeme ile ulaşılabilen yazılım hizmeti sağlayarak, 2004'te Google ücretsiz e-mail hizmetini piyasaya getirmiştir. 2006'da Google 2GB alanlı Google Apps uygulamalarını başlatmış ve 2011'de IBM akıllı bulut uygulamasını paylaşmıştır (Rajaraman, 2014: 244).

Bulut bilişim, günümüzde bilişim teknolojilerinin temelini oluşturan ve birçok endüstriyel ve bireysel uygulamada yaygın olarak kullanılan bir kavramdır. Bu teknoloji, bilgi işlem kaynaklarının internet üzerinden paylaşılması ve isteğe bağlı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bulut bilişim, veri depolama, işlem potansiyeli, yazılım hizmetleri ve altyapıyı (IAAS), platformları (PAAS) ve yazılım uygulamalarını (SAAS) içeren geniş bir perspektifte hizmet sunmaktadır. Bu sayede de işletmeler ve bireyler,

karmaşık bilişim altyapılarına yatırım yapmadan, gereksinimlerine göre ölçeklenebilir, esnek ve maliyet-etkin çözümler elde edebilirler. Bulut bilişim, büyük veri analitiği, yapay zekâ, IoT ve diğer dijital teknolojilerle entegre edilerek, endüstriyel dönüşümü destekleyen ve inovasyonu teşvik eden bir unsur halini almaktadır.

Uzun döneme yayılan senaryolar ve global gelişim trendleri, bilgi ve iletişim teknolojilerinin inovatif teknolojiler arasında uzun süre lider kalacağını göstermektedir. Bulut bilişim, büyük veri ve Nesnelerin İnterneti gibi trendler günümüzde büyük öneme sahip olduğu gibi gelecek 10-15 yıl içinde de bu önemlerini koruyacakları beklenmektedir (Basl, 2017: 3). Örneğin, Global Trends 2030'a göre bilgi ve iletişim teknolojileri ile; hayati önem taşıyan kaynakların (gıda, su ve enerji) güvenliğini konu alan teknolojiler, sağlık teknolojileri ve üretim otomasyon teknolojileri dört temel teknolojik alan olarak belirlenmiştir.

Bulut Bilişim, istenilen bir zaman diliminde ve mekânda önceden yapılmış anlaşmalara bağlı kalınarak kullanılabilir. Bulut Bilişim ayrıca az bir eforla hızlı bir şekilde ücretlendirilerek serbest bırakılan ve anlık ağ erişimini sağlayan bir teknolojidir. Güncellemeler anlık yapılmaktadır ve sınırsız bir depolama kapasitesine sahiptir (Çelik, 2021: 438).

Çevrim içi bilgi paylaşımı adı da verilen Bulut Bilişim Sistemi; bilişim cihazları arasında ortak bilgi dağıtımını sağlayan hizmetler şeklinde tanımlanır. Mevcut bilişim hizmeti, temel kaynaktaki yazılım ve verilerin paylaşımının sağlanarak bilgisayarlar ve diğer cihazlar aracılığıyla bir bilişim ağı üzerinden elektrik dağıtımına benzer bir şekilde kullanıcılara sunulmaktadır. Sahip olunan bu uygulamaya, programların ve verilerin bulut olarak isimlendirilen sanal bir sunucuda depolanarak internet ortamındaki rassal bir cihaz vasıtasıyla verilerin kolaylıkla elde edilebildiği hizmetler bütünü Bulut Bilişim veya Bulut Teknolojisi (Cloud Computing) isimleri verilmektedir (Soylu, 2018: 47).

Bulut bilgi işlem, en yeni Bilgi Teknolojilerinden biri olmasının yanı sıra; müşterilere konum ve cihazdan bağımsız olarak hem donanım hem de yazılım hizmetlerinin tek bir ağ üzerinden self servis olarak verildiği bir Bilgi Teknolojileri hizmet modeli olarak

tanımlanmaktadır. Bulut bilgi işlem, geleneksel Bilgi Teknolojilerinden farklı olarak bazı şu özelliklere sahiptir (Liu vd., 2018: 101, Türkcan, 2022: 19):

Her yerde bulunabilme: Zaman ve konum kısıtı olmaksızın çeşitli ağlar üzerinden buluta bağlanarak kaynaklara erişilebilir.

Kaynak Paylaşımı: Bulut üzerinde gerçekleşen her türlü işlem, sonrasında kaynak havuzu biçimlendirilerek müşterilerle paylaşılır.

Esneklik: Müşterilerin talepleri göz önüne alarak bilgi teknolojisi kaynaklarının ölçeğine ilişkin çeşitli gereksinimleri karşılamak amacıyla, bilgi teknolojisi kaynaklarını azaltma veya artırma becerisine sahiptirler.

Ölçeklenebilirlik: Yeni ve farklı işler yürütülüp değerlendirilir ve kullanıcılar için yazılım ve donanımların hızlı dağıtımı sağlanabilir.

Kullanım Başına Ödeme: Kullanıcılar ihtiyaç duydukları zaman diliminde bulut hizmeti kullanıp kullandıkları kadar ödeme yaparlar.

Bulut Bilişimin kullanımıyla; üretimde verimliliği artması, ürün maliyetlerinin düşmesi ve optimum kaynak eldesini gerçekleştiren, yeniden kurulabilir siber-fiziksel üretim hatlarının oluşturulması öngörülmektedir. Değişen müşteri isteklerine uyumlu internete bağlı sistemler ile bağlantılı üretim, ölçeklenebilirlik, dinamiklik, her yerde erişim ve çoklu sanallaştırma gibi birçok öğeyi içeriğinde bulunduran bir sistemdir (Thames ve Schaefer, 2016:13).

Artırılmış Gerçeklik (AR)

Artırılmış Gerçeklik (AR), gerçek dünyayı sanal öğelerle bir araya getiren ve kullanıcılara zenginleştirilmiş bir deneyim sunan bir teknoloji türüdür. AR, birçok endüstriyel ve tüketici uygulamada kullanılmakta olup, kullanıcıların çevresini daha iyi anlamalarını, verileri daha etkili bir şekilde görüntülemelerini ve etkileşimde bulunmalarını sağlamaktadır. AR, genellikle görsel olarak algılanan sanal nesneleri, bilgiyi veya verileri gerçek dünyadaki ortama ekleyen bir araç olarak kullanılır. Bu sayede eğitim, eğlence, sağlık, perakende, endüstriyel tasarım ve daha birçok alanda çeşitli uygulamaları mümkün kılmaktadır.

Artırılmış gerçeklik, kullanılan ileri teknolojiler yardımıyla cihazlara grafik ve ses gibi özelliklerin eklenmesi olarak tanımlanabilir. Böylece ses, video gibi bazı verilerle bilgisayar üzerinden üretilen imgeler yeni bir ortamda görünür hale gelirler. Artırılmış gerçeklik uygulamasıyla insan duyusunun sahip olduğu hisler veri olarak girilerek bilgisayar tarafından geliştirilir ve oluşturulan yeni gerçeklik kullanıcının algısına sunulur. Arttırılmış gerçeklik özellikle endüstriyel tasarım alanında kendine yer bulmaktadır. Herhangi bir ürünün imal edilmeden önce tasarım ve kullanım testlerinin yapılmasında kullanılmaktadır. Örneğin bir arabanın çarpışma testlerinin arttırılmış gerçeklikle yapılması maliyetleri büyük oranda düşürecektir. Aynı zamanda birbirleriyle aynı mekânda bulunmayan kişiler için de bir aradalarmış gibi alanlar yaratılarak toplantılar ve ortak projeler gerçekleştirilebilmektedir. Arttırılmış gerçeklik uygulamasıyla ürünlerle insanın hayal gücü çok daha gelişerek farklılık yaratacaktır (Özen, 2019: 107).

Artırılmış gerçeklik yetenekleri ve kalitesi zamanla yükselen bir dijitalizasyon bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaratılan artırılmış ortam sayesinde, dünyadaki gerçek nesnelerle sanal nesnelerin etkileşimiyle kullanıcıların gerçek dünya deneyimi geliştirilmektedir (Cohen vd., 2019: 3569). Endüstri 4.0 kavramının uygulamaya geçmesiyle, dijitalleşen akıllı fabrikalarda artırılmış gerçeklik uygulamaları da kullanılmaya başlanmıştır (Kayar, 2019: 32).

Yatay ve Dikey Entegrasyon

Endüstriyel süreçlerde sıkça kullanılan yatay ve dikey entegrasyon kavramları, işletmelerin üretim ve yönetim süreçlerini optimize etmek için önemli stratejik yaklaşımları ifade etmektedir. Yatay entegrasyon, bir işletmenin farklı fonksiyonel alanlarını veya iş birimlerini bir araya getirerek, iş süreçlerini ve veri akışını daha etkin bir şekilde yönetme amacı taşırken, dikey entegrasyon ise, bir işletmenin tedarik zinciri boyunca farklı seviyelerdeki işlem ve faaliyetleri entegre etmesini ifade etmektedir. Bu, işletmenin tedarikçileriyle, üreticileriyle ve dağıtıcılarıyla daha yakın bir ilişki kurmasını ve iş süreçlerini daha iyi yönetmesini sağlamanın yanı sıra, yatay ve dikey entegrasyonun birlikte kullanılması, işletmelerin daha rekabetçi olmasına, maliyetleri azaltmasına ve müşteri memnuniyetini artırmasına yardımcı olmaktadır.

Yatay ve dikey entegrasyon, çoklu sistemlerin tek sistem gibi çalışabilmesi organize etmektedir. Ayrıca mühendislik dizaynı, üretim ve hizmet fonksiyonları, müşteriler, tedarikçiler ve dağıtım kanalındaki işletmelerin birbirleriyle bağlanabilmelerini mümkün kılar (Çakıt vd., 2019: 49).

Dikey entegrasyon, bir fabrika içinde farklı hiyerarşik seviyelerde farklı BT sistemlerinin entegrasyonu ile ilişkilidir. Ayrıca, üretimdeki sensörler ve aktüatörlerden Üretim Yürütme Sistemine (MES) kadar ve daha da ötesinde Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) seviyesine kadar otomasyon piramidinin seviyelerini dikey olarak entegre etmek gerekmektedir. Bu, esnek ve yeniden konfigüre edilebilen bir üretim sistemi sağlayacaktır. Böyle bir dikey entegrasyon, planlama araçlarının yazılımın ve BT'nin geniş kullanımı ve üretimin dijitalleştirilmesi ile Avrupa imalat endüstrisi için devam eden rekabet gücünün sağlanması adına bir gereklilik arz etmektedir (Strandhagen vd., 2017: 345).

Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) kavramı ilk olarak 1970'te Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) olarak başlayıp, MRPII ve Dağıtım Kaynakları Planlama (DRP) olarak devam etmiştir. Bu gelişmiş yönetim sistemi içinde muhasebe, finans, insan kaynakları, imalat, pazarlama, lojistik, satın alma, satış, stok kontrol vb. iş süreçlerini birleştirerek tek bir program altında toplamaktadır. ERP sayesinde organizasyonlar içindeki tüm departmanlar ve birimler arasında koordinasyon sağlanmaktadır. Böylelikle birimlerin izlenmesi ve kontrol edilmesi kolaylaşarak verimli bir yönetim sistemi oluşturulması hedeflenmektedir. Rekabet koşullarına uyum sağlamaları açısından Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) gibi Bilgi Yönetim Teknolojileri ile Endüstri 4.0'ın eş zamanlı uygulanması, işletmelerin Endüstri 4.0 sürecini doğru yönetmeleri açısından büyük önem taşımaktadır (Kaygın vd., 2019: 1072).

Yatay entegrasyon, üretim planlama ve iş süreçleri kademelerinde kullanılan farklı bilgi sistemlerinin entegrasyonunu olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler, şirket içinde (iç lojistik, üretim, pazarlama gibi) veya şirketler arasında malzeme, enerji ve veri alışverişini içermektedir. Bu entegrasyonun amacı, bilgilerin tedarikçiden müşteriye ağ üzerinden iletilmesini sağlamaktır. Sunulan entegrasyon sayesinde tedarikçiler stok durumları hakkında tam zamanında bilgilendirilerek gelecekteki teslimatlarını daha iyi planlayabilir ve organize edebilir duruma geleceklerdir. Yatay entegrasyon sayesinde günümüzde müşteriler,

ürünlerinin durumunu öğrenerek üretici ile iletişime geçecek ve aynı zamanda ürününü izleyebilecektir. Herhangi bir sorun oluştuğunda da müşteri derhal müdahale ederek sorunun nasıl çözüleceğine karar verebilecektir (Crnjac vd., 2017: 22).

Akıllı Robotlar

Robot kavramı; teknik bir kişinin kontrolünde çalışabildiği gibi bir bilgisayar aracılığı ile de önceden planlanmış ve yüklenmiş görevleri yerine getirebilen, elektro-magnetik cihazlar olarak tanımlanmaktadır (Gabaçlı, Uzunöz, 2017: 156).

Robotlar şu anki durumuyla gelişmiş görevleri yerine getirebilme ve pek çok alanda çalışabilme özelliklerine sahiptir. Gelecekte robotların birbirleriyle iletişim haline geçmeleri ve yöneticilerin kontrolünde insanlarla etkileşim halinde olmaları gerçekleşmesi beklenen bir durumdur (Tay vd., 2018: 1383).

Robotların, hammaddenin işlenmesinden malın üretimine kadar olan süreçte kullanılması yaklaşık olarak 1970'li yıllara tekabül etmektedir. Günümüzde gelişmiş sensör, aktüatör teknolojileri ve yapay zekâ algoritmaları sayesinde her ortama kolay adapte olabilen, esnek robotlar üretilmeye başlanmıştır. Bu sayede robotlar, gelişmiş özellikleri sayesinde parçaları ayırt ederek her ürüne özel hareket edebilmekte ve insanlarla yan yana çalışabilme özelliği taşımaktadırlar (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018: 427). Buradan hareketle, çalışanların da robotlara ve getirdiği yeni teknolojiye uyum sağlamaları açısından sürekli öğrenmeye ve gelişmeye açık olmaları gerekmektedir. İşletmelerin çalışanlarına bu faaliyetleri sağlaması, insan kaynakları birimi açısından son derece önemlidir. Hem üst yönetimin hem de çalışanların öğrenmeye, gelişmeye ve yeniliklere açık olması gerekmektedir. Çalışanların öğrenme ve gelişme fırsatları üst yönetim tarafından sağlanmalı ve geliştirilmelidir (Armstrong, 2016: 181 ve 182, aktaran Gürün, 2019: 83). İşletme yönetimlerinin Endüstri 4.0 uyum sürecinde çalışanların inovatif özelliklerden yararlanmak ve bunun sürekliliğini sağlamak asıl hedeflerinden biridir. Her işletme inovasyona önem verir ve bunun temel anahtarlarından biri de yaratıcı çalışanların performansını doğru şekilde değerlendirmektir. Bu sebeple bu değerli insan kaynağını motive etmek ve elde tutmak için hem maddi hem de manevi yönden ödüllendirmek yönetimin temel sorumluluklarından biri olmalıdır (Agolla, 2018, s: 53). Ayrıca çalışanlar için ödül yönetimi, rahatlıkla kendilerini

ifade etmeleri, yönetime dahil olmaları ve bunun gibi pek çok faktörün çalışanın işletmede motivasyonunu arttırdığı ve beraberinde işletme üzerinde büyüme ve verimlilik açısından olumlu bir sonuç yarattığı tespit edilmiştir (Showkat vd. (2019: 81, aktaran Kırmızısaç, 2021: 160).

Büyük Veri (BD)

Büyük Veri (BD), günümüzde hızla artan veri miktarı ve çeşitliliği ile ilişkilendirilen önemli bir kavramdır. BD, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış büyük veri kümelerini ifade eder ve geleneksel veri yönetim araçları ile işlenmesi, depolanması veya analiz edilmesi zor olan veri türlerini içermektedir.

Büyük veri, bilinen veri tabanı yazılım araçlarının yakalama, depolama, yönetme ve analiz etme yeteneğinin ötesinde bir boyuta sahip olan veri kümelerini ifade etmektedir. Bu tanım son derece sübjektiftir ve bir verinin büyük bir veri olduğunu kabul etmek için veri kümesinin ne kadar büyük olması gerektiğine dair dinamik bir tanım içerir. Bu durumda büyük veri bir terabayttan daha büyük olarak tanımlanabilir. Zaman ilerledikçe veri kümelerinin boyutunun da artacağı öngörülmektedir. Ayrıca tanımı yaparken, ne tür yazılım araçlarının yaygın olduğu ve hangi sektörde hangi boyutlarda veri kümesinin kullanıldığı da dikkate alınmalıdır (McKinsey, 2011).

Büyük miktarlarda verinin ilk olarak toplanma ve depolanma faaliyeti ilk ticari bilgisayarların piyasada bulunduğu 1950'lerin başlarına kadar gitmektedir. 1950'lerden 1990'ların ortalarına kadar olan dönemde, bilgisayarların, depolamanın ve veri ağlarının maliyetli oluşu sebebiyle veriler kısmen yavaş büyümüştür. Bu dönemdeki veriler, operasyonel ve işlemsel bilgi sistemlerine yardımcı olmak amacıyla yüksek düzeyde yapılandırılmıştır. 1990'ların başında dünya çapında ağın (WWW) ortaya çıkmasıyla veriler hızla büyümüş ve büyük verinin yapısının daha da gelişmesine yol açmıştır (Lee, 2017: 296).

Büyük verinin özellikleri literatürde; büyüklük (volume), çeşitlilik (variety), hız (velocity), değer (value) ve doğruluk (veracity) olarak büyük verinin 5V'si şeklinde belirtilmektedir (Türkcan, 2022:16).

Veri Büyüklüğü: İşletmeler karar alma süreçlerinde üssel bir şekilde artış gösteren çok büyük miktarda veri kullanmaktadırlar. Bazı uzmanlara göre büyük veri petabayt olarak kabul edilirken, birçok işletme ise bir terabayt ile bir petabayt arasındaki büyüklüğü büyük veri olarak kabul etmektedir.

Çeşitlilik: Büyük verinin içeriğinde fotoğraflar, tıklanma sayıları, e-mailler, sesler, videolar, HTLM, PDF ve ekg gibi çok çeşitli veriler bulunmaktadır. Bu veriler yapılandırılmış, yarı-yapılandırılmış ve yapılandırılmamış şeklindeki verilerdir.

Hız: Verinin işlenmesi hızı sürekli artış göstermektedir. Üretilen verinin iş süreçleri ile birleştirilmesi sonucunda daha yüksek hıza ihtiyaç duyulmakta ve veri sürekli artan bir oranda üretilmektedir.

Değer: Büyük veriyi açıklayan ve 3V (volume, velocity ve variety) olarak tanımlanan verilerin analiz edildikten sonra sonuçların faydalı olması bir ‘değer’ üretmeleri gerekmektedir.

Doğruluk: Veri türlerine ait güvenilirlik düzeyi anlamına gelen doğruluk, büyük veri için önemli bir gereklilik ve mücadele durumudur (Çelik, Akdamar, 2018: 257).

Bu doğrultuda büyük veri, sosyal medya paylaşımları, ağ günlükleri, bloglar, fotoğraflar, videolar, log dosyaları gibi farklı veri türlerinin işlenerek anlamlı ve kullanılabilir bir hale dönüştürülmüş halini ifade etmektedir. Büyük veri ayrıca, internet sunucularının logları, ağ istatistikleri, sosyal medya yayınları, mikrobloglar, iklim sensörlerinden gelen veriler, GSM operatörlerinin arama kayıtları gibi çok büyük miktarda veriyi kapsamaktadır. Şirketlerin stratejik kararlar almaları gerektiği durumlarda, doğru ve uygun analiz yöntemleriyle incelendiğinde Büyük veri; risklerini daha iyi yönetmeleri ve yenilikçi çözümler geliştirilmesi açısından işletmeler için büyük bir öneme sahiptir. (EBSO, 2015: 19).

Siber Güvenlik

Siber Güvenlik, günümüz dijital çağında giderek daha önemli hale gelen bir konudur. Bilgi teknolojilerinin hızla gelişmesi ve internetin yaygınlaşmasıyla birlikte, siber tehditler de daha sofistike hale gelmiştir. Siber güvenlik, bilgi sistemlerini ve bilgiyi korumak için alınan önlemleri ifade eder ve bilgi güvenliğini sağlamak için çeşitli teknolojiler, politikalar, prosedürler ve eğitimler içermektedir. Siber saldırılar, kötü niyetli yazılımlar, veri ihlalleri, kimlik avı, bilgi sızıntıları ve diğer çeşitli tehditlerle karşı karşıya kalan bireyler, kurumlar ve devletler için ciddi bir endişe kaynağıdır. Siber güvenlik, bilgi varlıklarını korumak, operasyonel sürekliliği sağlamak, müşteri güvenini artırmak ve yasal düzenlemelere uyum sağlamak için kritik bir öneme sahiptir.

Endüstri 4.0'dan önce bir iş yerinin güvenliğinin sağlanması için insan gücünün sağlayacağı koşullar düşünülürken zamanla güvenlik koşulları değişmiştir. Fabrikaların akıllı hale gelmesiyle onlara yönelik saldırılar da akıllanmıştır. Siber ve fiziksel ortamın bir araya getirildiği Endüstri 4.0 sürecinde otomasyon sistemlerine zarar verebilecek saldırı, geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilecek kadar büyük boyuttadır. Örneğin, siber sistemler ile birbirleriyle iletişim halinde olan makinelerin faaliyette bulunduğu bir nükleer tesise yapılabilecek muhtemel bir siber saldırının sonuçları tahmin edilenden çok daha büyük olabilir. Siber saldırılar, fiziksel saldırılardan farklı olarak nereden gerçekleştirildiğinin tespit edilmesinin oldukça zor olması ve saldırıların ışık hızında gerçekleşmesi gibi özelliklere sahiptir (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018: 426).

Siber güvenlik; siber ortamı ve kullanıcı varlıklarını korumak için kullanılan araçlar, güvenlik unsurları ve önlemleri, yönergeler, risk yönetimi perspektifi, uygulamalar, eğitimler, güvence mekanizmaları ve teknolojilerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca siber güvenlik kavramı; kuruluş ve kullanıcı varlıkları, bilgi işlem cihazlarını, çalışanları, altyapıyı, uygulamaları, hizmetleri, telekomünikasyon sistemlerini ve siber ortamda var olan ya da depolanan bilgileri de içermektedir (Solms ve Niekerk, 2013: 97).

Eklemele Üretim

Eklemele Üretim (Additive Manufacturing), günümüz imalat endüstrisinde devrim niteliğinde bir teknolojidir. Geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, eklemele üretim 3D modelleme yazılımları kullanarak katman katman malzeme biriktirerek nesnelerin üretilmesini sağlar. Bu teknoloji, karmaşık geometrilere sahip parçaların hızlı ve esnek bir şekilde üretilmesini mümkün kılar ve tasarım özgürlüğü sağlamaktadır. Eklemele üretim, otomotiv, havacılık, tıbbi cihazlar, savunma sanayi, mimari ve daha birçok endüstride çeşitli uygulamalara sahiptir. Bu teknolojinin avantajları arasında üretim süreçlerindeki maliyetleri ve atıkları azaltması, ürünlerin hafif ve dayanıklı olmasını sağlaması, tedarik zincirini kısaltması ve kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimini mümkün kılması yer almaktadır.

Eklemele üretimi en sade şekilde tanımlamak gerekirse; ilk başta üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım yardımıyla tanımlanan bir modelin süreç planlamasına ihtiyaç duymaksızın üç boyutlu yazıcılar sayesinde üretilmesidir. Bu yöntemle karmaşık bir üretim daha kolay hale gelecektir (Yiğitöl vd., 2020: 322). Ayrıca bu yöntemle daha az ürün kullanımı sağlanarak, üretilen ürünlerin daha hafif olması ve değişik tasarımlara sahip ürünlerin de oluşturulması sağlanabilmektedir (Barutçu, 2019: 27).

Eklemele üretim ayrıca üç boyutlu imalat veya masaüstü imalat olarak da isimlendirilir. Bilgisayar kontrolü ile dijital bir veri oluşturarak üç boyutlu bir nesne üretme teknolojisini olarak tanımlanmaktadır. 3D yazıcılar ile plastik, silikon, gıda, cam gibi malzemeleri yazdırarak hava araçlarının bileşenleri, mücevherat, moda tasarım, tıp, diş hekimliği, otomotiv yedek parçası gibi sanayi kollarında imalat yapmak için kullanılmaktadırlar. Bahsedilen üretim esnasında insan gücüne pek gereksinim duyulmadığından Endüstri 4.0 ve karanlık fabrikalar için önemli bir kriter haline gelmiştir (Akben ve Avşar, 2018).

Endüstri 4.0'ın yeni dijital teknolojileri yardımıyla, mevcut seri üretim montaj hatların veriminde ve iş hacminde artış sağlanmıştır. Böylece aynı montaj sistemi üzerinde farklı ürünlerin üretimi de kolaylaşmaktadır. Cobot'lar ve sanal gerçeklik ile eklemele üretim ve üç boyutlu yazıcılar sayesinde, montaj işçilerinin üretkenliğini artmakta ve beraberinde önemli oranda iş gücü tasarrufu sağlanmaktadır (Cohen vd., 2019: 3570).

Eklemeli üretim (AM), Endüstri 4.0'ın ihtiyaçlarını karşılamada kritik bir rol oynamaktadır. Endüstri 4.0, ürün ve hizmetleri geliştirerek müşteri memnuniyetini artıran yeni pazarlara yönelmiştir. Bu süreç, otomasyon, birlikte çalışabilirlik, uygulanabilir içgörüler ve bilgi şeffaflığı gibi unsurları desteklemektedir. Yaklaşan bu endüstriyel devrimde, AM, ürün yeniliği ve gelişiminin merkezinde yer almakta ve bu çarpıcı teknoloji, geleceğin üretim sistemlerindeki çeşitli zorlukları ele alarak sektöre yenilikçi ürünlerin üretilmesinde öncülük edecektir (Haleem ve Javaid, 2019: 1)

Simülasyon

Simülasyon, gerçek bir sistem veya sürecin davranışını modellemek ve taklit etmek için kullanılan bir teknik veya yöntemdir. Bu teknik, gerçek dünya koşullarını taklit eden sanal ortamlar oluşturarak, çeşitli senaryoları değerlendirmek, karar vermek veya eğitim sağlamak için kullanılmaktadır. Simülasyon, pek çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır, özellikle de üretim, lojistik, sağlık, savunma ve eğitim gibi alanlarda kullanılmaktadır. Endüstriyel simülasyonlar, üretim süreçlerini optimize etmek, tedarik zincirini planlamak, operasyonel riskleri değerlendirmek, ürün tasarımını iyileştirmek ve kriz durumlarında hazırlıklı olmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Simülasyon, gerçek dünyadaki maliyetli deneyimleri ve riskleri azaltarak, karar verme süreçlerini iyileştirir ve işletmelerin daha verimli ve etkili olmalarını olanak sağlamaktadır.

Simülasyon, gerçek bir durumun veya bir sürecin taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Özellikle test, optimizasyon ve eğitim alanlarına ait temel kriterlerin fiziksel ve fiziksel olmayan yanlarını canlandırmayı ve modellemeyi ifade etmektedir. En yaygın olarak kullanılan ürün ve süreç simülasyonları, sektörlerine bağlı olarak görsel modelleme, simüle etme ve yorumlama şeklinde kendini göstermektedir. Simülasyonlar, sensörlerden elde edilen verilerle güçlendirilerek daha gerçekçi ve doğruluk oranı daha yüksek görseller oluşturabilirler. Bilgisayarların oluşturduğu üç boyutlu (3D) dünya sayesinde gerçek dünyada var olan durumların simüle edilerek insanların bu üç boyutlu dünya içine girmeleri, gezinmeleri ve diyalog kurmaları sanal gerçeklik (VR) olarak tanımlanmaktadır. Sanal gerçeklik (VR), gerçek zamanlı etkileşimle kullanıcıların deneyimlerini gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. VR sistemleri, kullanan kişinin elleri, başı ve vücut hareketlerini takip ederek kullanıcının sanal ortamda ne gördüğünü, nasıl hareket

ettiğini ve sanal nesnelerle nasıl iletişimde olduğunu ayarlamak için "avatar" adı verilen sanal vücudun hareketleri kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle bilgisayar, başa takılan görsel cihazlar, kulaklıklar ve hareketi algılayan eldivenler gibi teknolojik aletler içermektedir (Vrchota ve Pech, 2019: 24).

Simülasyon, ürünlerin tasarım aşamasında ve üretim süreçlerinin oluşturulmasında ürünlerin modellenmesi ve görselleştirilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu sanal modelleme sayesinde tasarımların ve üretim süreçlerinin arasındaki süre oldukça kısalmaktadır. Yani bir ürünün prototipi neredeyse hiçbir malzeme kullanmadan sanal ortamda tasarlanabilmektedir. Dijital ikiz olarak da isimlendirilen bu sistem sayesinde ürün pazara daha hızlı girmekte ve test hızı da kısaltılmaktadır (Sunman, 2021: 16). Simülasyon ayrıca teknik olarak; gerçek bir dünya sürecinin işletilmesinin zaman açısından taklit edilmesi olarak da açıklanmaktadır. Art arda gelişen ilk üç endüstri devrimi boyunca sanayiye giren buharın, elektriğin ve bilişimin varlığından sonra artık simülasyon teknolojileri de sanayide kendine yer bulmaktadır (EBSO, 2015: 20).

Simülasyon, makinelerle ürünlerin ve insanların bir arada sanal bir ortamda gerçek dünyanın yansımaları sağlamaktadır. Böylece fiziksel bir değişimden önce sanal dünyada bir sonraki ürünün makine ayarları test edilip ayarlanarak makine kurulum süresinin azaltılması ve kalitenin de artırılması hedeflenmektedir. Simülasyon ayrıca sanal gerçeklik (virtual reality) olarak da tanımlanmaktadır (Bayrak, 2018: 43).

2.2.3. Dünyada Endüstri 4.0

Dünyada Endüstri 4.0, endüstriyel dönüşümün ve dijitalleşmenin en önemli kriterlerinden biri olarak daha fazla kendinden söz edilir hale gelmiştir. Endüstri 4.0, sanayide dijital teknolojilerin kullanımını ve akıllı üretim sistemlerinin benimsenmesini ifade etmektedir. Bu kavram, üretim süreçlerinde otomasyonun artması, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zekâ, bulut bilişim ve diğer gelişmiş teknolojilerin birlikteliğini içermektedir. Endüstri 4.0, organizasyonların daha esnek, verimli ve rekabetçi olmalarını sağlar, aynı zamanda ürünlerin ve hizmetlerin kişiselleştirilmesini ve müşteri deneyiminin iyileştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Dünya genelinde birçok ülke ve endüstriyel sektör, Endüstri 4.0'ın getirdiği fırsatları değerlendirerek dijital dönüşüm sürecine hızla uyum sağlamaktadır. Özellikle, Almanya'nın "Endüstri 4.0" terimine öncülük etmesi ve bu konuda bir strateji belirlemesi, diğer ülkeleri ve endüstrileri de bu yönde hareket etmeye teşvik etmiştir. Çin, ABD, Japonya, Güney Kore ve diğer birçok ülke, endüstriyel altyapılarını güçlendirmek ve rekabet avantajı sağlamak için Endüstri 4.0 prensiplerini benimsemekte ve uygulamaktadır. Endüstri 4.0'ın küresel ekonomi ve iş dünyası üzerindeki etkileri oldukça çeşitlidir. Bu teknolojik dönüşüm, işletmelerin rekabet gücünü artırmakla kalmaz, aynı zamanda işgücü dinamiklerini, üretim modellerini ve tedarik zinciri yönetimini değiştirir. İşletmeler, üretim süreçlerindeki verimliliği artırırken, daha sürdürülebilir ve çevresel dostu uygulamaları benimsemek için de fırsatlar yaratmaktadır.

İşletmelerin en önemli hedefleri, ürünleri daha kaliteli hale getirerek daha düşük maliyetlerle ve zamanından daha erken üreterek teslim etmektir. Bu hedefe ulaşmalarının etkili yolu Endüstri 4.0 dönüşümlerini tamamlamalarından geçmektedir. 2015 yılında Boston Consulting Group'un (BCG) Almanya imalat endüstrisi üzerinde yaptığı çalışma sonuçlarına göre; Endüstri 4.0 ile verimlilik, kazanç, iş ortamı sağlama ve yatırım konularında olumlu anlamda önemli gelişmeler kaydedilecektir. Önümüzdeki on yıllar içerisinde daha fazla şirketin Endüstri 4.0 kavramını benimsemesi ve beraberinde verimlilik artışının sağlanmasıyla üretim sektöründe ciddi kazançların elde edilmesi ön görülmektedir (Yılmaz, 2016).

Endüstri 4.0' öncü ekonomilerinden biri olan Almanya'nın, bu dönüşümü gerçekleştirmesiyle küresel rekabet ortamında hissedilir bir iyileşme elde etmesi beklenmektedir. The Boston Consulting analizine göre, Endüstri 4.0'ı uygulamaya koyan Alman üretim sektöründe toplam maliyetlerde %5-8, dönüştürme maliyetlerinde %15-25 verimlilik artışı mümkün görünmektedir. Malzeme maliyetleri hariç tutulduğunda işletim maliyetlerinin %20 oranında düşmesi beklendiğinden Alman üreticilerinin üretim proseslerini ve süreçlerini Endüstri 4.0'a uyarlamaları ve bu yönde büyük miktarlarda yatırım yapmaları öngörülmektedir. Üretim yöntemlerinin adaptasyonu için bu yatırımların yapılması son derece önem taşımaktadır. Aynı zamanda kuruluşların gelişmiş teknolojilere, tüketicilerin ise özelleştirilmiş ürünlere olan ilgisinin artmasıyla talepte görülecek artışla aynı dönemde istihdamda da %6'lık bir artışın olması beklenmektedir (TUSIAD, 2016).

Dünya genelindeki firmaların önlerindeki beş yıl içerisinde dijital fabrikalara yapacakları yatırımlarla ilgili gerçekleştirilen bir dizi araştırma sonucunda; yatırımlarının %77'sini Almanya ve Batı Avrupa'da dijital fabrikalar kurma yönünde planladıkları görülmektedir. Bu durumun özellikle daha küçük şirketler için geçerli olduğu ve bu şirketlerin dijital fabrikalara toplam yatırımlarının %87'sini Avrupa'da bulunan tesislere ayırmayı planladıkları saptanmıştır. Buna karşılık, daha büyük fabrikalar, Avrupa için planlanan aynı zaman diliminde yatırım hacminin %61'i ile yatırım yapmayı istemektedir. Diğer bölgelerin dijital fabrikaları kurmaya veya genişletmeye çok daha az odaklandıkları belirlenmiştir. Örneğin, katılımcılar genel olarak yatırımlarının yalnızca %7'sini Asya'ya ve %5'ini Doğu Avrupa'ya tahsis etmeyi planlamaktadır (PwC, 2016: 13).

Üretimin büyük bir bölümünün robotlar tarafından yapılacak olmasının istihdamda önemli sorunlar yaratacağı endişesi de istihdam oranında yaşanması beklenen artışla birlikte giderilmiş olmaktadır. Özellikle mekatronik ve makine mühendisliği, yazılım geliştirme ve IT alanlarında iş gücüne olan ihtiyacın artması beklenmektedir. Bu duruma karşın, tekrarlayan işleri yapan, düşük yetkinlik seviyesindeki mesleklere olan ihtiyaç da azalacaktır. Her ne kadar Almanya, Endüstri 4.0'ın lideri konumunda bulunsun da 2015 yılında ABD, Almanya ve Japonya'da gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sonucunda Alman şirketlerinin Endüstri 4.0 yatırımlarında sanıldığı gibi başı çekmediği ortaya konulmuştur. Almanya Ar-Ge harcamalarının %15'i kadar bir bölümünü Endüstri 4.0 için ayırırken, Amerika'da bu oran %29 ile dikkat çekmektedir. Ayrıca Amerika'nın Endüstri 4.0 ile ilişkili gelirlerinin toplama oranı %30 iken bu oran Almanya'da %19, Japonya'da ise %11 olarak görülmektedir (Yılmaz, 2016).

Almanya ve bazı gelişmiş ülkelerin Endüstri 4.0'a ilişkin stratejileri şöyle sıralanmaktadır:

2011 yılında "Endüstri 4.0" kavramının, iş dünyası, siyaset ve akademik bireylerden de alınan destekle Alman imalat endüstrisini daha da güçlendirmek amacıyla kamuoyuna tanıtılmasının ardından, Alman hükümeti de "Almanya için High-Tech Stratejisi 2020" eylem planının bir parçası olduğunu ifade ederek bu stratejik girişimi desteklemiştir. Daha sonra oluşturulan "Endüstri 4.0 Çalışma Grubu" da Nisan 2013'te "Endüstri 4.0" stratejik planını yayınlamıştır (Kaggermann vd., 2013: 77, Mario vd., 2015: 5). Bu süreçten sonra Almanya'nın önemli markalarından Volkswagen, BMW ve SAP gibi şirketler de kendilerini

keşfetmelerine olanak tanıyan yenilikçi güçlerini önemle vurgulamışlardır. Almanya'da endüstriyel bilgi entegrasyonu, üretimin sayısallaştırılması, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve yapay zekaya odaklanan Endüstri 4.0 aynı zamanda yeni üretim stratejisi olarak kabul görmektedir (Li, 2018: 66).

İngiltere geleneksel olarak araştırmacı ve yenilikçi bir ülke olarak tanınmaktadır. Modern ve yenilikçi teknolojisi Alman Endüstri 4.0 konseptiyle birlikte daha da ilerleme göstermiştir (Yang ve Gu, 2021:1321). Örneğin, “UK CATAPULT – Yüksek Değer Üretim” adı altında imalat endüstrilerinde dijital teknolojilerin kullanılmasını teşvik etmek amacıyla üniversite ve sanayi iş birliğini kapsayan stratejik bir plan oluşturulmuştur (Ardito vd., 2017: 326). Ayrıca 2013 yılında "İmalatın Geleceği" adlı uzun vadeli bir eylem planı uygulanarak İngiltere imalatının 2050'ye kadar varlığını desteklemek için yeniden politikalar oluşturulmuştur (Ing vd., 2019: 1186).

Japonya, toplumsal ve küresel sorunları çözmek için siber ve fiziksel dünyaları bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bunu yaparken de insan odaklı bir toplum yapısıyla (Society 5.0) dijitalleşme hedefini gerçekleştirmek istemektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019: 9).

Çin'in endüstriyel kapasitesini çağdaşlaştırmak amacıyla 2015 yılında Başbakan Li Keqiang, "Made in China" (MIC 2025) olarak adlandırılan girişimi başlatmıştır. Yaklaşık olarak on yılı kapsayan bu strateji on stratejik sektörde akıllı üretime odaklanmakta ve Çin'in robotik, havacılık, elektrik ve yenilenebilir enerjilerde küresel bir güç merkezi oluşturma amacına sahiptir (ISDP, 2018). Bu girişim ayrıca Çin teknolojisini geliştirmek, yükseltmek ve hızlandırmanın yanı sıra, üretim stratejilerini diğer işgücü maliyeti düşük ülkelerle girilen rekabete uyarlamak için yeniden yapılandırmayı ve Çin markalarını tanıtmayı da içermektedir. Böylece Endüstri 4.0'a ulaşmak için temel güçlüklerden olan otomasyon, bilgisayar ve iletişim ve veri bilimine de katkıda bulunulacaktır (Yang ve Gu, 2021: 1319).

Amerika Birleşik Devletleri 2011'den başlayarak yeni nesil üretime liderlik etmeye hazır olmak amacıyla kamu ve özel sektör arasında ulusal düzeyde birtakım eylemler başlatmıştır. “İleri İmalat Ortaklığı” (AMP) adı verilen bu faaliyetler ülkede yeni bir imalat dönemi vaat etmektedir (President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2014:

13). ABD dijital üretim ve otomasyon alanındaki çalışmalarına son hız devam ederken akıllı fabrika sistemi için zorunlu olan siber fiziksel sistemler üzerinde de çalışmalarını yoğunlaştırmaktadır. Akıllı fabrikalarda kullanılacak işgücünün geliştirilmesine yönelik araştırmalar sürerken robotik sistemlerin geliştirilmesi amacıyla bilimsel araştırmalar yapılmakta aynı zamanda simülasyon araçları konusuna da odaklanılmaktadır (Acet ve Koç, 2020: 2247).

2.2.4. Türkiye’de Endüstri 4.0

Türkiye’de Endüstri 4.0, son yıllarda hızla gelişen bir konu haline gelmiş ve sanayi sektöründe dijital dönüşümü hedefleyen önemli bir strateji olarak kabul edilmiştir. Türkiye, Endüstri 4.0’ın getirdiği fırsatları değerlendirerek rekabet gücünü artırmayı ve sanayi altyapısını daha rekabetçi hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye’de birçok proje, teşvik programı ve strateji belirlenmiş ve uygulanmıştır.

Türkiye’de Endüstri 4.0’ın benimsenmesi ve uygulanması, çeşitli endüstriyel kümelenmeler, Ar-Ge merkezleri ve üniversiteler arasında iş birliğini teşvik etmek suretiyle desteklenmektedir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın başlattığı "Akıllı Üretim Teknolojileri Alanında Yetkinliklerin Artırılması Projesi" gibi programlar, Türkiye’nin Endüstri 4.0’a geçişini hızlandırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi, Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve dijital altyapının güçlendirilmesi gibi stratejik adımlar da atılmaktadır.

Türkiye, büyük avantaj sağlayan coğrafi konumu sayesinde düşük maliyetli üretim yapma avantajını kullanarak küresel ekonomide rekabetçi bir konumda yer almaktadır. İş gücü maliyetlerinin düşük olması, üretim ücretleri, enerji maliyetleri ve döviz kurları gibi kriterler, Türkiye’nin bu avantajını destekleyen unsurlar arasında yer almaktadır. BCG Global Üretim Maliyeti Endeksi’ne göre, Türkiye ortalama 98 birim maliyetle üretim yaparken, ABD 100, Almanya ise 121 birim maliyetle üretim gerçekleştirmektedir. Bu durum, Türkiye’deki üretim maliyetlerinin Almanya’ya kıyasla %23, ABD’ye kıyasla ise %2 daha düşük olduğunu göstermektedir. Ancak, Almanya’nın Endüstri 4.0 faaliyetlerini başarıyla uygulaması ve beraberinde işleme maliyetlerinde öngörülen %20 oranında bir azalma gerçekleşmesi durumunda, Türkiye’nin mevcut rekabet avantajını koruyabilmesi

için üretim maliyetleri ve verimlilik gibi rekabet değişkenlerinde iyileştirme yapması gerekecektir. Aksi takdirde, Türkiye'nin Almanya'ya karşı sahip olduğu rekabet avantajını büyük ölçüde kaybetmesi muhtemeldir (TUSIAD, 2016: 33).

“Dördüncü Sanayi Devrimi” olarak adlandırılan ve teknolojik ilerlemeler ile dijital dönüşümü içine alan bu gelişim süreci, insanlık için önemli olanaklar sunarken, ülkeler açısından ise tüm dengelerin değiştiği ve rekabet şartlarının yeniden şekillendiği bir ortam yaratmaktadır. Yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri, nanoteknoloji, biyoteknoloji, robotik gibi ileri teknolojiler; üretimi, tüketimi, sosyal yapıyı ve politikaları da hızla dönüştürmektedir. Sanayi ve teknoloji alanlarını da etkileyen bu dönüşüm, küresel ekonomiyi ve insanlığın refah düzeyini hissedilir bir şekilde değiştirmektedir (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [BTK], 2022: 23). Bu doğrultuda yüksek teknoloji ve katma değer üretmek amacıyla, ülkemizde T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2019 yılında “Milli Teknoloji Güçlü Sanayi” vizyonunu gerçekleştirmek üzere “2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi” hazırlanmıştır. Bu strateji: “Yüksek Teknoloji ve İnovasyon”, “Dijital Dönüşüm ve Sanayi Hamlesi”, “Girişimcilik”, “Beşerî Sermaye” ve “Altyapı” olmak üzere 5 ana bileşenden oluşmaktadır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019: 3).

Türkiye hem genç nüfusun yoğunluğu hem de jeopolitik konumu sayesinde her türlü yenilikçi teknolojiye kolay ulaşması ve elde etmesi açısından büyük öneme sahiptir. Fakat Endüstri 4.0 ile ilgili gelişmeler Avrupa ülkelerine göre ülkemizde daha geç varlık göstermiştir (Türkcan, 2022: 13). Dünyada gelişmeler devam ederken ülkemizin yeni endüstri devrimindeki yerinin güçlendirilmesi ve dönüşümün hızlandırılması amacıyla 2016 yılında Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK) 29. Toplantısı'nda bu konuya ilişkin bazı karar alınmıştır (TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı, 2016: 3):

- Yürütme, Uygulama ve İzleme Modeli (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı)
- Hedef Odaklı Ar-Ge Çalışmaları (TÜBİTAK)
- Teşvik ve Destek Mekanizmaları (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı)

Özetle, Türkiye'nin sanayisinin ve küresel ekonomideki rekabetçi tutumunun gelişmesi için temel bir faktör ve fırsat olarak görülen Endüstri 4.0'ın içselleştirilmesi ve

beraberinde tüm paydaşların ortak bir hedef etrafında birleşerek çalışması zorunluluk arz etmektedir. Bu sebeple Türkiye, önündeki fırsatları hayata geçirmek amacıyla gerekliliklerini, önceliklerini ve bir yol haritasını mutlaka ortaya koymalı ve önümüzdeki on yıl için ülke gündeminin en temel unsurlarından biri haline gelmelidir (TÜSİAD, 2016: 63).

2.3. Endüstri 4.0'ın Üretim Süreçlerine Yansımaları

Endüstri 4.0, geleneksel üretim süreçlerine köklü bir dönüşüm getiren ve endüstriyel peyzajı tamamen değiştiren bir paradigma değişikliğini ifade etmektedir. Bu dönüşüm, dijital teknolojilerin hızla gelişmesi ve yayılmasıyla birlikte ortaya çıkan akıllı fabrikalar, otomasyon sistemleri ve veri odaklı üretim yöntemleriyle gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0'ın üretim süreçlerine yansımaları oldukça çeşitlidir ve işletmelerin rekabet avantajı sağlamalarını, verimliliklerini artırmalarını ve müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı ve esnek bir şekilde yanıt vermelerini mümkün kılmaktadır.

Şüphesiz ki bu dönüşümün en önemli yansımalarından biri, akıllı üretim sistemlerinin benimsenmesidir. Endüstri 4.0 yaklaşımı ile, işletmeler geleneksel üretim hatları, nesnelerin interneti (IoT) sensörleri ve cihazlarının entegrasyonu ile donatılarak gerçek zamanlı veri toplama ve analiz yapma yeteneği kazanmaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın üretim süreçlerine yansımaları arasında artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) gibi ileri görselleştirme teknolojilerinin kullanımı da yer almaktadır. Bu teknolojiler, tasarım süreçlerini iyileşmesi, eğitim ve simülasyon imkanları sunarken üretim hatlarının daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

Bununla birlikte, robotik sistemlerin ve yapay zekâ tabanlı çözümlerin üretim süreçlerine entegrasyonu da Endüstri 4.0'ın önemli yansımaları arasındadır.

2.3.1. Esnek Üretim Sistemleri

Esnek üretim sistemleri, günümüzün rekabetçi ve hızla değişen iş ortamında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, üretim süreçlerindeki çeşitliliği ve değişkenliği yönetmek ve müşteri taleplerine hızlı ve esnek bir şekilde yanıt vermek için tasarlanmıştır. Esnek üretim sistemleri, genellikle otomasyon, robotik, bilgi teknolojileri ve diğer ileri

Üretim teknolojilerinin entegrasyonuyla sağlanmaktadır. Bu sistemler, üretim hattının yeniden yapılandırılmasını, üretim miktarlarının kolayca ayarlanmasını ve farklı ürünlerin hızlı bir şekilde geçiş yapmasını mümkün kılmaktadır.

İşletmeler, üretilen ürün yelpazesini çeşitlendirmenin yanı sıra üretim her aşamada kalite kontrolünü yapmak, üretimdeki fireleri minimize etmek ve stok miktarını azaltarak kaynak kullanımını daha etkin bir şekilde yönetmek istemektedir. Bu hedeflere ulaşabilmek ve rekabet ortamında avantaj sağlayabilmek için işletmeler, üretim sistemlerini gelenekselden modern üretim sistemlerine kaydırmaktadırlar. Modern retim sistemlerinden biri olan Esnek retim Sistemleri (ES), yoğun otomasyon ve ileri teknolojilerle desteklenen, montaj hatlarının bulunmadığı ve üretim faktörlerinin hızla sürece entegre edilebildiğı bir üretim modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem, rimi zamanında tüketicie ulaştırmayı kolaylaştırırken, çalışanların bu dinamik ortama uyum sağlamasına olanak tanır ve geleneksel sistemlere kıyasla değişikliklere daha hızlı yanıt verebilme yeteneğı sunar (Acar vd., 2007: 4).

Esnek retim sistemleri, farklı endüstrilerde ve işletmelerde çeşitli şekillerde uygulanabilir. Örneğin, otomotiv endüstrisinde, birçok farklı modelin üretimini aynı üretim hattında gerçekleştirmek için esnek üretim sistemleri kullanılırken, gıda endüstrisinde, değişen tüketiciler taleplerine hızlı bir şekilde yanıt vermek için kullanılabilmektedir.

Esnek retim sistemleri, işletmelere bir dizi avantaj sunar. Örneğin, müşteri taleplerindeki ani değişikliklere hızlı bir şekilde yanıt verme yeteneğı sayesinde, müşteri memnuniyetini artırmak, stok seviyelerini optimize etmek, üretim maliyetlerini azaltmak ve üretim verimliliğini artırmak gibi. Esnek retim sistemleri aynı zamanda iş gücünün kullanımını optimize edilmesi ve işçi güvenliğinin arttırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Değişim gösteren dünya pazarlarının yapıları, eşitleri ve üretilen malların nitelikleri tüketiciler tarafından belirlendiğinden, modüler üretim yöntemiyle müşterilerin istek ve ihtiyaçlarının karşılanarak üretimde hız ve esnekliğin ön plana çıkarılması sağlanmaktadır. Böylesine dinamik bir rekabet ortamında üretim işletmelerinin varlık gösterebilmeleri için üretimde kullanılan hibrid teknolojilere (CAD, CAM) entegre olmaları zorunlu hale

gelmiştir. Günümüzde işletmelerin daha küçük ölçeklerde üretim yapma eğiliminde olması, ürün ömrünün kısalması, yeni ürünlerin hızlı bir şekilde piyasaya sunulması gibi gereksinimler, tasarım ve üretim süreçlerinin daha esnek hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum, işletmelerin Esnek Üretim olarak adlandırılan üretim sistemlerine geçiş yapmasına neden olmuştur. Esnek Üretim Teknolojileri; bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik, simülasyon, robotik, sensör teknolojileri ve biyoteknoloji gibi yenilikçi sistemlerin yanı sıra, sistem yönetimini de kapsayan bir dizi teknolojiyi içermekte olup, Esnek Üretim Sistemlerinin (EÜS) temel yapı taşları arasında yer almaktadır (Kazan ve Günlük, 2006: 3).

2.3.2. Toplam Kalite Yönetimi

Günümüzde işletmeler artan rekabet baskısına ve dünyanın değişim hızına ayak uydurabilmek için farklı yönetim şekilleri uygulayarak kaliteyi yükseltip rekabet gücü kazanmayı hedeflemektedirler. Bu yöntemlerden biri de toplam kalite yönetimidir. Toplam kalite yönetimi, kalite kontrol ve standartlara uyumun ötesinde bir felsefedir. İlk olarak sadece ürünün kalitesine önem veren kalite kontrol kavramının zamanla değişim göstererek tüm birim ve süreçlerde var olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda ürün ve hizmetin kalitesi, problem çözme teknikleri, müşteri memnuniyeti, süreçlerin kalitesi gibi kavram ve tekniklere önem verilmiştir (Akdağ, 2005: 160).

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), bir işletmenin veya organizasyonun tüm çalışanlarını kaliteyi artırmaya odaklanarak işletme performansını ve müşteri memnuniyetini geliştirmeyi amaçlayan bir yönetim felsefesidir. TKY, sürekli iyileştirme, müşteri odaklılık, liderlik angajmanı ve sürekli eğitim gibi prensiplere dayanmaktadır. Bu yaklaşım, kaliteyi işletmenin her seviyesine entegre ederek, işletmenin sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde etmesine yardımcı olur.

TKY'nin ana prensiplerinden biri sürekli iyileştirme ve mükemmeliyeti hedeflemektir. Bu, işletmenin sürekli olarak süreçleri, ürünleri ve hizmetleri iyileştirmesini ve en iyi uygulamaları benimsemesini içerir. Ayrıca, müşteri odaklılık prensibi, müşteri ihtiyaçlarını anlamayı, beklentilerini karşılamayı ve müşteri memnuniyetini sağlamayı vurgular.

İşletmelerin başarılı olabilmesi ve uzun dönemde karlı satışlar yapabilmesi; işletmelerin hem şu andaki hem de gelecekteki muhtemel müşterilerini tatmin ederek elde tutmasını gerektirmektedir. Müşteri tatmini için öncelikle müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenerek süreçlerin bu gereksinim ve beklentileri doğru zamanda karşılayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bir işletme karlarını en üst düzeyde tutmak için verimlilik ve etkinlik odaklı çalışması gerekmektedir. Bu sebeple müşterinin beklentilerini karşılayan mal veya hizmetin en düşük maliyetle üretilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, maliyetlerin minimize edilmesi ve müşteri memnuniyetinin en üst düzeye çıkarılması adına, müşteri gereksinimlerinin tasarım aşamasından itibaren dikkate alınması ve üretim sürecindeki hata, fire ve ıskarta oranlarının en aza indirilmesi gerekmektedir ancak, müşteri isteklerinin tasarım sürecine entegre edilmesi geleneksel pazar yöntemleriyle yeterince mümkün olmadığından, bu yöntemlerin yerine kitlesel bireyselleştirme uygulamalarının geçmesi kaçınılmaz hale gelmiştir (Bardakçı ve Ertuğrul, 2004: 208).

Toplam Kalite Yönetimi, Japonya'da, 1980'lerin başından itibaren yaygınlaşmaya başlayan ticari işletmelerin kalitesini ve üretkenliğini artırmayı hedefleyen bir yönetim yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Bu sebeple 1990'lı yıllarda, müşteri memnuniyetini önemseyen ve işletme performansını artıran bu yönetim felsefesi pek çok işletme arasında popülerlik kazanmıştır (Sahoo ve Yadav, 2018: 542).

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), iç ve dış müşteri beklentilerini aşmayı hedefleyen, çalışanların bilinçlendirilip yetkilendirilmesi ve ekip çalışmasıyla süreçlerin sürekli olarak iyileştirilmesini esas alan bir yönetim anlayışı olarak tanımlanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde TKY, diğer yönetim anlayışlarından farklı bir öneme ve yere sahiptir. Ayrıca TKY, tüm süreçlerin, ürünlerin ve hizmetlerin tüm paydaşların katılımıyla geliştirilmesini, müşteri memnuniyetinin artırılmasını ve müşteri bağlılığının oluşturulmasını temel alır. Müşteri beklentilerini merkeze alan bu çağdaş yönetim tarzı, kaliteyi müşteri tarafından tanımlanan bir kavram olarak ele alır ve tüm ürün ve hizmetlerde bu kaliteyi barındırmayı hedefler. Müşteri, işletme süreçleri tarafından üretilen ürün ya da hizmeti kullanan bireyler olarak tanımlanır. İşletme içerisinde yer alan bireyler "iç müşteri", işletmenin ürün veya hizmetlerini satın alan bireyler ise "dış müşteri" olarak adlandırılmaktadır. Bu ayrım, işletme süreçlerinin müşteri odaklı bir anlayışla yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Çakar ve Serdar, 2002: 87).

2.3.3. Yalın Üretim

Yalın Üretim (LM), Japonya'da geliştirilen bir iş stratejisidir. Yalın üretimin temel amacı, israfın belirlenerek ortadan kaldırılmasını sağlamaktır. Şirketler yalın üretimi, üretim sisteminin üretkenliğini ve ürünün kalitesini artırarak rakiplerine karşı üstün rekabet gücü sağlamak için şirketlerinde uygulamaktadırlar (Rohani ve Zahraee, 2015: 6).

Yalın Üretim ve Endüstri 4.0, işletmelerin üretim süreçlerini iyileştirmek için kullanılan iki önemli yönetim felsefesidir. Yalın Üretim, israfı en aza indirerek ve sürekli iyileştirmeyi teşvik ederek verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, değer katmayan faaliyetlerin tanımlanması ve ortadan kaldırılması, müşteri odaklılık ve çalışan katılımını teşvik etme gibi prensiplere dayanmaktadır. Öte yandan, Endüstri 4.0, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonunu vurgular. IoT, yapay zeka, büyük veri analitiği gibi teknolojiler, üretim süreçlerini izleme, analiz etme ve optimize etme yeteneğini artırırken, bu yaklaşım, işletmelere daha esnek, ölçeklenebilir ve müşteri odaklı bir üretim ortamı sağlamaktadır. Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 birbirini tamamlayıcı yaklaşımlar olarak görülür; çünkü Yalın Üretim, Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik imkanları verimlilik artışına dönüştürmeye odaklanırken, Endüstri 4.0 da Yalın Üretim prensiplerini dijitalleşme sürecine entegre ederek daha etkin ve esnek üretim sistemleri oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Bu iki yaklaşımın birleşimi, işletmelerin rekabet gücünü artırmak ve sürdürülebilir bir üretim ortamı oluşturmak için güçlü bir strateji sunmaktadır.

Firmalar, küresel pazarda verimliliğini ve rekabet gücünü artırmak için yeni üretim yönetimi stratejilerini uygulamak zorunda kalmışlardır. Üreticilerin günümüzde karşılaştığı en zorlu konu, ürünlerini düşük maliyet ve yüksek kalitede hızlı bir şekilde nasıl tüketiciye ulaştıracakları konusudur. Üretim hatları, inşaat süreci, enerji, hizmetler ve tedarik zincirlerinde kaynakların en iyi birlikteliği belirlenerek verimliliği ve üretkenliği artırmak için bilgisayar simülasyonu, istatistiksel analiz ve yalın araçlar gibi çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmaktadır. Birçok imalat firmasının farklı şekil ve isimlerde uyguladığı Yalın Üretim (LM), etkin üretim yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Yalın üretim kavramı, 1950'lerde ünlü Toyota Üretim Sistemi (TPS) olarak bilinen bir Japon otomotiv şirketi Toyota tarafından önerilmiştir. TPS'nin hedefi, israfı veya katma değeri

olmayan faaliyetleri yok edip maliyeti düşürerek verimliliği artırmaktır (Zahraee vd., 2014: 119).

İşletmeler, iş süreçleri ve proje yönetimi uygulamalarının yanı sıra üretim süreçlerini de geliştirmeleri gerekmektedir. Buradan yola çıkarak Üretim, Toyota Üretim Sistemine (TPS) dayalı olarak geliştirilen ve bu değişkenleri etkili bir biçimde yöneten metodoloji haline dönüşmüştür. Yalın Üretim, müşteri açısından değer katmayan tüm faaliyetlerin sürekli iyileştirilmesini ve düzenli olarak israfın azaltılmasını temel amaç edinmiş bir uygulamadır (Sousa vd., 2018: 869).

2.3.4. Süreç Odaklı Üretim

Endüstri 4.0'ın en önemli bileşenlerinden birisi olan süreç odaklı yönetim, işletmelerin faaliyetlerini belirli süreçlere odaklanarak yönetme yaklaşımını ifade etmektedir. Bu yönetim felsefesi, işletmelerin iş süreçlerini anlamalarını, optimize etmelerini ve sürekli olarak iyileştirmelerini sağlamaktadır. Süreç odaklı yönetim, işletmelerin işletme genelindeki etkinliği artırmak, maliyetleri azaltmak, kaliteyi artırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için kullanılmaktadır.

Bu yönetim yaklaşımı, işletmenin faaliyetlerini belirli iş süreçlerine ayırır ve bu süreçlerin her birinin başlangıcından sonuna kadar nasıl çalıştığını anlamayı amaçlamaktadır. Süreçlerin belirlenmesi, tanımlanması, ölçülmesi ve iyileştirilmesi süreciyle birlikte, süreç odaklı yönetim, işletmenin süreçler arasındaki koordinasyonu ve iş birliğini artırmayı hedeflemektedir.

İş Süreçleri Yönetimi kapsamında; süreçlerin nasıl çalıştığını anlamanın yanı sıra iyileştirme sağlamak amacıyla organizasyonun tüm süreçlerinin tespit edilmesi, tanımlanarak belgelenmesi, uygun kişiler atanması ve belli aralıklarla süreçlerin incelenip değerlendirilmesi faaliyetleri mevcuttur. İş süreci yönetiminin gerçekleştirilmesindeki en önemli unsur, süreçlere dair bütün detayların tespit edilerek, süreç akış şemaları oluşturulmasıdır. Süreç akış şemalarını oluşturmadan önce süreçlerin belirlenmesi görüşmelerin yapılması ve süreçlerle ilgili gerekli bilgiler toplanmalıdır. İş süreci modellemede farklı amaçlara yönelik farklı teknikler kullanılmaktadır. İş Süreçleri

Yönetiminde iş süreci modellemesi uygulanarak, süreçleri bulunduğu durumundan daha verimli, daha işlevsel ve değişen şartlara bağlı olarak daha uyumlu bir hale getirilmesini amaçlanmaktadır (Tecim ve Sinan, 2009: 166-167).

İş Süreçleri Yönetimi (BPM), hem bilgisayar bilimi hem de yönetim bilimi alanlarında yer alması nedeniyle başlangıç noktasını net bir şekilde belirlemek oldukça zordur. Sanayi devriminden günümüze kadar, iş organizasyonlarındaki gelişmeler, bilgi teknolojisinin kullanımı ve çeşitli yenilikler sayesinde üretkenlik sürekli olarak artış göstermiştir (Van der Aasalt, 2013: 2)

BPM, organizasyonların rekabet avantajı elde etmesi ve sürdürülebilirlik sağlaması amacıyla tasarlanmış bir sistemdir. Temel hedefi, müşterilerin hızla değişen ihtiyaçlarına yanıt vermek, süreçleri geliştirmek ve sürekli olarak iyileştirmektir. BPM, süreçlerin yazılımlarla uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla, süreçlerin “tanımlanması, modellenmesi, uygulanması, yürütülmesi, izlenmesi, kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi” gibi aşamaları içermektedir. Bu yaklaşım, organizasyonların iş süreçlerini daha verimli ve esnek bir şekilde yönetmesine olanak tanımaktadır (Salvadorinha ve Teixeiraa, 2021: 983).

2.3.5. Tedarik Zinciri Yönetimi

1980li yıllarda üretim yapanlar, verimliliği artırmak amacıyla Tam Zamanında Üretim (JIT), Toplam Kalite Yönetimi (TQM) gibi yöntemler kullanmışlardır. Günümüzde müşterilerin daha özel hale gelmesi ve ihtiyaçlarını karşılamak için farklı ve özelleştirilmiş ürünlere ihtiyaç duymaları, daha fazla kişiselleştirilmiş ürün üretimine ve esnekliğe zemin hazırlamaktadır. Standartlaştırılmış, seri üretimde bulunan üreticiler, tedarik sürelerini azaltmak için farklı üretim uygulamalarını incelemektedirler. Sipariş üzerine üretim ve sipariş üzerine montaj yapan üreticiler de daha küçük üretim boyutu ve daha kısa teslimat süresi için üzerinde çalışmaktadırlar. Özet olarak, esnek olması, maliyetinin düşüklüğü, yüksek kalitesi ve verimli küçük seri üretimi vurgulayan kitlesel özelleştirme stratejileri günümüzün en önemli üretim kriterleri haline gelmiştir (Tan vd., 1998: 3).

Bu bağlamda, Tedarik zinciri, malzemenin elde edilmesi sürecinden başlanarak son ürüne dönüştürülmesi ve bu son mamülün de müşterilere dağıtımının gerçekleştirilmesini

sağlayan bir ağ olarak tanımlanmaktadır. Daha geniş olarak tanımlanacak olursa tedarik zinciri, hammadde ve parçaların tedarik edilmesinden son ürüne çevrilmesi, sonrasında katma değerli ürünlerin perakendeci ve tüketicilere dağıtılması, iş süreçlerinin birlikte dengeli biçimde hareket edebilmeleri amacıyla bilgi alışverişinin kolaylaştırılması sağlayan kompakt sistem olarak da tanımlanmaktadır. Tedarik zincirine dahil olan alanlar arasında iş süreçleri için gerekli olan malzemelerin tedariği, üretim, satış tahmini ve süreci, müşteri hizmetleri, envanter yönetimi ve lojistik yer almaktadır (Öztürk, 2016: 18, Min ve Zhou, 2002: 231).

Müşteri odaklı bir kurumsal vizyon ve etkili bir tedarik zinciri yönetimi sayesinde işletmelerde farklı şekillerde rekabet avantajı sağlanmaktadır. Firmaların kısa vadeli hedefleri, öncelikle üretkenliği artırmak, envanter ve döngü süresini azaltmak iken, uzun vadeli stratejik hedefleri ise, sanal organizasyonun tüm üyeleri için müşteri memnuniyetini, pazar payını ve karları artırmak olmaktadır. Bu hedefleri gerçekleştirmek için satın alma fonksiyonunun; tedarikten ürün tasarımına ve teslimata kadar tüm tedarik kaynakları ile organizasyonun kendisi arasındaki çok önemli bağlantı olduğu tüm stratejik ortaklar tarafından kabul edilmelidir. Tedarik zinciri yönetimi, dahili ve harici tedarikçi yeteneklerinin ve teknolojisinin daha iyi kullanılması yoluyla geliştirilmiş performans temellidir. Bu da şirketler arası rekabeti tedarik zinciri rekabetine yükseltebilir (Tan vd., 1998: 5).

2.3.6. Altı Sigma

Sigma sembolü Yunan alfabesinde bir harftir. Büyük harf sigma (Σ), toplam simgesi olarak kullanılırken küçük harf sigma (σ) ise istatistikte standart sapma olarak kullanılmaktadır. Dağılım, yayılma ve farklılaşma ölçüsü olarak tanımlanan standart sapma, belirli koşullardaki değerler arasında farklılaşmaya bağlı olarak büyüme ya da küçülme eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla sigma değerinde iyileşmenin sağlanması maliyet ve çevrim zamanını azaltırken aynı zamanda müşteri memnuniyetinin de artmasına yardımcı olur (Özveri, Çakır, 2012: 18).

Altı Sigma'yı farklı açılardan tanımlamak gerekirse; Toplam Kalite Yönetimi altında yanlışların bulunması yolunu gösteren bir yöntemdir. Sıfır hatayı hedeflerken değişkenlere

yani hatalara odaklanan süreç temelli ve süreç verimliliğinin izlendiği bir metodolojidir. Altı sigma, bir sürecin mükemmellikten sapma derecesini göstermesiyle üretimdeki kusur sayısının da saptanmasına olanak sağlar. Milyon sayıda kusur sayısı süreç sigma düzeyi olarak ifade edilirken bu düzey ilgili sürecin, kaybettiği değer oranını da göstermektedir. Sigma düzeyinin ilgili olduğu karakteristik özellikler; hata, kalitesizlik maliyeti ve verimlilik gibi birbirleriyle ilgili olan önemli kavramlardır. Süreç sigma düzeyine göre o sürecin elemanları analiz edilerek iyileştirmeye açık olan kısım veya hatalı süreç elemanı saptanır (Aslan ve Demir, 2005: 274).

Altı Sigma, oldukça ayrıntılı hazırlık, eğitim ve uygulama sonucunda bir araya getirilen beş ana basamaktan oluşan sistematik yaklaşımlar bütünüdür. Bu beş ana basamak [Tanımla-Ölç-Analiz et-İyileştir-Kontrol et (TÖAİK)) çok sayıda alt basamaklardan oluşmaktadır. Problemin türüne ait olarak farklı istatistiksel analizlerden yararlanılmaktadır (Aslan ve Demir, 2005: 277). “Tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol” (Define, Measure, Analyze, Improve, Control- DMAİC) modelini içeren Altı Sigma, süreçlerin iyileştirilmesine, tasarım ve yönetimine odaklanmaktadır. Altı Sigma, tasarım ve üretim gibi kavramları içerebilirken aynı zamanda siparişlerin işlenmesi veya mali tabloların oluşturulması gibi süreçleri de bünyesinde barındırabilmektedir. Bu basamaklardan ölçme ve analiz, “süreç karakterizasyonu”; iyileştirme ve kontrol ise “süreç optimizasyonu” olarak adlandırılır. DMAİC döngüsel bir süreçtir ve bu sürecin her bir basamağının en iyi sonucu vermesi istenmektedir (Kansoy, Dirgar, 2008: 17).

Bir işletmede üretimde veya hizmet sürecinde hata sayısı ne kadar az ise sigma düzeyi de o derece yüksektir. Kalite düzeyi ortalama olan süreç ve ürünlerin performans değeri yaklaşık “4 sigma” düzeyinde kabul edilmektedir. Dünya standartlarındaki performans ise “6 sigma” veya üzeri bir değerdir. Yani, yüksek sigma düzeyi daha az hata demektir. 4 sigma düzeyindeki süreçlerde hata oranı milyonda 3000 ila 10000 arasında iken; 6 sigma düzeyinde hata oranı milyonda 3,4’e tekabül etmektedir (Dağlıoğlu ve ark., 2009: 133).

2.3.7. Bilgisayarla Bütünleşik Üretim

Üreticiler; uluslararası piyasaların rekabet ortamında yeni müşteriler kazanıp daha çok pazar payı elde edebilmek amacıyla daha gelişmiş teknolojiler kullanmayı, üretimde kaliteyi artırmayı ve beraberinde maliyeti ve teslim süresini de azaltmayı hedeflemektedirler. Bu nedenle üretim yapan işletmeler, çözüm olarak ileri teknolojileri araştırmak zorunda kalmışlardır. İlk olarak 1973 yılında Dr. Joseph Harrington tarafından “Computer integrated manufacturing” adlı kitabında yayınlanan CIM kavramı bu araştırmanın en büyük sonucu olarak nitelendirilebilir. 1900’lü yılların başında fabrika mekanizasyonlarının geliştirilmesiyle tüketicinin taleplerini karşılamak için seri üretimler ortaya çıkmıştır. 1930 yılında, seri üretimi geliştirmek için iletim hatları ve stabil otomasyon sistemleri oluşturulmuş ve devamında da programlanabilir otomasyon sistemleri ortaya çıkmıştır. 1955’te, CAD ve NC teknolojisindeki gelişmeler, CNC ve DNC gibi sistemlerin oluşmasına neden olmuştur. 1970’te, CAD uygulamaları ve CAM destekli teknolojilerdeki gelişmeler CIM kavramını meydana getirerek ileri üretim teknolojileri (AMTs) olarak tarihte yer almıştır. 1980’lerde gelişmiş CAM sistemleri, CAPP, bilgisayar destekli kalite yönetim sistemi (CAQM), esnek üretim sistemi (FMS) ve CIM’in entegrasyon ihtiyacı zorunlu hale gelmiştir. Günümüz endüstrisinde sanal işletmelerin sayısı sürekli artmaktadır. Küresel rekabet, yöneticilerini yenilikçi olmaya ve gelişmiş teknolojileri benimsetmeye zorlamaktadır. Birçok işletmede, CIM’in bazı öğeleri uygulanıyor olsa da geleceğin fabrikalarının temelini oluşturacak olan bu teknolojinin gelişiminin henüz tamamlanmadığını da belirtmek gerekmektedir (Demirel ve Karaağaç, 2014: 53, Kumar, vd., 2005: 478).

İmalat sisteminde bilişim teknolojisi üst yapısı “Bilgisayarla Bütünleşik Üretim” (Computer Integrated Manufacturing-CIM) olarak kendini göstermektedir. Sistemdeki ilk bilgiden malzeme ve parça bilgisine, tasarımına, bunların işlenmesine ve imalatına kadar olan tüm uygulamaların her kısmının bilgisayar desteğinde olması ve sistemin tamamını kapsayan bir bütünlük içerisinde ele alınması Bilgisayarla Bütünleşik İmalat olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem, yarattığı radikal değişikliklerle teknolojik yenilenmenin ve büyük üretim verimliliğinin kaynağını oluşturmaktadır. Böylece kalite, giderler ve ürün esnekliği gibi unsurların artarak önem kazandığı küresel ortamda CIM, girdiği her işletme için büyük avantajlar sağlamaktadır (Kazan vd., 2006: 3).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Endüstri 4.0'ın kuramsal çerçevesi, modern endüstriyel dönüşümün ve dijitalleşmenin bir temelini oluşturmaktadır. Bu çerçeve, endüstriyel üretimdeki dört ana evrim aşamasına dayanmaktadır.

Endüstri 4.0'ın temelini oluşturan kuramsal çerçevesini; 18. yüzyılda buhar gücünün kullanılmasıyla başlayan, *Endüstri 1.0*, endüstriyel devrimin ilk aşamasını ifade etmektedir. Bu dönem, insan gücü ve hayvan gücüne dayalı tarım toplumundan, buhar gücü ve mekanik makinelerin kullanıldığı bir endüstriyel topluma geçişin yaşandığı zaman dilimini kapsamaktadır. Endüstri 1.0, 18. yüzyılın sonları ile 19. yüzyılın başlarında özellikle Birleşik Krallık'ta ve diğer Batı Avrupa ülkelerinde gerçekleşen bir süreci tanımlamaktadır. İnsanlık tarihinde önemli bir dönüm noktasıdır ve modern endüstriyel toplumun temellerini atmıştır.

1800'lü yılların sonuna ve 1900'lü yılların başına denk gelen zaman diliminde elektrik enerjisi, üretim süreçlerinin daha verimli ve esnek olmasını sağlamıştır. Elektrikle çalışan makinelerin ve montaj hatlarının kullanımı, seri üretimi mümkün kılmış ve endüstriyel üretimde devrim niteliğinde bir değişiklik sağlayarak *Endüstri 2.0*'a geçişi sağlamıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında bilgisayarların kullanımının artmasıyla ortaya çıkan *Endüstri 3.0*, otomasyonun ve bilgisayar teknolojisinin endüstriyel üretim süreçlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu sayede CNC makineleri, robotlar ve otomasyon sistemleri gibi teknolojiler, üretim süreçlerini daha otomatik hale getirmiş ve üretimde daha yüksek hassasiyet ve verimlilik sağlamıştır. Sonraki süreçte, dijitalleşmenin ve internetin endüstriyel üretim süreçlerine entegrasyonunu, bilgi teknolojilerinin, yapay zekanın, büyük veri analitiğinin, nesnelerin internetinin ve diğer ileri teknolojilerin endüstriyel üretimde kullanılmasıyla Endüstri 4.0 kavramı ön plana çıkmıştır. Endüstri 4.0, fabrikaları daha akıllı, esnek, verimli ve bağlantılı hale getirerek üretim süreçlerindeki devrimi temsil etmektedir.

Endüstri 4.0'ın kuramsal çerçevesi, bu dört evrim aşamasını içerir ve endüstriyel dönüşümün zaman içindeki ilerlemesini vurgulamaktadır. Endüstri 4.0, işletmelerin dijital teknolojileri ve internetin gücünü kullanarak üretim süreçlerini optimize etmelerine, rekabet

avantajı elde etmelerine ve geleceğe hazırlanmalarına olanak tanıyan yeni bir çağı simgelemektedir.

3.1. Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri

Günümüzün rekabetçi iş ortamında, işletmelerin dijital dönüşüme ayak uydurması hayati önem taşımaktadır. Endüstri 4.0, otomasyon, yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri ve diğer ileri teknolojilerin entegrasyonunu içeren bir dönüşüm sürecidir. Ancak, işletmelerin bu dönüşüme başarıyla uyum sağlayabilmesi için uygun bir yol haritasına ihtiyaçları vardır. İşte burada, Endüstri 4.0 olgunluk modelleri devreye girmektedir. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, işletmelerin mevcut dijital yeteneklerini ve dönüşüm süreçlerini değerlendirmelerine yardımcı olan çerçevelerdir.

Olgunluk kavramı, eksiksiz, mükemmel ya da hazır olma durumu olarak tanımlanabileceği gibi, bir sistemin gelişim süreci sonucunda ulaştığı ilerleme seviyesi olarak da ifade edilmektedir (Teichert, 2019: 1675). Olgunluk modelleri ise, bir sistemin veya sürecin olgunluk düzeyini değerlendirmek ve ölçmek amacıyla yaygın olarak kullanılan temel araçlardan biridir (Schumacher vd., 2016: 162).

Olgunluk modeli ilk kez ABD Savunma Bakanlığı'nın talep etmesiyle, Carnegie Mellon Üniversitesi'nde Yazılım Mühendisliği Enstitüsü (SEI) tarafından 1986 yılında hayata geçirilmiştir (Gökşen vd., 2015: 209). İlk olgunluk modeli girişimlerinden biri olan CMM (Capability Maturity Model) yönetim ve izleme taleplerini karşılayabilmek için geliştirilmiş bir modeldir. Bu model, 2006 yılında teknoloji ve süreçler arasındaki entegrasyonun da dikkate alınması ve modelin bilgi teknolojisi yönetim modelleri ve standartlarıyla da yakınlaşması sonucu CMMI (Capability Maturity Model Integration) şeklinde gelişimini sürdürmüştür (Jesus ve Lima, 2020: 7). Model, Türkçe literatürde "Bütünleşik Yetenek Olgunluk Modeli" olarak adlandırılarak kullanılmaktadır. Bu model, işletmelerde süreçlerin tamamlanma süresinin uzaması veya tekrarlanan işler gibi gecikmeler, işlevsiz fonksiyonlar ve satış sonrası hizmet problemleri gibi kalite sorunları ile yorgun ve mutsuz çalışanların oluşturduğu motivasyon eksikliklerine yönelik çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, bu süreç problemlerine karşı hangi alanlarda

iyileştirmeler yapılması gerektiğini belirlemek için bir rehber görevi görmektedir (Kulualp, 2016: 76).

Olgunluk modelleri (MM) tasarım süreçlerine bağlı olarak farklı prosedür modelleri ortaya koymuştur. Bu modeller olgunluk değerlendirmesini optimum şekilde yapmak ve hizmet etmek için gereklidir. Örneğin, bir işletme için belirlenen iyileştirme hedefleri oldukça işlevsel olabilir ancak bu hedeflerin seçiminin ilgili işletmenin performansı veya iş bağlamı ile doğrudan ilişkili olması gerektiği de unutulmamalıdır (Caiado vd., 2021:2).

Endüstride yöneticiler ve akademik çevreler, işletmelerinin Endüstri 4.0'a hazırlık seviyelerini değerlendirebilmeleri için devamlı olarak öz değerlendirme modelleri geliştirmektedirler ve bu modelleri işletmelerinin iyileştirmeleri yönünde aktif olarak kullanmaktadırlar. Bu modeller, işletmelerin hazırlık durumlarını en az hazır ve en hazır olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirmektedir. Bu değerlendirmeler, çeşitli karmaşıklık düzeylerine göre sınıflandırılmakta ve elde edilen bilgiler ışığında kıyaslamaya da imkân tanımaktadır. Endüstri 4.0'a dönüşüm süreci iş dünyası için hızlandırılması gereken bir durumdur. Planlanan hazırlık modellerinin uygulanması işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini rakipleriyle kıyaslayarak kurumsal dönüşüme katkıda bulunmasına zemin hazırlayacaktır. Bu sürece dahil olamayan yani dijitalleşmeyi yeterince önemsemeyip harekete geçmeyen işletmeler piyasadan silinmek durumunda kalacaklardır (Hizam-Hanafiah vd., 2020: 2).

Bir olgunluk modeli, işletmelerin dönüşümlerine nasıl yaklaştıkları ile ilgili rehberlik sağlarken dönüşümlerini nasıl gerçekleştireceklerini gösteren tipik yolları haritalandıran bir araç olarak da görülmektedir (Teichert, 2019: 167). Olgunluk modelleri, belirli bir sektördeki bir işletmenin olgunluk seviyesini ve hedefleriyle ilgili bir süreci tanımak ve ölçmek için kullanılan araçlar olarak tanımlanabilir. Olgunluk modellerinin amacı, gerçekleştirilen faaliyetleri ölçmek, olgunlaştırmak ve bunları zaman içinde ölçülebilir hale getirmektir (Santos ve Martinho, 2020: 1026).

Olgunluk modeli (MM), bir işletmedeki süreçlerin çeşitli yönlerini ölçmek için geliştirilen bir yöntemdir. Endüstri 4.0'a ait olacak şekilde literatürde olgunluk modeline atıfta bulunan farklı terimler mevcuttur. Örneğin, hazırlık değerlendirme modeli, yol

haritası, çerçeve ve olgunluk endeksi gibi. Bir işletmenin şu anki durumuyla gelecekte endüstri 4.0 kavramını nasıl algılayabileceği ve uygulayabileceği konusunu ölçmekle aynı odak noktasına sahiptirler. Olgunluk modelleri işletmelere; denetim ve mukayese edebilmek için ölçüm olanaklarını, mevcut durumla hedefler arasındaki ilerlemenin ölçülebilmesini, güçlü, zayıf yönleri ve fırsatları belirleyebilmek için birtakım yöntemlerin kazanılmasını sağlamaktadır (Angreani vd., 2020: 337-338).

Dördüncü Endüstri Devrimiyle birlikte işletmelerin mükemmelliğe ulaşma yolunda kendilerine rehberlik etmeleri için olgunluk modelleri önerilmiş ve her organizasyonun kendi çalışma ilkelerine bağlı olarak kendi olgunluk modelini belirleyebileceği üzerinde durulmuştur. Olgunluk süreci ayrıca bir organizasyonun akıllı ürün ve hizmetlerle yüksek teknolojinin kullanılarak akıllı süreçler oluşturmalarını sağlayan iş süreçlerini yönetme becerisi olarak da tanımlanmaktadır (Gajdzik 2022: 2).

Pek çok işletme, Endüstri 4.0'ı bünyelerine katmak isterken bu sürecin tam olarak ne anlama geldiğini ve nasıl yönetebilecekleriyle ilgili bilgiye sahip değildir (Caiado vd., 2021:3). Endüstri 4.0 ayrıca pek çok kurum, enstitü ve üniversitenin öncelikli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir. Ancak pek çok akademisyen, Endüstri 4.0 kavramının üretim işletmeleri için hala net olmadığını ve işletmelerinin Endüstri 4.0 sürecini belirleme ve uygulamaya koyma noktasında güçlükler yaşandığını belirtmektedir (Ghobakhloo, 2018: 911) Bu sebeple, Endüstri 4.0'ı geliştirmeye çalışan işletmelerin bu kavramı benimseyip mevcut olgunluk seviyelerini belirleyerek süreci başlatmaları ve kendilerine uygun olgunluk değerlendirme yöntemlerini uygulamaları gerekmektedir. Böylece işletmeler sahip oldukları kaynakların ve teknolojilerin Endüstri 4.0'a yönelik olanlarını tespit ederek mevcut yeteneklerini keşfedeceklerdir (Caiado vd., 2021:3).

Endüstri 4.0'ın etkin bir şekilde uygulamaya koyulabilmesi için imalat işletmelerinin olgunluğunun değerlendirilmesi son derece önemli bir başlangıçtır. Olgunluk kavramı genellikle tam, mükemmel veya hazır olma durumu olarak tanımlanmakta ve tüm süreçlerin ve organizasyonun geliştirilmesinde iyileştirmeler önermektedir. Sistemlerin olgunluğunu ölçmek için geliştirilen çeşitli Olgunluk Modelleri; durumların değerlendirilmesinde ve potansiyeli iyileştirmede kullanılan aşamalar dizisi olarak ifade edilmektedir. Literatürde

olgunluk modellerinden ayrıca hazır bulunuşluk değerlendirme modelleri olarak da sıklıkla bahsedilmektedir (Wagire vd., 2020: 604).

Olgunluk modellerinin amacı, gerçekleştirilen faaliyetleri sayısal hale dönüştürerek ölçülebilir hale getirmek, geliştirmek ve sonucunda olgunlaştırılmasını sağlamaktır. İşletmeler genellikle kendi olgunluk modellerini oluşturmak yerine COBIT, ITIL, PMI, CMMI, ISO'nun bazı bölümlerini kendilerine uyarlamaktadırlar. Hazır modellerin bazı avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir (Gökşen vd. 2015: 209): Kullanıma hazır olmaları ve tasarlamak için ilaveten zaman harcamaya gerek olmaması, test edilmesinden dolayı yetenekli personelin hazır bulunması ve hala geliştiriliyor katkı sağlanıyor olması, hazır modellerin bazı avantajları olarak ifade ediliyor olabilir. Dezavantaj olarak ise; Kısmi kapsamları olması, genele hitap etmesi ve esnek olmamaları sayılabilir (Kiraz vd., 2019: 15). Bununla birlikte, üretim işletmelerinin Endüstri 4.0 olgunluğunun değerlendirilmesi ve geliştirilmesi açısından ampirik olarak hazırlanmış olgunluk ve hazırlık modellerinin azlığı, bir araştırma boşluğu gibi görülmektedir (Wagire vd., 2020: 605).

Endüstri 4.0 son yıllarda pek çok akademisyenin üzerinde yoğunlaşp çokça çalışmalar yaptığı güncel bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada literatür taraması yapılırken Endüstri 4.0'a ait mevcut olgunluk modellerine erişim için Scopus, Science Direct, Web of Science, Google Scholar ve Yök Tez Tarama veri tabanları kullanılmış ve bu veri tabanlarında “Industry 4.0 Maturity Model”, “Industry 4.0 Readiness Model” ve “Digital Maturity Model” anahtar kelimeleri taratılmıştır. Bu kelimeler ayrıca çalışmaların özet, başlık ve anahtar kelimelerinde en az birinde olacak şekilde, hakemli dergiler ve konferans bildirileri içerisinde aratılmıştır. Çalışma, Endüstri 4.0 teriminin ilk ortaya çıktığı 2011 yılından 2023 yılının ortalarına kadar olan zaman dilimi içerisindeki makaleleri içermektedir. Konuyla ilgili daha derinlemesine bilgi edinebilmek için, incelenen makalelerde listelenen referanslar da gözden geçirilmiştir. Özellikle üretim işletmeleri baz alınarak üretilmiş olgunluk modellerinin konu edildiği 12 çalışma, bu tezin temelini oluşturması açısından ele alınarak incelenmiştir. Üretim işletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Düzeylerini belirlemek amacıyla geliştirilmiş modeller aşağıda Tablo 3'te gösterilmiş ve devamında açıklanmıştır.

Tablo 3

Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri, İçerikleri, Boyutları ve Olgunluk Seviyeleri

	Olgunluk Modeli	Modelin İçeriği	Modelin Boyutları	Modelin Olgunluk Seviyesi
1	IMPULS-Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli (Industrie 4.0 Readiness)	Lichtblau vd. (2015) tarafından ampirik temelli bir model olarak hazırlanmıştır. İlgi alanı imalat ve mühendislik işletmeleridir. Sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.	6 boyut ve 18 alt boyut: - Strateji ve organizasyon - Akıllı fabrika - Akıllı operasyonlar - Akıllı ürünler - Veriye dayalı hizmetler - Çalışanlar	6 olgunluk seviyesi: 0. Seviye: Yabancı, 1. Seviye: Yeni Başlayan, 2. Seviye: Orta 3. Seviye: Tecrübeli, 4. Seviye: Uzman, 5. Seviye: En iyi performans
2	Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme (Digital Operations Self-Assessment)	PwC tarafından yayınlanan ve Geissbauer vd. (2016) tarafından önerilen modelde işletmelerin yatay ve dikey değer zincirlerinin dijitalleştirilmesi hedeflenmektedir. Geniş uygulama alanına sahiptir.	7 boyut: - Dijital iş süreçleri ve müşteriye ulaşma - Ürün ve hizmet için dijital tekliflerin hazırlanması - Dikey ve yatay değer zincirlerinin birbirleriyle etkileşimi ve dijitalizasyon - Temel yetenek ve analitik veri - Çevik BT sistemi - Uyumlu olma, güvenlik, hukuk ve vergi - Örgüt, personel ve dijital kültür	4 olgunluk seviyesi: - Dijital acemi, - Dikey entegrasyon, - Yatay entegrasyon, - Dijital şampiyon
3	Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli (The Connected Enterprise Maturity Model)	Rockwell Automation (2014) tarafından önerilen bu modelde, işletmeler hazır bulunurluk yanlarını ırdeleyerek Endüstri 4.0 için hazır olup olmadıklarını incelerler.	4 boyut: - Bilgi altyapısı, - Kontroller ve cihazlar, - Bilgi alışverişini kolaylaştıran ağlar - Güvenlik politikaları Boyutlar hakkında daha fazla detaylı bilgi verilmemektedir.	5 aşama: - Değerlendirme, - Ağın güvenliğinin kontrolü ve yükseltilmesi, - İşletim sermayesinin hesaplanarak organize edilmesi, - İş birliği, - Analiz
4	İmalat İşletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (A maturity model for Industry 4.0 Readiness)	Schumacher vd. (2016) tarafından önerilen modelde özellikle imalat sanayiine odaklanmaktadır.	9 boyut ve 62 alt boyut: - Strateji, - Liderlik - Müşteriler - Ürünler, - Operasyonlar, - Kültür, - Çalışanlar, - Yönetişim - Teknoloji	5 olgunluk seviyesi: Likert ölçekli olgunluk seviyelerine göre 1 en düşük seviyeyi gösterirken 5 ise en yüksek seviye olarak ifade edilmiştir.
5	Endüstri 4.0 için Güçlendirilmiş Bir Uygulama Stratejisi (Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0)	Lanza vd. (2016) tarafından Endüstri 4.0 Olgunluk modelinin hızlı bir şekilde kontrolünün yapılması, değerlendirilmesi ve eksikliklerin tespit edilmesine yönelik bir model önerilmiştir.	Detaylı bilgiye ulaşılamamıştır.	Detaylı bilgiye ulaşılamamıştır.
6	Maturity Model-Olgunluk Modeli	Bibby ve Dehe (2018) çalışmalarında, savunma sektöründeki bir imalat firmasında olgunluk seviyesini ölçmeyi hedeflemiştir.	3 ana kriter/13 alt kriter - Geleceğin fabrikası, - İnsan ve kültür - Strateji	4 olgunluk seviyesi: - En alt seviye, - Büyüme seviyesi, - Tanımlama seviyesi, - En iyi seviyesidir

Tablo 3'ün devamı				
7	Endüstri 4.0 Hazırlık Değerlendirme Modeli (Industry 4.0 Readiness Assessment Model)	Pacchini vd., (2019) çalışmalarında motor üreticisi bir işletmenin Endüstri 4.0'a hazırlık durumunu değerlendirmişlerdir.	8 teknoloji: - Nesnelerin interneti - Büyük veri - Bulut bilişim - Siber Fiziksel Sistemler - Robotlar - Katmanlı üretim - Arttırılmış gerçeklik - Yapay zekâ	Detaylı bilgiye ulaşılammıştır.
8	SPICE tabanlı Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (SPICE-based Industry 4.0-Maturity Model)	Gökalp ve Şener (2017) çalışmalarında; işletmeleri daha yüksek bir olgunluk aşamasına getirmeyi hedeflemişlerdir.	5 boyut: - Varlık yönetimi - Bilgi yönetimi - Uygulama sistemi - Süreç dönüşümü - Örgütsel uyum	6 yetenek düzeyi: (0) Eksik, (1) Gerçekleştirilen, (2) Yönetilen, (3) Oluşturulan, (4) Öngörülebilir ve (5) Optimize edilen
9	Endüstri 4.0 Olgunlaşma Endeksi (Industrie 4.0 Maturity Index)	Acatech tarafından desteklenen Schuc vd., (2020) tarafından önerilen modelde, imalat işletmelerinin dönüşümlerinde hangi aşamada oldukları belirlenmeye çalışılmıştır.	4 boyut: - Kaynaklar, - Bilgi sistemleri, - Organizasyon yapısı, - Örgüt kültürü	6 aşamalı geliştirme seviyesi: - Bilgisayara uyum, - Bağlanabilirlik, - Görülebilirlik, - Objektiflik, - Tahmini kapasite - Adaptasyon yeteneği
10	TÜBİTAK Dijital Olgunluk Modeli (TÜBİTAK Digital Maturity Model)	TÜBİTAK ve BİLGEM Yazılım Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından kamu kurumlarının dijital olgunluk seviyelerini ölçmek amacıyla oluşturulmuş bir modeldir.	7 yetkinlik: - Stratejik Yönetim - Örgüt - Yazılım Hizmetleri - Yazılım Döngüsü - BT Hizmetleri - İşletme ve Bakım - Dijital Hizmetler	4 olgunluk seviyesi: - Seviye 0 (Eksik) - Seviye 1 (Uygulanan) - Seviye 2 (Kurumsallaşmış): - Seviye 3 (Optimize Edilen):
11	Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli SIMMI 4.0 (System Integration Maturity Model Industry 4.0)	Leyh vd. (2016), yalnızca bilişim dünyasının teknolojileri için geliştirdikleri bir olgunluk modelini çalışmışlardır.	4 boyut: - Dikey entegrasyon, - Yatay entegrasyon, - Dijital ürün geliştirme, - Kesitsel teknoloji kriterleri	5 olgunluk seviyesi: - Basit dijitalleştirme, - Departmanlar arası dijitalleştirme, - Yatay ve dikey dijitalleştirme, - Tam dijitalleştirme, - Optimize edilen tam dijitalleştirme
12	Endüstri 4.0'ın Uygulanmasında Yeni Bir Olgunluk Modeli (A New Maturity Model in the Implementation of Industry 4.0)	Wagire vd., (2020) çalışmalarında Hintli üretim işletmelerinin olgunluk düzeyini ölçmeyi hedeflemişlerdir.	7 boyut: - Çalışan ve Kültür, - Endüstri 4.0 Farkındalığı, - Organizasyon Stratejisi, - Değer Zinciri ve Süreçler, - Akıllı Üretim Teknolojisi, - Ürün ve Hizmet Odaklı Teknoloji, - Endüstri 4.0 Tabanlı Teknoloji	4 olgunluk seviyesi: Seviye 1: Yabancı Seviye 2: Dijital Acemi Seviye 3: Deneyimli Seviye 4: Uzman

3.1.1 Impuls Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli

Alman Makine Mühendisleri Endüstri Birliği (VDMA) uzmanlarının IMPULS Vakfı altında ve farklı sektörlerden temsilcilerin 2015 yılında “Impuls Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli” adında bir rapor yayınlanmıştır. Bu rapor, Almanya’nın imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin mevcut durumunu analiz etmeye yönelik bir hazırlık modelidir. Geliştirilen bu modelde 6 ana boyut ve 18 alt boyut mevcuttur. Bu boyutlar “Strateji ve organizasyon”, “Akıllı fabrika”, “Akıllı operasyonlar”, “Akıllı ürünler”, “Veriye dayalı hizmetler” ve “Çalışanlar” olarak sıralanmaktadır.

Tablo 4

Impuls Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli ’ne ait Boyutlar ve İlişkili Alanlar

Boyutlar	İlişkili Alanlar
Strateji ve Organizasyon	Strateji Yatırımlar İnovasyon yönetimi
Akıllı Fabrika	Dijital Modelleme Ekipman Altyapısı Veri Kullanımı BT Sistemleri
Akıllı Operasyonlar	Bulut sistemi Bilgi Teknolojileri Güvenliği Otonom süreçler Bilgi paylaşımı
Akıllı Ürünler	Kullanım Aşamasında Veri Analitiği ICT Eklenti İşlevleri
Veriye Dayalı Hizmetler	Kullanılan Verinin Payı Gelirlerin Payı Veriye Dayalı Hizmetler
Çalışanlar	Beceri Edinme Çalışan Beceri Setleri

Model, İşletmelerin Endüstri 4.0 hazırlığını ölçmek adına (0'dan 5'e); Seviye 0: Yabancı, Seviye 1: Başlangıç, Seviye 2: Orta, Seviye 3: Deneyimli, Seviye 4: Uzman, Seviye 5: En iyi performans gösteren, şeklinde altı Endüstri 4.0 hazırlığı seviyesini içermektedir (Lichtblau vd., 2015).

Bu modelde, işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini belirlemek amacıyla bir anket hazırlanmıştır. Bu anket ağırlıklı olarak makina üreten işletmelere yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda; Nitelikli çalışan, Endüstri 4.0 'a geçiş sürecinde yapısal bir stratejinin gerekliliği, -Endüstri 4.0'ın finansal açıdan güvence altına alınması ve Akıllı ürünler ve servislerin yeni iş modellerine olanak tanınması şeklinde dört önemli nokta belirlenmiştir (Oktay, 2021: 38).

Impuls Vakfı'nın çalışması, benzer çalışmalar arasında dijital dönüşümü en iyi ifade eden çalışmalardan birisi olarak kabul edilebilir. Hem ana boyutlar hem de alt boyutlar detaylı bir şekilde açıklanmış ve uygulanabilir bir şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca dijital dönüşümün en önemli öğelerinden birisi olan örgütsel yaklaşım da bu modelde ele alınmıştır. (Yüce, 2020: 52).

3.1.2 Endüstri 4.0 / Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme

PwC (PricewaterhouseCoopers) 2016 yılında, dokuz büyük sanayi sektörü ve 2.000'in üzerinde katılımcıyla, küresel bazda Endüstri 4.0'ı araştırmak amacıyla başlatılan dünya çapında en büyük çalışmadır (PwC, 2016: 3). Anketin içeriği işletmelerin olgunluk seviyesini ölçmekten daha çok endüstri 4.0 algılarını ölçmeye dönüktür (Kumaş, 2021: 74). Çalışma, işletmelerin yatay ve dikey değer zincirlerini dijitalleştirmenin yanı sıra dijital ürün ve hizmet portföylerini de oluşturmalarına da yardımcı olmaktadır (PwC, 2016: 3). Ayrıca işletmelerin kendi olgunluk düzeylerini değerlendirmelerine ve çevrimiçi öz değerlendirme yardımıyla sonuçlarını haritalamalarına imkân tanımaktadır (Akdil vd., 2018: 65)

PwC tarafından yayınlanan ve Geissbauer vd. (2016) tarafından önerilen Endüstri 4.0 olgunluk modeli; yedi boyuttan ve dört seviyeden oluşmaktadır. Model, işletmelerin kendi Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini değerlendirerek daha verimli bir olgunluk seviyesini elde etmeleri açısından bir yol haritası sunmaktadır. Önerilen modelin boyutları: (1) Dijital iş

modelleri ve müşteriye ulaşma (2) Ürün ve hizmetlerin dijitalleşmesi (3) Dikey ve yatay değer zincirlerinin dijitalleşmesi (4) Veri ve Analitik, (5) BT mimarisi, (6) Uyumluluk, güvenlik, yasaya uygunluk ve vergi ve (7) Organizasyon yapıları, çalışanlar ve dijital kültür olarak sıralanmaktadır (Demir vd., 2022: 102). Dört seviye de şöyle belirlenmiştir: Dijital acemi, Dikey entegratör, Yatay işbirlikçi, Dijital şampiyon (PwC, 2016: 28). Böylece, işletmelerin mevcut durumlarına ve hedefledikleri seviyeye göre verdikleri cevaplarla bir şirketin olgunluk skoru hesaplanmaktadır (Yüce, 2020: 49).

Geissbauer vd. (2016) ayrıca organizasyonların dijital başarıları için; işletmelerin Endüstri 4.0 strateji haritalarını çıkarmalarını, pilot proje oluşturmalarını, ihtiyaç duydukları yetenekleri tanımlamalarını, dijital bir işletmeye dönüşerek bir ekosistem yaklaşımı planlamalarını da önermektedir (Mittal vd., 2018: 202).

3.1.3 Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli

Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli (Connected Enterprise Maturity Model), 2014 yılında Rockwell Automation tarafından teknolojilerde ve aynı zamanda kurumsal kültürlerde güçlü bir değişim sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir olgunluk modelidir. Gerekli önlemleri ve en iyi uygulamaları içeren bu model beş aşamadan meydana gelmektedir (Rockwell Automation, 2014: 4). Birinci aşama “değerlendirme”, ikinci aşama “güvenli ve güncellenmiş ağ ve kontroller”, üçüncü aşama “tanımlı ve organize edilmiş çalışma verileri sermayesi (WDC)”, dördüncü aşama “analitik” ve beşinci aşama ise “iş birliği” olarak belirlenmiştir (Yüce, 2020:47). Model, Endüstri 4.0’a ulaşılmasında faydalı olacak dört farklı boyuttan da bahsetmektedir: (1) Bilgi altyapısı, (2) Kontroller ve cihazlar, (3) Bilgi alışverişini kolaylaştıran ağlar ve (4) Güvenlik politikaları (Mittal: 2018: 202). Ayrıca, her işletmenin olgunluk yapısının belirlenmesinde en doğru yöntemin, işletmelerin kendi ihtiyaçlarını belirleyerek dinamiklerine göre oluşturulması gerektiği yorumu da yapılmıştır (Yüce, 2020: 47). Bu model, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerinde hangi alanlara odaklanmaları gerektiğini belirlemelerine yardımcı olur. Ayrıca, işletmelerin belirledikleri olgunluk seviyesine erişebilmeleri için hangi aşamaları katetmeleri gerektiğini ve bu adımların birbiriyle nasıl ilişkili olduğunu açıklar.

Bağılantılı/İlişkili Kurumsal Olgunluk Modeli, işletmelerin dijital dönüşüm stratejilerini planlayarak ve bu stratejileri uygulanabilir hale getirmelerine yardımcı olur. Modelin kullanımı, işletmelerin Endüstri 4.0'a entegrasyon sürecini daha etkili ve verimli geçirmelerine olanak sağlar.

3.1.4 İmalat İşletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Literatür incelendiğinde taranan çalışmalar arasında Schumacher vd. (2016) 'nin çalışması ilk uygulamalı çalışma olarak tespit edilmiştir. Bu modelde 9 kriter ve 62 alt kriter tanımlanarak endüstriyel işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Serdar, 2019: 36). Modelde, kapsamlı bir alanyazın taraması, kavramsal modelleme ve niteliksel ve niceliksel yöntemler içeren multi metodolojik bir yaklaşım kullanılmıştır (Kayar: 2019: 5) Model ayrıca Avusturya'da havacılık sektöründe aktif olan bir tasarım ve üretim işletmesindeki 400 çalışana anket uygulanarak Likert ölçeği vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ürünler kriteri 5 üzerinden 5 olgunluk düzeyi ile en yüksek olgunluğa sahipken strateji kriterinin 2,7 ile en düşük olgunluk düzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir (Serdar, 2019: 36). Model kriterleri şöyle sıralanmaktadır: (Schumacher vd., 2016)

Tablo 5

Endüstri 4.0 Olgunluk Modelinin boyutları ve olgunluk maddeleri

Boyutlar	Örnek Olgunluk Maddeleri
Strateji	Endüstri 4.0 yol haritası, Gerçekleştirme için mevcut kaynaklar, İş modellerinin uygulanması
Liderlik	Liderlerin isteklik durumu, Yönetim biçimleri, Endüstri 4.0 için merkezi koordinasyonun varlığı
Müşteriler	Müşteri verilerinin kullanımı, tüm hizmetlerin dijitalleştirilmesi ve müşterinin dijital medya yetkinliği,
Ürünler	Ürünlerin kişiselleştirilmesi ve dijitalleştirilmesi, Ürünlerin diğer sistemlerle uyumu
Süreçler	Süreçlerin yerelleştirilmesi, Modelleme, simülasyon ve Disiplinler arası iş birliği

Tablo 5'in devamı	
Kültür	Bilginin paylaşımı, şirketler arası iş birliği ve Şirkette BİT (Bilgi İletim Teknolojisi)'in önemi
İşgücü	Çalışanların BİT yeterlilikleri ve yeni teknolojiye adaptasyonu,
Yönetim	Endüstri 4.0 için iş düzenlemeleri, Teknolojik standartların uygunluğu, Düşünsel varlığın korunması, ...
Teknoloji	Modern BİT'in mevcudiyeti, Mobil cihazların kullanım ve Makineler arası iletişimin uygulanması

3.1.5 Endüstri 4.0 için Güçlendirilmiş Bir Uygulama Stratejisi

İngilizce adı “Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0” şeklinde ifade edilen bu modelde; Endüstri 4.0 Olgunluk modelinin hızlı bir şekilde kontrol edilerek değerlendirilmesi ve eksikliklerin tespit edilmesi hedeflenmektedir. Modelde Gap Analizleri veya Mevcut Durum analizleri mevcuttur (Oktay, 2021: 38). Ayrıca bir süreç modeli olarak da iş görmektedir. Aynı zamanda boşluk analizlerinde de faydalıdır. Olgunluk engellerini aşmak için bir araç kutusu olarak da kullanılabilir (Sony ve Naik, 2018: 3). Modelde sunulan öğeler ve geliştirme süreci hakkında hiçbir ayrıntıya ulaşamamıştır (Schumacher vd., 2016: 162).

3.1.6 Savunma Sektörüne Yönelik Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Bibby ve Dehe (2018)'nin savunma sektöründeki bir imalat firmasında yaptığı olgunluk seviyesini ölçme çalışmalarında, 'Geleceğin Fabrikası', 'İnsan ve Kültür' ve 'Strateji' olmak üzere üç boyut etrafında bir uygulama modeli geliştirilmiştir. Geleceğin Fabrikası ana boyut olarak kabul edilmekte ve sekiz alt boyuttan oluşmaktadır: Eklemeli Üretim, Bulut, Üretim Yürütme Sistemi, Nesnelerin İnterneti ve Siber Fiziksel Sistemler, Büyük Veri, Sensörler, e-Değer Zincirleri ve Otonom Robotlar (Bibby ve Dehe: 2018: 1030). Olgunluğu ölçmek için IMPULS ve Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli adı verilen iki değerlendirme modelinden yararlanılmıştır. Bu iki modelden hareketle de dört olgunluk seviyesi belirlenmiştir. Bunlar en düşük seviyeden, aralarında büyüme, tanımlama ve en üst seviye olan mükemmellik seviyesi olarak sıralanmaktadır (Serdar, 2019: 29)

Ampirik olarak geliştirilen bu modelle savunma tedarik ağındaki büyük işletmelerin analizine katkıda bulunulması hedeflenmektedir (Bibby ve Dehe: 2018: 1030).

3.1.7. Endüstri 4.0 Hazırlık Değerlendirme Modeli

Pacchini vd., (2019) çalışmalarında, bir imalat işletmesinin Endüstri 4.0'ın uygulanmasına ait hazır olma derecesini ölçmek adına bir model önermektedirler. Geçmişte, bir işletmenin Endüstri 4.0 uygulamasında bulunduğu seviyeyi ölçen çeşitli olgunluk modelleri önerilmiştir. Ancak, olgunlaşma sürecinden bir önceki süreci içeren bir işletmenin hazır bulunuşluk derecesini belirleyen bir model henüz önerilmediğinden mevcut literatürlere dayalı en ilgili olan sekiz teknoloji vasıtasıyla bir hazırlık değerlendirme modeli oluşturulmuştur. Bu teknolojiler şöyle belirtilebilir: Büyük veri, nesnelerin interneti, bulut bilgi işlem, otonom robotlar, eklemeli üretim, siber fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik ve yapay zekâ (Pacchini vd., 2019: 1).

3.1.8. SPICE tabanlı Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Gökalp ve Şener (2017) çalışmalarında endüstri 4.0 teknolojilerinin değerlendirilerek ortak bir temel oluşturmalarını ve işletmelerin Endüstri 4.0'dan maksimum düzeyde yararlanabilmeleri için daha yüksek bir olgunluk aşamasına getirilmelerini hedeflemişlerdir (Gökalp ve Şener, 2017: 1). Yapılan çalışmalar sonucunda yedi olgunluk modeli tanımlanmış ve önceden belirlenmiş kriterlere dayanarak analizleri yapılmıştır. Ancak mevcut modellerin güçlü ve zayıf yanları tespit edildikten sonra hiçbirinin beklentileri karşılamadığı ve geliştirilmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır. Sonrasında yazarlar Endüstri 4.0-MM olarak isimlendirdikleri Endüstri 4.0 için Yazılım Süreci Uygulaması ve Yetenek Belirleme (Software Process Improvement And Capability Determination: SPICE) tabanlı yeni bir olgunluk modeli önermişlerdir. Model bir üreticinin, bulunduğu Endüstri 4.0 olgunluk aşamasını değerlendirerek en üst olgunluk aşamasına çıkarmak için yardımcı olacak somut çözümler önermeyi hedeflemiştir. Endüstri 4.0-MM: 1. Varlık yönetimi, 2. Veri yönetimi, 3. Uygulama yönetimi, 4. Süreç dönüşümü 5. Örgütsel uyum alanlarının değerlendirilmesinden oluşmaktadır (Serdar, 2019: 28). Model ayrıca; (0) Eksik, (1) Gerçekleştirilen, (2) Yönetilen, (3) Oluşturulan, (4) Öngörülebilir ve (5) Optimize Edilen şeklinde altı olgunluk seviyesinden meydana gelmiştir (Gökalp ve Şener, 2017: 11).

3.1.9 Endüstri 4.0 Olgunlaşma Endeksi

Acatech (National Academy of Science and Engineering: Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi) tarafından desteklenen Endüstri 4.0 Olgunluk Endeksi, işletmelerin öğrenen ve dinamik bir duruma dönüşmelerinde hangi aşamada olduklarını belirlemelerine yardımcı olmaktadır. İmalat işletmelerinin iş süreçlerini teknolojik, organizasyonel ve kültürel açıdan ele almaktadır (Schuh ve ark., 2020: 15). Bu indeks, çeşitli çalışmaların ve vakaların incelenmesi sonucu dört aşamalı bir metodoloji yardımıyla geliştirilmiştir. İlk aşama hem sanayi hem de akademide bulunan stratejik ortaklarla projelerin tartışılması, İkinci aşama, oluşturulan projelerin incelenmesi ve güncellenmesini sağlayan bir yönlendirme komitesi oluşturulması, üçüncü aşama, projelerin fizibilitesinin teknolojiye dayalı bir üretim işletmesinde yapılmasının sağlanması, dördüncü aşama ise; diğer üç aşamadan elde edilen sonuçların doğrulanması şeklinde hazırlanmıştır (Mittal vd. 2018: 20). İndeks ayrıca dört temel boyuttan oluşmaktadır. Bu temel boyutlar; kaynaklar, bilgi sistemleri, organizasyonel yapı ve organizasyonel kültür olarak tanımlanmıştır (Yüce, 2020: 50).

Bu boyutlar ayrıca altı seviyede değerlendirilmektedir ve her seviye birbiriyle bağlantılıdır. Her seviye bir öncekinin üzerine yapılandırılarak gerekli olan yetenek ve faydalar tespit etmektedir (Schuh ve ark., 2020: 17). Bu seviyeler: (1) Bilgisayarlaşma, yani veri işleme sistemleri yardımıyla personelin tekrar eden manuel işlerini kolaylaştırıcı bilgi sistemlerinin kurulumu, (2) Bağlanılabilirlik, sistemdeki bilgisayarların ve bilgi işlem sistemlerinin intranet ve/veya internet vasıtasıyla temel iş süreçlerini destekleyecek şekilde tekrardan ele alınması, (3) Görünürlük, üretim alanında eş zamanlı olarak işleyişi takip etmeye dair dijital bir gölge oluşturulması ve kararların verilerle uygulanması (4) Şeffaflık, olayları görüntüleyerek ve oluşması muhtemel problemlerin sebebini anlamaya olanak tanır, (5) Öngörülebilirlik, işletmeler geleceklerine dair planlamalarını yaparak uygun önlemleri zamanında alabilirler, (6) Uyarlanabilirlik, yapılan öngörülere dayalı olarak makinelerden ve diğer sistemlerden gelen yanıtların uygulanabilir olması (Mittal vd. 2018: 21).

3.1.10 T B TAK Dijital Olgunluk Modeli

T B TAK ve B LGEM Yazılım Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (YTE) tarafından kamu kurumlarının dijital olgunluk seviyelerini ölçebilmek amacıyla yedi ana kriterden meydana gelen bir model oluşturulmuştur (Baltacı, 2020: 29). Bu model ayrıca, yedi yetkinlik alanına göre otuz sekiz kabiliyet grubu ve alt grupları da içermektedir (Ayyıldız, Demir, 2022: 69. Model kapsamındaki yetkinlikler şöyle sıralanmaktadır (Tübitak, 2019: 13-14):

- **Stratejik Yönetişim:** Dijital dönüşüm ve dijital hizmet yönetimi dahilinde amaçları, hedef ve öncelikleri içeren strateji belgelerinin hazırlanmasını ve güncellenmesini kapsamaktadır. Bu yetkinlik, dijital strateji yönetimi ile gereksinimlerin tanımlanması ve bütçe gibi kabiliyet gruplarını da içermektedir.
- **Organizasyon:** Dijital dönüşüm çalışmalarından sorumlu kişilerin yetkinliklerinin yönetilmesini kapsamaktadır. Bu yetkinlik, organizasyon, dijital kültür ve yetkinlik kabiliyet gruplarını içinde barındırmaktadır.
- **Yazılım Hizmetleri:** Bir kurumun ihtiyaç duyduğu yazılımın oluşturulması öncesi fizibilitesi, geliştirilmesi, verilerin oluşturulması ve sayısallaştırma hizmetlerini kapsamaktadır. Bu yetkinlik yazılımı ilgilendiren kabiliyet gruplarını içermektedir.
- **Yazılım Yaşam Döngüsü:** Yazılım projesinin planlama seviyesinden teslimatına kadar geçirmiş olduğu tüm aşamaları kapsamaktadır.
- **BT Hizmetleri:** Bu yetkinlik, teknoloji sahipliği, mevcut donanım ve altyapıları, bakım ve modernizasyonu kabiliyet gruplarını içermektedir.
- **İşletim ve Bakım:** Kurumsal BT hizmetlerinin organize edilmesi ve yönetişimi, yenilerinin tekrar ele alınarak kontrol edilmesi, yönetimi, sunulması, deşteği ve tamamının sürekli iyileştirilmesini içeren gerekli unsurları kapsamaktadır.
- **Dijital Hizmetler (d-H ZMETLER):** Kurumun idari yönetimini, kurumsal tanıtım kanallarını ve dijital hizmetlerin tasarımını ve iyileştirilmesini içeren tüm aşamaları kapsamaktadır.
- **En son olarak kurumsal dijital olgunluk,** kurumun faaliyet gösterdiği alanın ve işlemlerinin de göz önüne bulundurulmasıyla hangi kabiliyetlerin organizasyon için önemli ve gerekli olduğunun tespiti sonucunda kuruma uygun hale getirilebilmektedir. Böylece, dijital dönüşüm çalışmaları özelleşmiş ihtiyaçlara

göre şekillendirilebilmektedir. Kurumsal Dijital Olgunluk Seviyesi 4 ana grupta incelenmektedir:

- Seviye 0 (Eksik): Kabiliyet mevcut değildir.
- Seviye 1 (Uygulanan): Kabiliyetin temel faaliyetleri uygulanmaktadır.
- Seviye 2 (Kurumsallaşmış): Kabiliyetler tanımlıdır ve faaliyetleri standarta uygun olarak uygulanmaktadır.
- Seviye 3 (Optimize Edilen): Kabiliyet aşamaları ölçülmekte ve sürekli iyileştirilmektedir (Tübitak, 2019: 16).

3.1.11 SIMMI 4.0

Dijitalleşmenin günümüzde hızla artmasıyla işletmeler de yapısal, köklü değişimler içerisine girmişlerdir. Leyh vd. (2016)'nin üzerinde çalıştıkları olgunluk modeli diğer modellerin aksine dijitalleşmenin tüm bileşenlerini değil yalnızca bilişim teknolojilerini baz alınarak olgunluğunun ölçüldüğü bir model olarak tasarlanmıştır. Model; Sistem Bütünleşik Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (SIMMI 4.0 – System Integration Maturity Model Industry 4.0) olarak adlandırılmakta ve dört boyut/beş aşamadan oluşmaktadır. Belirtilen boyut ve aşamalar, dijitalleşme ve Endüstri 4.0'ın genel kriterleri odak alınarak hazırlanmış ve geliştirilmeye devam edilmektedir. (Selim vd., 2021: 641). Boyutlar şu şekildedir:

Dikine boyut: Bu boyut, kendi seviyesi ve üstündeki aşamalarla veri alışverişinde bulunan ürünler, makineler, vb. fiziki şeylerin oluşturduğu bir işletmenin en alt düzeyindeki bileşenlere odaklanır.

Yatay boyut: Yatay organizasyonel düzeyde olduğu kadar işletme haricinde de otomatik ve bütünleşmiş bir bilgi akışı gereklidir. Bu sebeple, iş çapında bir değer ağı gerçekleştirmek ve veri düzeyinde birlikte çalışabilmek için devamlı ve anlamlı bir bilgi akışına ihtiyaç duyulmaktadır.

Dijital ürün üretme boyutu: Organizasyonların dijital devamlılığı açısından her bir süreç adımının dijital olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, ilgili her işlem adımı için en az bir kurumsal sistem oluşturulması gerektiği gibi, sahip olunan her veri ve bilginin sonraki ve önceki adıma da dahil edilmesi gerekmektedir.

Kesitsel Teknoloji Kriterleri Boyutu: Bu boyut, dijitalleşmenin farklı sahalarında hangi teknolojilerin ne kadar kullanıldığını tespit etmeye odaklanmaktadır. İhtiyaçlara göre gerekli birimler; hizmete dayalı mimari, Bulut bilişim, Büyük Veri ve BT Güvenliği olarak sayılmaktadır.

Belirtilen boyutların tamamı; Temel dijitalleşme olan ilk aşamadan başlayarak, birimler arası dijitalleşme, yatay ve dikey dijitalleşme, tam dijitalleşme ve geliştirilmiş tam dijitalleşme olarak beş aşamaya göre değerlendirilmektedir (Leyh vd., 2016: 1299).

3.1.12 Endüstri 4.0'ın Uygulanmasını Değerlendirmesinde Yeni Bir Olgunluk Modeli

Wagire vd. (2020) çalışmalarında Hintli üretim işletmelerinin olgunluk düzeylerini ölçmek için ampirik ve teknolojinin temel alındığı bir Endüstri 4.0 olgunluk modeli önermişlerdir. Model, 7 boyut ve 38 olgunluk maddesinden oluşmaktadır. Ayrıca model, test edilmesi amacıyla bir otomobil parçası imalat işletmesinde de uygulamaya alınmıştır. Bu 7 boyut 'İnsan ve Kültür', 'Endüstri 4.0 Farkındalığı', 'Organizasyon Stratejisi', 'Değer Zinciri ve Süreçler', 'Akıllı Üretim Teknolojisi', 'Ürün ve Hizmet Odaklı Teknoloji' ve 'Endüstri 4.0 Tabanlı Teknoloji' olarak sıralanmaktadır. İşletmelerin olgunluk düzeyini ölçmek için olgunluk öğeleri ve boyutları, bulanık AHP yöntemi ile ölçülerek çözümlenmiştir (Wagire vd., 2020: 603).

3.2. Endüstri 4.0 Olgunluk Modelleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Endüstri 4.0 olgunluk modeli üzerine yapılan uygulamalı çalışmalar, genellikle akademik makaleler, konferans bildirileri ve kitap bölümlerinde yer almaktadır. Bu çalışmalar, işletmelerin Sanayi 4.0 teknolojilerini benimseme ve olgunluk seviyelerini değerlendirme sürecine odaklanır. Çalışmalar aşağıda Tablo 6'da sıralanmıştır.

Tablo 6

Makale çalışmaları

Makale Çalışmaları			
Yıl	Yazar Bilgileri	Çalışmanın Konusu/İçeriği	Çalışılan Model
2016	Schumacher, A., Erol, S., ve Sihn, W.	Bu çalışmada, üretim işletmeleri için Endüstri 4.0'a hazırlık ve olgunluk seviyelerini değerlendiren bir model geliştirilmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2017	Gökalp, E., Şener, U., ve Eren, P. E.	Sanayi 4.0 olgunluk modelinin (Industry 4.0-MM) geliştirilmesini ve çeşitli sektörlerde uygulanmasını detaylandırır.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Asdecker ve Felch	İşletmelerin teslimat süreçlerindeki olgunluk seviyeleri belirlenerek teslimat lojistiği açısından vizyon oluşturulmuştur. Ayrıca işletmelere kalkınma sürecinde öncü olarak tedarik zinciri uygulamaları ile Endüstri 4.0 yaklaşımları arasındaki ilişki incelenmiştir.	Teslimat süreci olgunluk modeli
2018	Bibby ve Dehe	Savunma sektöründe faaliyet gösteren on iki işletmenin Endüstri 4.0 olgunluğu ölçülmüştür.	IMPULS ve Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modellerinden hareketle hazırlanan model
2018	Fettermann, Cavalcante, Almeida ve Tortorella	Endüstri 4.0 teknolojileri dahilinde otuz sekiz büyük işletmenin uygun olan teknolojileri ve olgunluk seviyeleri belirlenmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Lu ve Weng	Tayvan için geliştirilen akıllı üretim ve Endüstri 4.0'ın içinde bulunduğu on dokuz teknolojiyle olgunluk tahminleri gerçekleştirilmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Lin vd.	Tayvan'da faaliyet gösteren seksen işletmenin Endüstri 4.0 olgunluğu ölçülmüştür.	Singapur Akıllı Endüstri Hazırlık Endeksi'ne dayanan bir olgunluk modeli
2019	Pacchini vd.	Brezilya'da faaliyet gösteren motor üreticisi bir işletmenin Endüstri 4.0 hazırlığı ölçülmüştür.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., ve Voigt, K. I.	Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelerin dinamik kapasiteleri ve rekabet avantajları üzerindeki etkisi incelenmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., ve Wuest, T.	Endüstri 4.0 olgunluk modellerin kritik bir gözle incelenerek KOBİ'ler için uygulamalı öneriler sunulmuştur.	KOBİ'ler için uygulamalı öneriler sunar.
2019	Bibby, L., ve Dehe, B.	Savunma sektörü örneği üzerinden Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi üzerine çalışılmıştır.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2020	Büchi, G., Cugno, M., ve Castagnoli, R.	Akıllı fabrikaların performansı ve Endüstri 4.0 olgunluk seviyeleri değerlendirilmiştir.	Farklı 20 model değerlendirilerek yazarlar tarafından hazırlanan model
2021	Dossou, P. E. K., ve Torkkeli, L.	Endüstri 4.0 olgunluk modellerinin boyutlarının sistematik bir şekilde incelenerek literatür taraması yapılmıştır.	Tüm Modeller
Basılı Bildiri Metni			

Tablo 6'nın devamı			
2016	Schumacher vd.	Avusturya'da faaliyet gösteren havacılık ve uzay malzemeleri üretimi yapan bir işletmenin Endüstri 4.0 olgunluğu ölçülmüştür.	İmalat Firmaları için Geliştirilmiş Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli
2017	freund, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., ve Wahlster, W.	Endüstri 4.0 olgunluk endeksi geliştirilmiş ve şirketlerin dijital dönüşümlerini yönetmeleri için bir rehber sunulmuştur.	Maturity
2017	De Carolis vd.	Gıda, mühendislik ve elektrik enerjisi sektörlerinde faaliyet gösteren üç işletmenin şu anki durumları incelenerek Endüstri 4.0 teknolojileri karşısındaki hazırlıkları değerlendirilmiştir.	Dreamy
2017	Jæger ve Halse	Küresel anlamda güçlü olan dört Norveçli üretim işletmesinde Nesnelerin İnterneti teknoloji olgunluğu ölçülmüştür.	IoT Teknolojik Olgunluk Değerlendirme Puan Kartı
2018	Gökalp, E., Şener, U., Eren, P. E., ve Koçyiğit, A.	Türk üretim işletmeleri için bir Sanayi 4.0 hazırlık modeli sunar ve saha çalışmaları ile modelin geçerliliğini test eder.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Bittighofer, Dust, Irslinger, Liebich, ve Martin	Almanya ve Fransa'da faaliyet gösteren yedi farklı sektörden olmak üzere toplamda 24 işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi ölçülerek bu ülkeler açısından Endüstri 4.0'ın zorluklarını değerlendirilmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Dos Santos, Loures, Junior ve Santos	Alanyazındaki Ürün Yaşam Döngüsü (PLM: Product Life Cycle) Olgunluk Modelleri tespit edilerek Endüstri 4.0 ile en fazla uyumlu olan model tespit edilmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Hamidi,Aziz Shuhidan, Aziz ve Mokhsin	Malezya'da faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0 olgunluğu ölçülmüştür.	IMPULS olgunluk modelinden yararlanılarak hazırlanan model
2018	Kaltenbach, Marber, Gosemann, Bölts ve Kühn	Almanya'da faaliyet gösteren üç imalat firmasının akıllı hizmetler alanındaki olgunluğu ölçülmüştür.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2018	Stich, Gudergan ve Zeller	Üretim işletmelerinin Endüstri 4.0'a dair 2015 yılındaki durumları incelenerek 2020 yılındaki olası durumları hakkında Çin, Fransa, Almanya, Birleşik Krallık ve ABD'nde incelemeler gerçekleştirilmiştir.	Acatech
2019	Bandara vd.	Sri Lanka bankacılık sektörünün Endüstri 4.0 olgunluğunu ölçülmüştür.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Elnagar, Weistroffer ve Thomas	Endüstri 4.0 ile ilgili olgunluk düzeyini değerlendiren tanımlayıcı bir model geliştirilmiş ve model ilgili bir işletmeye uygulanmıştır.	Çevik İhtiyaç/ Gereksinim Mühendisliği Olgunluk Modeli
2019	Felch, Asdecker ve Sucky	Endüstri 4.0 olgunluk modelleri değerlendirilerek Almanya sanayi birlikleri ve çeşitli işletmelerin Endüstri 4.0 olgunlukları belirlenmiştir.	Farklı 20 model değerlendirilerek yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Keskin, Kabasakal, Kaymaz ve Soyuer	Türkiye'de konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi belirlenmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model

Tablo 6'nın devamı			
2019	Machado vd.	Havacılık, otomobil, plastik ambalaj ve ağır araçlar sektörlerini kapsayan yedi üretim işletmesinin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi belirlenmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Nick, Szaller, Bergmann ve Vargedo	Macaristan'da faaliyet gösteren işletmelerin Endüstri 4.0'a hazır olma düzeyleri değerlendirilerek detaylıca incelenmiştir.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Schumacher, Nemeth ve Sihn	Avusturya, Çin ve Hindistan'daki üç tesisin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi ölçülmüştür.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2019	Temur, Bolat ve Gözlü	İnşaat, tekstil ve kablo üretimi yapan üç farklı sektörden işletmenin Endüstri 4.0 olgunluğu ölçülmüştür.	Impuls
2020	Schumacher, A., Nemeth, T., ve Sihn, W.	Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0'ın uygulanması için bir yol haritası sunulmuştur.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
Tablo 6'nın devamı			
2020	Kamble, S. S., Gunasekaran, A., ve Gawankar, S. A.	Tarım tedarik zincirinde veri odaklı uygulamaların Endüstri 4.0 olgunluk modeli bağlamında değerlendirilmiştir.	Teslimat Süreci Olgunluk Modeli,
Kitap Bölümleri			
2013	Kagermann, H., Wahlster, W., ve Helbig, J.	Bu kitap bölümü, Almanya'nın Endüstri 4.0 stratejisinin uygulanması için önerilerde bulunarak olgunluk modellerine değinilmiştir.	Tüm modeller incelenmiştir.
2017	Lu, Y.	Bu bölüm, Endüstri 4.0 teknolojileri, uygulamaları ve açık araştırma konuları hakkında kapsamlı bir inceleme sunar.	Tüm modeller incelenmiştir.
2017	Ustundag, A., ve Cevikcan, E.	Bu kitapta, Endüstri 4.0'ın dijital dönüşüm süreçleri ve olgunluk modelleri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.	Tüm modeller incelenmiştir.
2018	Akdil vd.	Türkiye'de perakende sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyi ölçülmüştür.	Pek çok modelden yararlanılarak hazırlanan model
2019	Tadeu vd.	Brezilyalı işletmelerin Endüstri 4.0 dijital olgunluk düzeyini ölçülmüştür.	Yazarlar tarafından hazırlanan model
2020	Ustundag, A., ve Cevikcan, E.	Endüstri 4.0'ın dijital dönüşüm süreçleri ve olgunluk modelleri hakkında kapsamlı bilgi sunulmuştur.	Endüstri 4.0'ın dijital dönüşüm süreçleri ve olgunluk modelleri
2020	Lu, Y., Morris, K. C., ve Frechette, S.	Akıllı üretim sistemleri için mevcut standartlar ve Sanayi 4.0 olgunluk modelleri hakkında bilgi içeren bir kitap bölümü	Akıllı üretim sistemleri için uygulanacak modellerin literatür çalışmaları

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

4.1. Gereç ve Yöntem

Bu başlık altında araştırmanın amacı, araştırmanın önemi, araştırmanın örnekleme, araştırmanın yöntemi, verilerin elde edilmesi, verilerin analizi, araştırmanın sınırlılıkları başlıklarına yer verilmiş ve detaylıca incelenmiştir.

4.1.1. Araştırmanın Amacı

Endüstri 4.0 kavramı ilk ortaya çıktığı andan itibaren akademisyenlerin ve işletmelerin odağı haline gelmiştir. Günümüzde birçok işletme, Endüstri 4.0 teknolojilerini kendi bünyelerine entegre etmeye çalışırken, bu dönüşüm sürecinde hangi aşamada olduklarını belirlemek gelecek yatırımlarını şekillendirmek ve doğru bir vizyon oluşturmak Bu sebeple bu araştırma, bölgemizde Mobilya Sektöründe üretim işletmesi olarak faaliyet gösteren Doğanlar Mobilya Grubu İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (DOĞTAŞ) firmasının Endüstri 4.0 uygulamalarının hangi olgunluk seviyesinde konumlandığını belirlemeyi ve mevcut durumunun analiz edilerek işletmenin dijital dönüşüm sürecine katkı sağlanmasını amaçlamaktadır. Böylelikle işletmenin üretim süreçlerinde hangi teknolojileri kullandığı, hangi alanlarda yetersiz olduğu ve nasıl bir dönüşüm süreci izlemesi gerektiği üzerine bir değerlendirme yapılacaktır. Aynı zamanda bu araştırma ile Endüstri 4.0 ve olgunluk modellerini konu alan yeni akademik çalışmalara katkı sağlaması ve özellikle mobilya sektörü bağlamında dijital dönüşüm sürecine yönelik yeni araştırmaları teşvik etmesi hedeflenmektedir.

4.1.2. Araştırmanın Önemi

Bu çalışma, özellikle üretim işletmeleri açısından Endüstri 4.0 uygulamalarını bir olgunluk modeli çerçevesinde değerlendirerek işletmelerin mevcut durumunu analiz etmeyi hedeflemektedir. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda işletmenin Endüstri 4.0 sürecinde hangi seviyede olduğu ve hangi alanlarda iyileştirmeler yapması gerektiğini göstermek diğer işletmeler için de yol gösterici bir vaka çalışması olabilir. Çalışmanın ayrıca, işletmelerin

dijitalleşme süreçlerinde karşılaştıkları engelleri ve fırsatları da sunarak bu yolda daha etkin bir yol haritası çizmelerine yardımcı olacağı umulmaktadır. Bununla birlikte, işletmelerin bu süreçte karşılaştıkları engellerin belirlenerek çözüm önerilerinde bulunulması üretim sektörünün daha sağlam bir yapıya kavuşmasına destek açısından da önem taşımaktadır. Türkiye'nin Endüstri 4.0'a entegrasyon sürecinde gerçekleştirilecek bu tür çalışmaların, ülkenin dijital dönüşümüne katkı sağlaması beklenmektedir.

4.1.3. Araştırmanın Örneklemi

Nitel araştırmalarda genellikle olasılıklı olmayan örnekleme yöntemlerinden yararlanılır. Bu örnekleme araştırmacı, evren ile ilgili kendi bilgilerine veya çalışmanın amacına bağlı kalmaktadır. Buradaki düşünce, araştırmanın daha derinlemesine yapılabilmesi için örneklem sayısından çok, araştırmanın amacı bağlamında olabildiğince fazla bilgiye ulaşılması durumudur. Araştırmacı evrendeki çeşitlilikten faydalanarak araştırmaya uygun olan ve bu çeşitliliği en iyi temsil edeceğine kanaat getirdiği bir örneklem belirlemektedir (Baltacı, 2018, 245). Çalışmada, olasılıklı olmayan örnekleme araçlarından amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Amaçlı örnekleme araştırmacının çalışması doğrultusunda bireyleri ve çalışma alanlarını seçmesi anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda araştırmacı, örneklemin kim veya ne olabileceği ve örneklem için kaç kişiye veya mekâna ihtiyaç duyulacağı hakkında karar vermek durumundadır (Creswell, 2023: 294). Böylece bu örnekleme yöntemi ile olgu ve olayların fark edilebilirliği ve açıklanması daha mümkün hâl almaktadır (Oruç, 2021: 102). Bu bilgilerden hareketle çalışmaya, ilgili işletmenin üst ve orta kademelerinden olmak üzere toplam 19 yönetici dahil edilmiştir. Örneklem büyüklüğü belirlenirken veri doygunluğu faktörü de dikkate alınmıştır. Veri toplama sürecinde ulaşılan doyum düzeyi; veri doygunluğu veya teorik doygunluk olarak tanımlanmaktadır. Bu düzeyde, elde edilen ilave verilerin mevcut bilgilere katkısı bulunmamaktadır ve bu aşama aynı zamanda örneklemin yeterliliğinin de ölçütü anlamına gelmektedir (Tutar: 2022: 129).

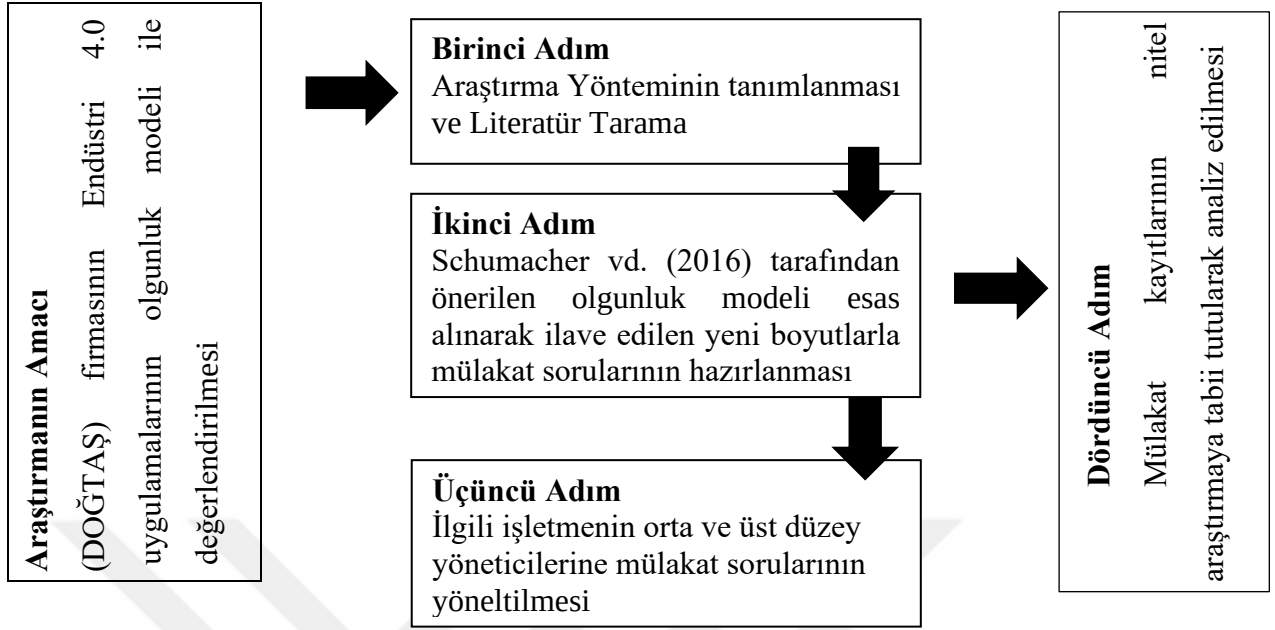
4.1.4. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmada, sosyal olguların, bağlı bulunduğu çevreye bağlı olarak araştırılmasını, anlaşılmasını temel alan ve kuram oluşturmayı ön planda tutan nitel araştırma yöntemlerinden yararlanılmıştır (Köse ve Ayhün, 2020, s. 80). Araştırma kapsamında veriler

yarı-yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılarak 03.07.2023 ile 14.07.2023 tarihleri arasında yüz yüze görüşülerek elde edilmiştir.

Nitel araştırma; nitel veri toplama yöntemlerinden, gözlem, mülakat ve belge analizi gibi metotların kullanılarak insana ait algıların ve yaşananların, bulunduğu ortamda gerçekçi bir şekilde ortaya konulması sağlayan araştırma yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2008: 39). Nitel araştırma ayrıca farklı disiplinleri bir araya getiren bütüncül bir yaklaşıma da sahiptir. Nicel verilerin ve istatistiki bilgilerin ele alınmasından çok araştırmacının gözlemlerinin ve görüşme analizi gibi ayrıntıların ele alındığı bir yöntemdir. Nitel araştırmalarda araştırmacı, olayların gerçekliğini değiştirmeden derinlemesine analiz yaparak kendine ait betimlemelerle olayı yorumlamaya ve anlamlandırmaya çalışmaktadır (Baltacı, 2019: 370). Yarı-yapılandırılmış görüşme tekniğinde araştırmacı, sormayı planladığı soruları önceden hazırlayarak katılımcıya yöneltmektedir. Ayrıca görüşme esnasında akışa bağlı olarak yan ya da alt sorular da ekleyerek katılımcının yanıtlarını detaylandırmasını sağlamaktadır (Çakaloğlu).

Aşağıda çalışmanın amacına ulaşması amacıyla tasarlanan şablon görülmektedir. Şablona göre; araştırmanın amacının ve yönteminin belirlenmesinin ardından konuya ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Çıkış noktamız olan Schumacher vd. (2016) çalışmasından elde ettiğimiz ölçeğe yeni boyutların ilavesiyle sorular düzenlenerek işletmenin uygun gördüğü tarih aralığında ilgili örnekleme uygulanmıştır. En son aşama olarak görüşmeler nitel araştırma yöntemlerine uygun olarak analiz edilmiştir.



Şekil 1. Araştırma Tasarımı

4.1.5. Verilerin Elde Edilmesi

Literatür taraması sonucu, ağırlıklı olarak üretim işletmelerinin olgunluk modellerini içeren on iki çalışma üzerinde durulmuştur. Özellikle üretim işletmelerine odaklanması ve en çok atıf alan modellerden biri olması sebebiyle tez çalışmasına, Schumacher vd. (2016) tarafından önerilen olgunluk modelinin ölçeği uyarlanarak sorular türetilmiştir. 9 boyut (Strateji, Liderlik, Müşteriler, Ürünler, Operasyonlar, Kültür, Çalışanlar, Yönetişim, Teknoloji) ve 62 alt boyuttan oluşan ölçeğe, literatürdeki bilgiler ve ilgili on iki çalışmanın incelenmesinin ardından 4 boyut (İnovasyon, Akıllı Üretim, Ar-Ge Kültürü, Yapay Zekâ) daha eklenmiş ve 13 boyut haline getirilmiştir. Yukarıda sözü edilen her bir boyut üç soru ile desteklenmiş ayrıca cinsiyet, yaş ve eğitim durumundan oluşturulan 3 demografik soruya, çalışılan birim ve çalışma süresi soruları da eklenerek toplamda 44 soru ilgili işletmenin orta ve üst düzey çalışanlarına yöneltilmiştir. Elde edilen verilerin analizi sonrası işletmenin olgunluk seviyesi değerlendirilecektir. Olgunluk seviyesi 5 kademedan oluşmaktadır. 1. Seviye işletmenin Endüstri 4.0 kavramına ait kriterleri taşımadığını ifade ederken, 5. Seviye işletmenin Endüstri 4.0 için gerekli niteliklere tam anlamıyla sahip olduğunu ifade etmektedir (Schumacher vd., 2016: 164).

4.1.6. Verilerin Analizi

Nitel veri analizinin kullanıldığı çalışmada ilk olarak elde edilen görüşme notları Word belgesi halinde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen verilerden çarpıcı ve önemli olduğu düşünülen kısımlar kodlar ve alt kodlar şeklinde programa uygun hale getirilmiştir. Sonrasında verilerin Maxqda 2024 Nitel Veri Analiz Programı yardımıyla tüm nitel analizleri tamamlanmıştır. Nitel araştırmaların en önemli aşamalarından biri kodlamadır. Katılımcılarla yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen verilerin kelimeler ya da cümleler bazına indirgenerek anlamlandırılması kodlama yoluyla yapılmaktadır (Balcı, 2022: 140). Başka bir deyişle kodlama, veri toplama esnasında toplanan veri veya resimlerin metin içinde gösterilmesi, cümleler şeklinde ifade edilmesi ve genellikle katılımcıların güncel diline uygun bir biçimde isimlendirilmesi olarak da ifade edilmektedir (Creswell, 2017: 198).

4.1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları

Çalışmanın belirli bir sektör (Mobilya) ile yapılmış olması bu araştırmanın sınırlılıklarından biri olarak kabul edilmektedir. Doğanlar Mobilya Grubu özelinde elde edilen veriler, diğer sektörler ve işletmeler için genelleştirilebilir olmaktan uzak olabilir. Ayrıca, Endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesinde kullanılan olgunluk modeli, Schumacher'in (2016) çalışmasından esinlenerek uyarlanmıştır. Ancak, bu modelin spesifik olarak mobilya sektörü bağlamında kullanılması, modelin diğer sektörlerdeki uygulanabilirliğini sınırlandırabilir. Veri toplama yöntemlerindeki nitel ağırlık, sonuçların subjektif yorumlara dayalı olmasına neden olabilirken, daha geniş ve çeşitli bir veri seti ile daha kapsamlı sonuçlara ulaşılması beklenmektedir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Çalışmanın bu bölümünde katılımcılara ait bilgiler verilmiştir. Hazırlanmış olan görüşme soruları işletmenin yönetim kadrosu ile beyaz yakalı çalışanlarına yöneltilmiştir. Katılımcıların demografik ve kişisel özelliklerine ilişkin bilgilere Tablo 7’de yer verilmektedir.

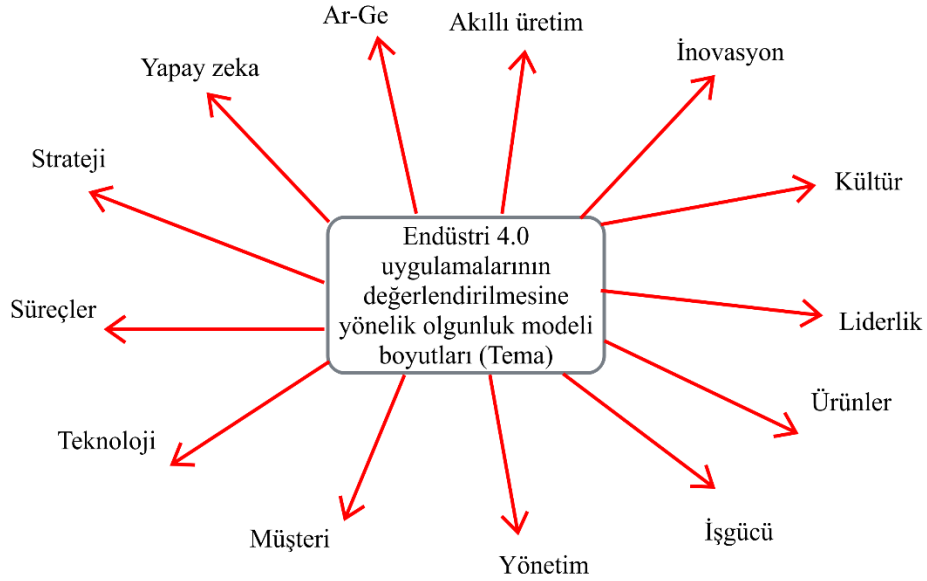
Tablo 7
Katılımcılara Ait Bilgiler

Kategoriler	Alt Kategori	Katılımcı Sayısı
Cinsiyet	Kadın	10
	Erkek	9
Yaş	<31	13
	31-35	4
	36-40	1
	>45	1
Eğitim Düzeyi	Lisans	15
	Yüksek Lisans	4
	Doktora	0
Çalışma Birimi	Tasarım Merkezi	3
	Planlama	6
	Panel Üretim	3
	Lojistik	2
	İşletme Direktörlüğü	1
	Ar-Ge	2
	Üretim	2
Çalışma Yılı	<1	10
	1.5	1
	3	2

Tablo 7'nin devamı		
	5	1
	6	2
	7	2
	25	1

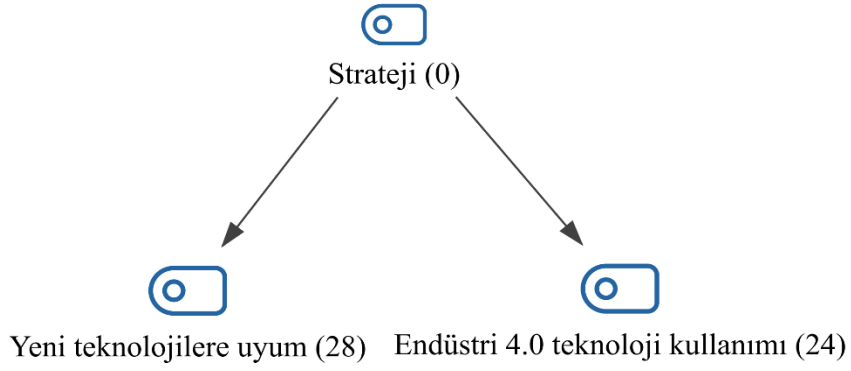
5.2. Analiz Bulguları

Çalışmanın bu bölümünde, işletmenin Endüstri 4.0 uygulamalarının bir olgunluk modeli ile değerlendirilmesi kapsamında görüşmelerden elde edilen verilerin kod ve alt kodlara atanmasıyla yapılan analizlere yer verilmiştir. Endüstri 4.0 uygulamalarını değerlendirmeye yönelik olgunluk modeli boyutları Şekil 2'de gösterilmiştir.



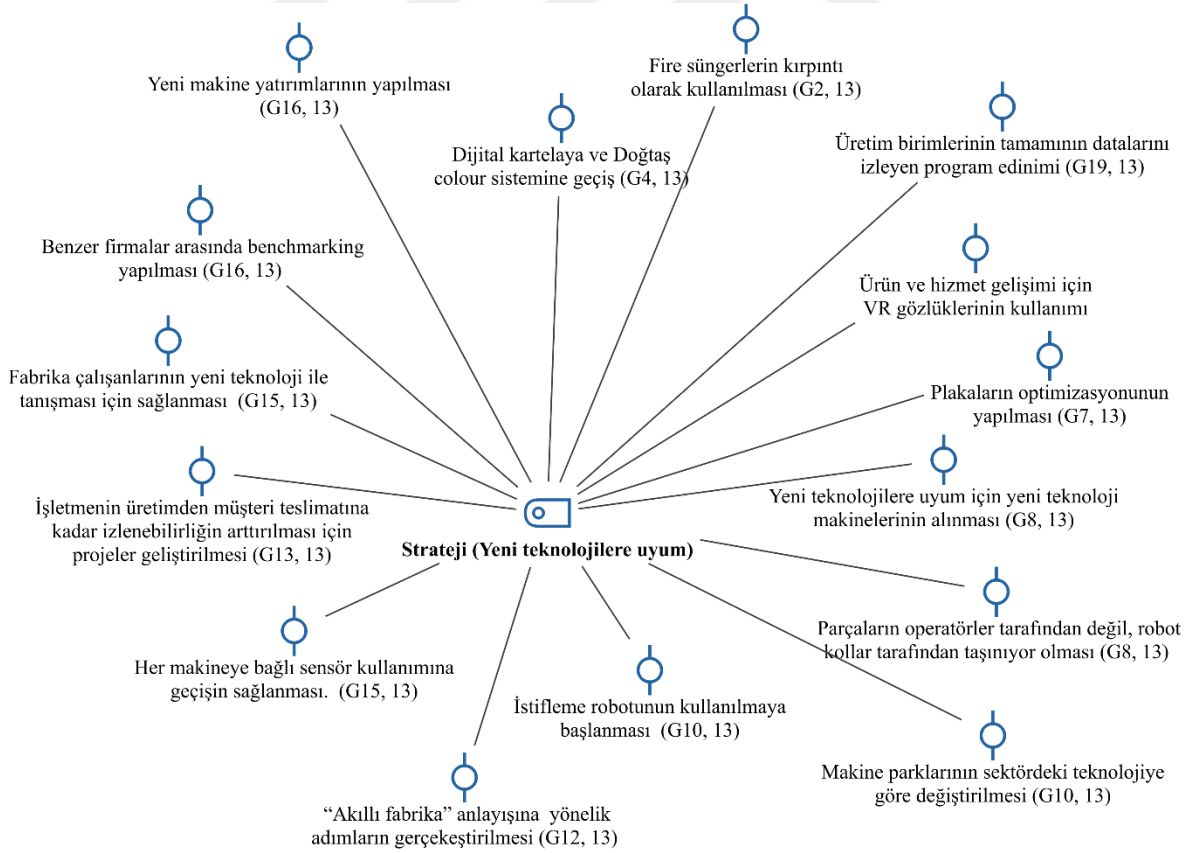
Şekil 2. Endüstri 4.0 uygulamalarını değerlendirmeye yönelik olgunluk modeli boyutları

Aşağıda, işletmenin Endüstri 4.0 uygulamalarının bir olgunluk modeli ile değerlendirilmesi kapsamında belirlenen on üç boyutun tamamının Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli ile Alt Kodlara ilişkin MaxMaps Grafikleri 'ne yer verilmiştir.



Şekil 3. Strateji koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

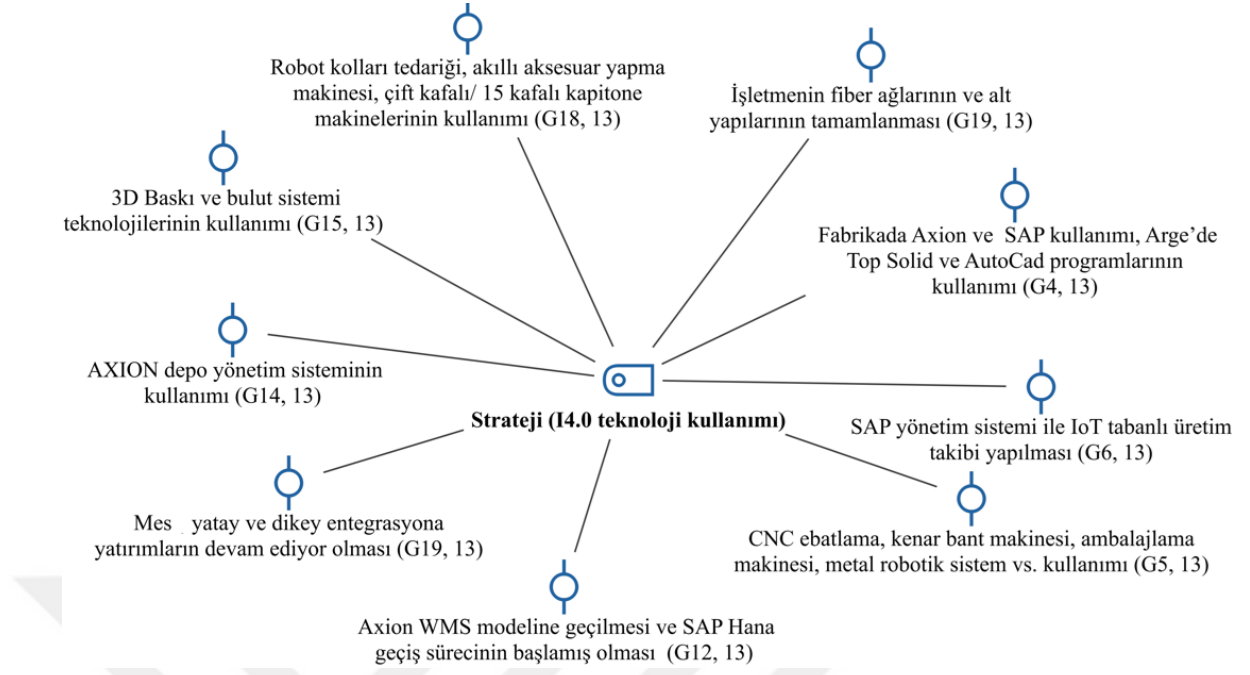
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri olan Strateji kodunun, “Yeni teknolojilere uyum” ve “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” alt kodlarıyla ön plana çıktığı görülmektedir. “Yeni teknolojilere uyum” alt kodun görsel haritası Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. Strateji (Yeni teknolojilere uyum) Koduna Ait Görsel Harita

Katılımcıların “Yeni teknolojilere uyum” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 4’te belirtilmiştir. Buna göre;

- Yeni teknolojilere uyum konusunda katılımcılar; işletmede *istifleme robotunun* kullanılmaya başlanmasından ve parçaların operatörler tarafından değil *robot kollar* tarafından taşınıyor olmasından söz etmişlerdir.
- Her makineye bağlı *sensör* kullanımından ve fabrika çalışanlarının yeni teknolojiyle tanışmalarının sağlanmasından bahsedilmiştir.
- Teknolojiye uyum konusu yönetsel açıdan ele alındığında farklı işletmelerle kendi işletmeleri arasında *benchmarking* (kıyaslama) yapıldığı ve yeni makine yatırımlarının devam ettiği belirtilmiştir.
- Atıkların değerlendirilmesi hususunda *fire süngerlerin* kırıntı olarak kullanıldığı ifade edilmiştir.
- Ürün ve hizmet gelişimi için VR (*Virtual reality-Sanal gerçeklik*) gözlüklerinin kullanımından ve plakaların *optimizasyonundan* söz edilmiştir.
- İşletmelerinin *Akıllı Fabrika* olma yolundaki adımları gerçekleştirdikleri vurgusu yapılmıştır.
- Müşterilerin seçimlerini kolaylaştırmak adına *dijital kartela* ve *Doğtaş color* sistemine geçiş üzerinde durulmuştur.
- Üretim birimlerinin datalarının bütünü izleyecek program ediniminden ve üretimden müşteriye kadar izlenebilirliğin artırılması için projeler geliştirildiğinden söz edilmiştir.

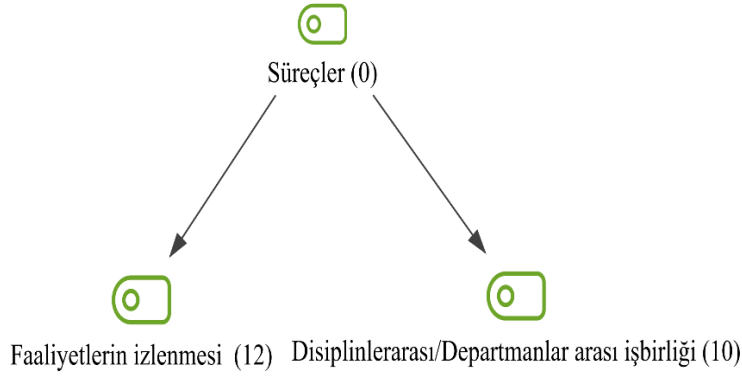


Şekil 5. Strateji (Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı) Koduna Ait Görsel Harita

Strateji kodunun “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” alt koduna ait görsel haritası

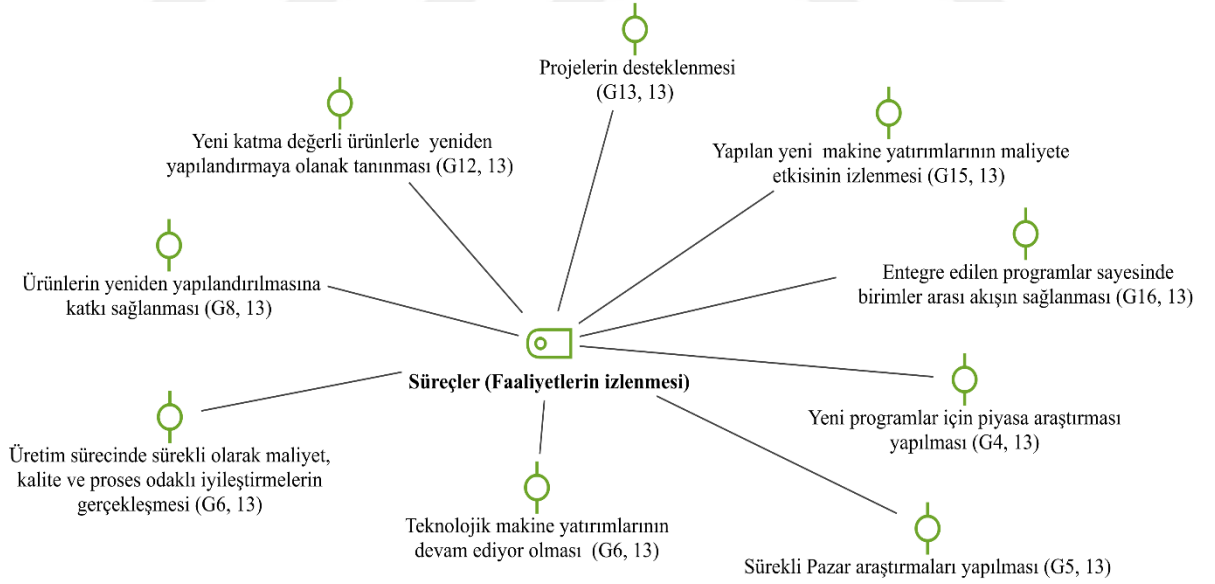
Şekil 5’te sunulmuştur. Buna göre katılımcılar;

- Katılımcılar, *3D baskı ve bulut sistemi* teknolojilerinin kullanıldığı bilgisini paylaşmışlardır.
- *Yatay ve dikey entegrasyon*, *Mes* yatırımlarının devam ettiğinden söz edilmiştir.
- *Axion* depo yönetim sisteminin kullanıldığı, *WMS* modeli ve *SAP HANA* veri tabanına geçiş sürecinin başlatıldığı vurgulanmıştır.
- *SAP* yönetim sistemi ile *IoT* (nesnelerin interneti) tabanlı üretim takibinin yapıldığı ifade edilmiştir.
- *Ar-Ge*’de *Top Solid* ve *AutoCad* programlarının kullanıldığı ifade edilmiştir.
- İşletmenin *fiber ağ* alt yapılarının tamamlandığı bilgisi verilmiştir.
- *CNC* ebatlama, *kenar bant makinesi*, *ambalajlama makinesi*, *metal robotik sistemlerin* kullanımı konuları üzerinde durulmuştur.
- *Robot kolları tedariki* ve *akıllı aksesuar yapma makinesi* kullanımından söz edilmiştir.



Şekil 6. Süreçler koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

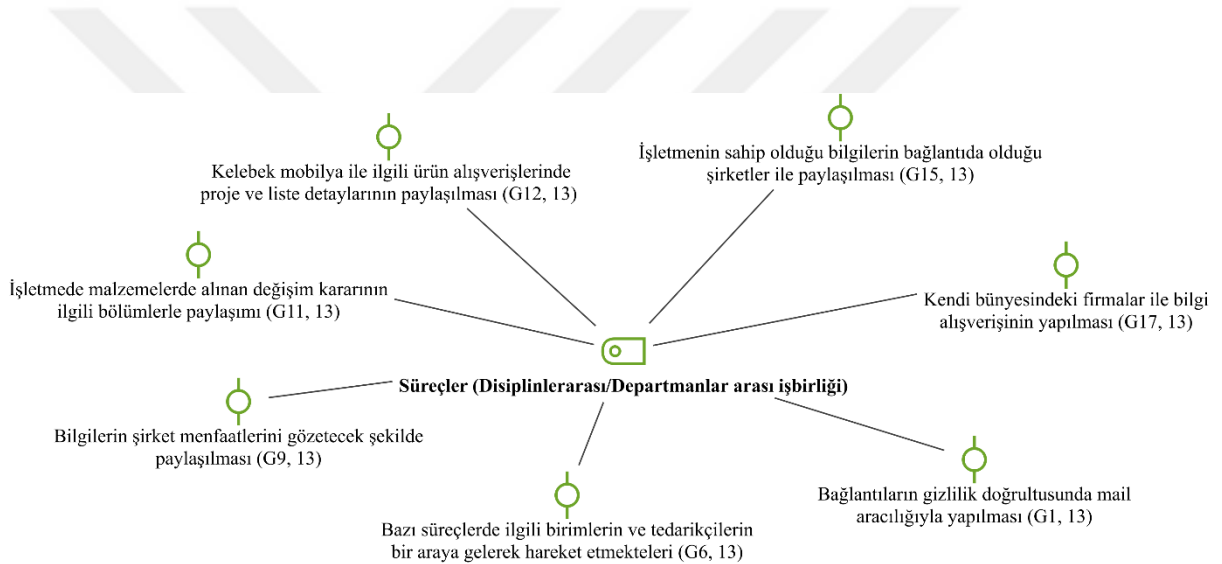
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen bir diğer kod “Süreçler” kodudur. Süreçler kodu; “Faaliyetlerin izlenmesi” ve “Disiplinlerarası/Departmanlar arası iş birliği” adı altında iki tane alt kod içermektedir. “Faaliyetlerin izlenmesi” alt kodun görsel haritası Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. Süreçler (Faaliyetlerin izlenmesi) Koduna Ait Görsel Harita

Katılımcıların “Faaliyetlerin izlenmesi” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 7’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, üretim sürecinde sürekli olarak kalite, maliyet ve proses odaklı iyileştirmelerin gerçekleştirildiğinden söz etmişlerdir.
- Yeni katma değerli ürünlerle yeniden değerlendirmeye olanak sağlandığından bahsedilmiştir.
- Entegre edilen programlar sayesinde birimler arası akışın sağlandığı ifade edilmiştir.
- Yeni programlar için sürekli pazar araştırması yapıldığı vurgulanmıştır.
- Teknolojik makine yatırımlarının devam ettiği ve bunların maliyete etkisinin izlendiği üzerinde durulmuştur.
- Ürünlerin yeniden yapılandırılmasına katkı sağlandığı hususuna değinilmiştir.

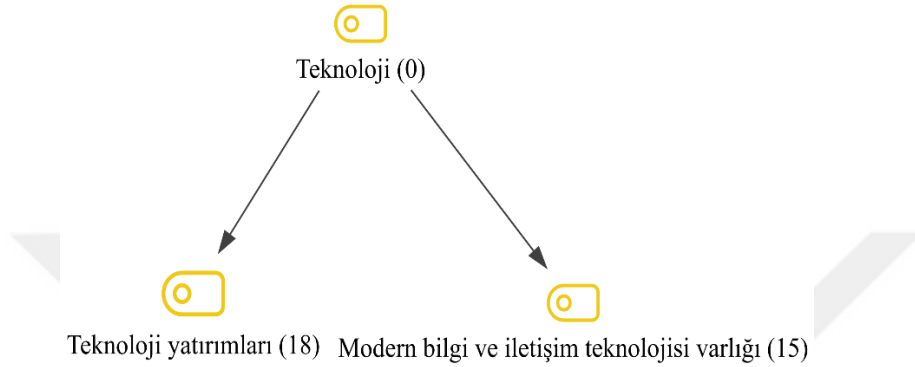


Şekil 8. Süreçler (Disiplinlerarası/Departmanlar arası iş birliği) Koduna Ait Görsel Harita

Süreçler kodunun “Disiplinlerarası/Departmanlar arası iş birliği” alt koduna ait MaxMaps Grafiği Şekil 8’de sunulmuştur. Buna göre;

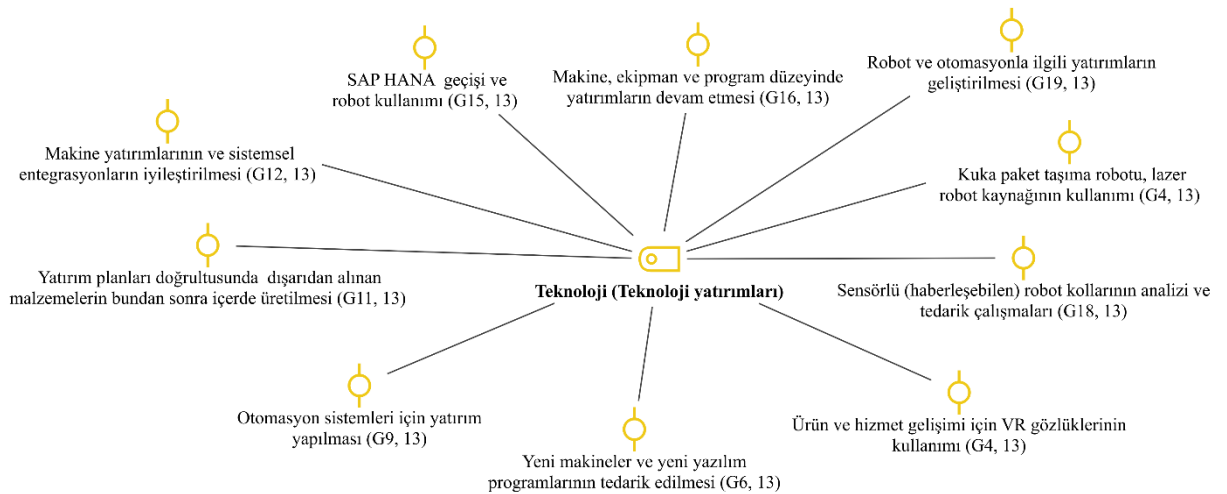
- Katılımcılar, işletmede malzemelerde alınan değişim kararının ilgili bölümlerle paylaşıldığını ifade etmişlerdir.
- Bilgilerin şirket menfaatlerini gözeterek paylaşıldığı bilgisi verilmiştir.
- Bazı süreçlerde ilgili birim ve tedarikçilerin bir araya gelerek karar verdiklerinden söz edilmiştir.

- Kelebek Mobilya/kendi bünyesindeki firmalar ile ilgili ürün alışverişlerinde proje ve liste detaylarının paylaşıldığı ifade edilmiştir.



Şekil 9. Teknoloji koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

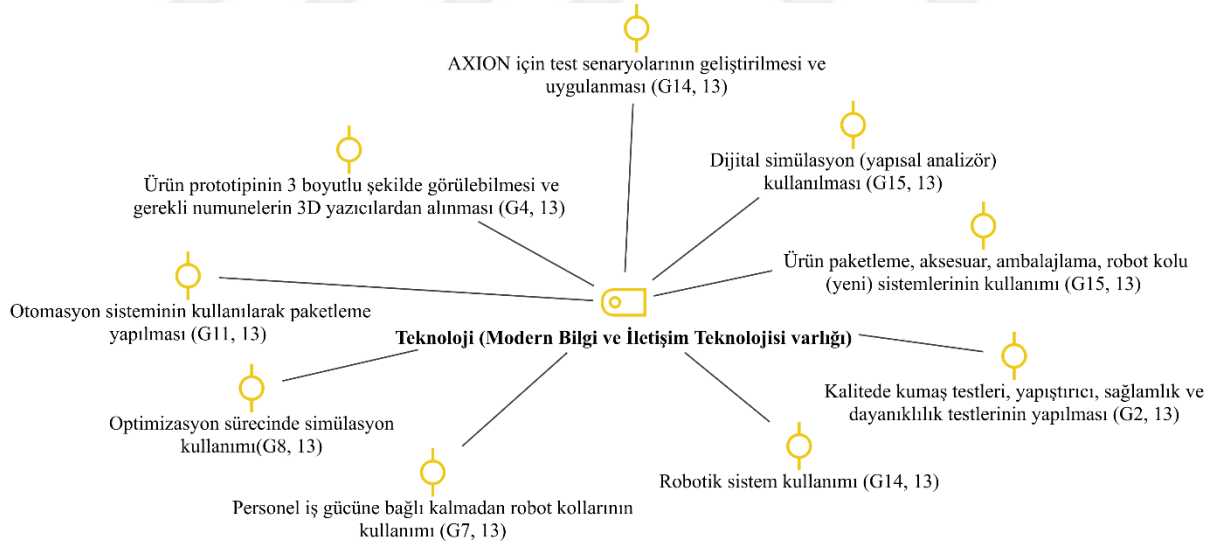
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen bir diğer kod “Teknoloji” kodudur. Teknoloji kodu “Teknoloji yatırımları” ve “Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı” adlarında iki adet alt kod barındırmaktadır. “Teknoloji yatırımları” alt kodun görsel haritası Şekil 10’da sunulmuştur.



Şekil 10. Teknoloji (Teknoloji yatırımları) Koduna Ait Görsel Harita

Katılımcıların “Teknoloji yatırımları” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 10’da belirtilmiştir. Buna göre;

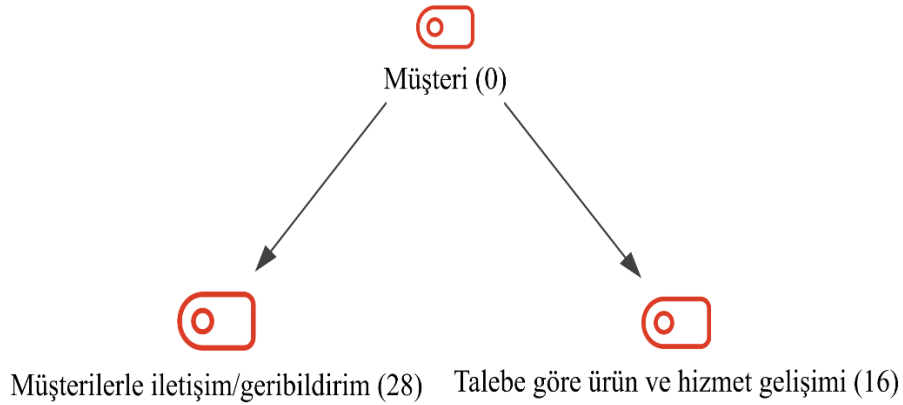
- Katılımcılar, yapılan yatırım planları doğrultusunda dışarıdan alınan bazı malzemelerin bundan sonra içeride üretilmesi üzerinde durmuşlardır.
- *Makine, ekipman ve program/yazılım düzeyinde* yatırımların devam ettiği ve *sistemsel entegrasyonların iyileştirilmesi* hususunda çalışmalar yapıldığı ifade edilmiştir.
- Otomasyon sistemleri için yatırımlar yapıldığından söz edilmiştir.
- Ürün ve hizmet gelişimi için *VR (sanal gerçeklik) gözlüklerinin* kullanımından bahsedilmiştir.
- *Sensörlü (haberleşebilen) robot kollarının* analizi ve tedariki konusunda bilgi verilmiştir.
- *Kuka paket taşıma robotu, lazer robot kaynağının* kullanımından bahsedilmiştir.
- *SAP HANA* geçişi ve *robot kullanımından* söz edilmiştir.



Şekil 11. Teknoloji (Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı) Koduna Ait Görsel Harita

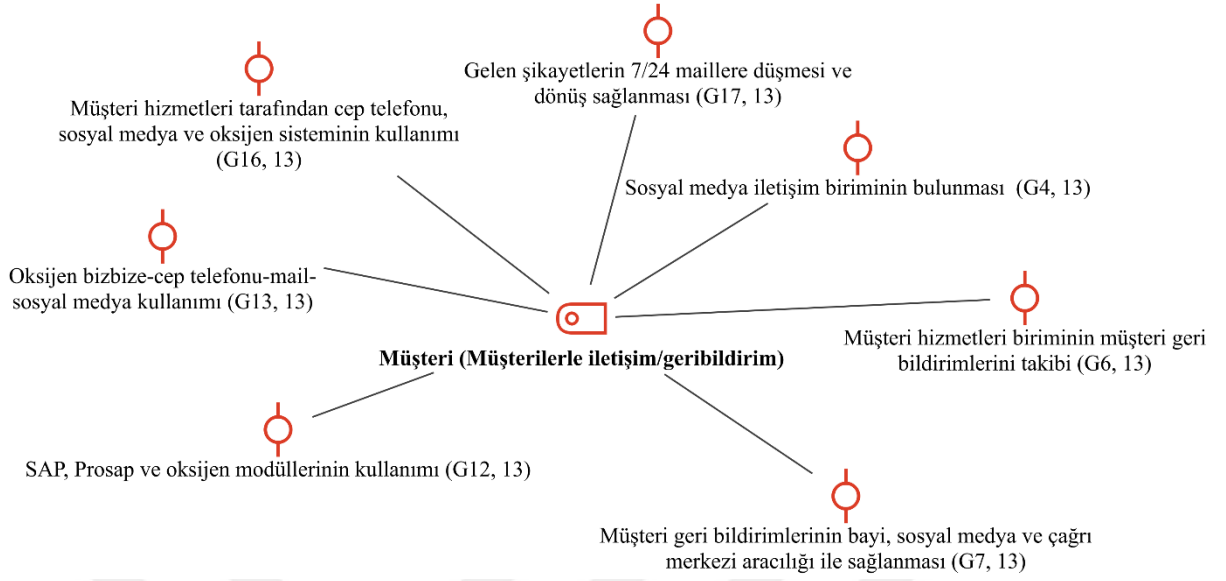
Katılımcıların “Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 11’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, paketlemede *otomasyon* sisteminin kullanıldığı bilgisini paylaşmışlardır.
- *Optimizasyon* sürecinde *simülasyon* kullanımından söz edilmiştir.
- Personel iş gücüne bağlı kalmadan *robot kollarının* kullanımına işaret edilmiştir.
- Kalitede kumaş testleri, yapıştırıcı, sağlamlık ve dayanıklılık testlerinin yapıldığı vurgusu yapılmıştır.
- Ürün prototipinin 3 boyutlu şekilde görülebilmesi için *3D yazıcıların* kullanıldığı bilgisi verilmiştir.
- *Dijital simülasyon* (yapısal analizör) kullanımından söz edilmiştir.
- AXION için *test senaryolarının* geliştirilmesi ve uygulanmasıyla ilgili bilgiler verilmiştir.



Şekil 12. Müşteri koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

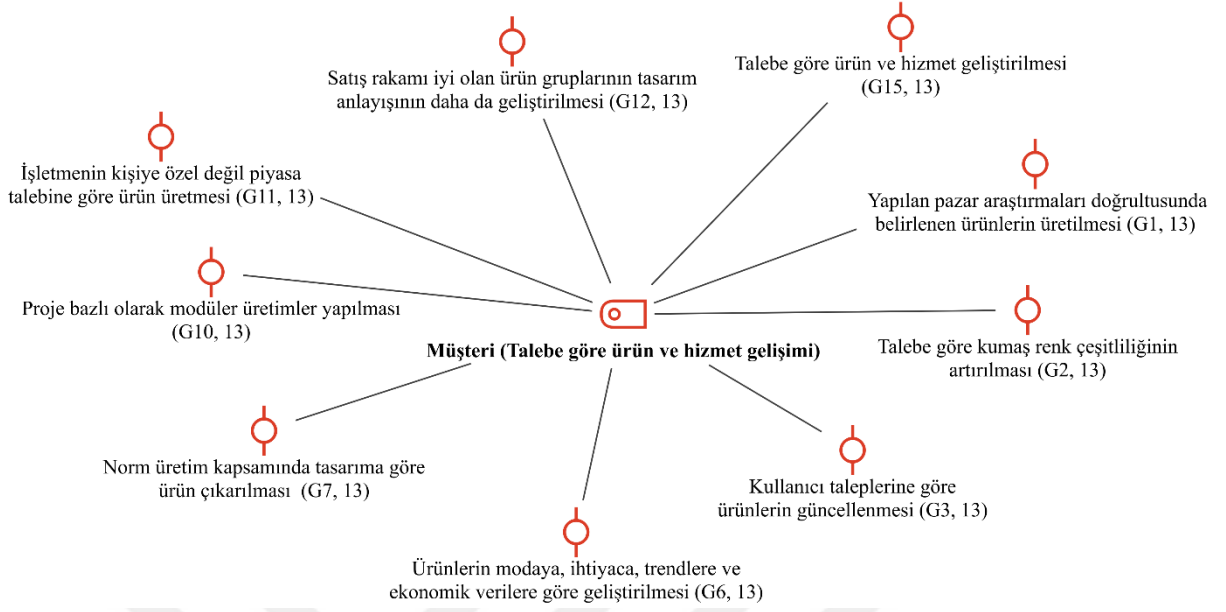
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri de “Müşteri” kodudur. Müşteri kodu “Müşterilerle iletişim/geribildirim” ve “Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi” adlarında iki adet alt kod barındırmaktadır. “Müşterilerle iletişim/geribildirim” alt kodun görsel haritası Şekil 13’te sunulmuştur.



Şekil 13. Müşteri (Müşterilerle iletişim/geribildirim) Koduna Ait Görsel Harita

Katılımcıların “Müşterilerle iletişim/geribildirim” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 13’te belirtilmiştir. Buna göre;

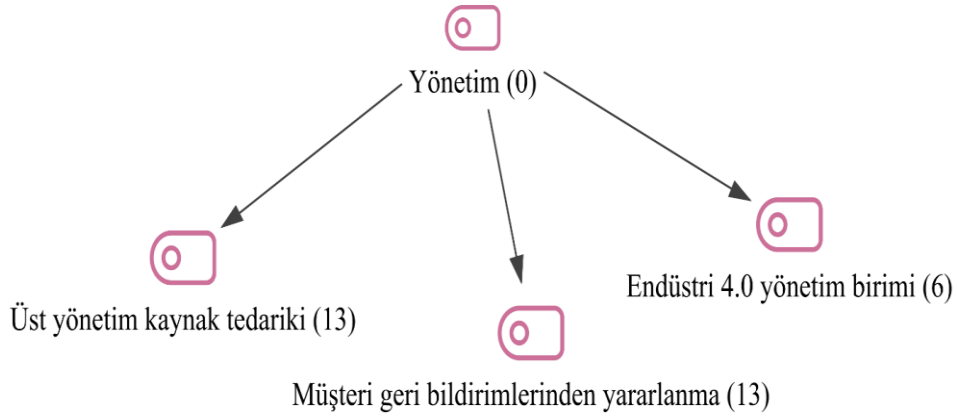
- Katılımcılar, müşterilerle iletişim için *cep telefonu, sosyal medya ve oksijen sisteminin* kullanımından söz etmişlerdir.
- İletişim için ayrıca *oksijen biz bize ve maille* iletişimden de yararlanıldığı vurgulanmıştır.
- *SAP ve Prosap* modüllerinin de müşterilerle iletişimde kullanıldığı ifade edilmiştir.
- Müşteri geribildirimleri için *bayi, sosyal medya ve çağrı merkezlerinden* yararlanıldığı bilgisi verilmiştir.
- Müşterilerden gelen şikâyetlerin 7/24 maillere düştüğü ve en kısa sürede dönüş sağlandığı konusuna işaret edilmiştir.



Şekil 14. Müşteri (Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi) Koduna Ait Görsel Harita

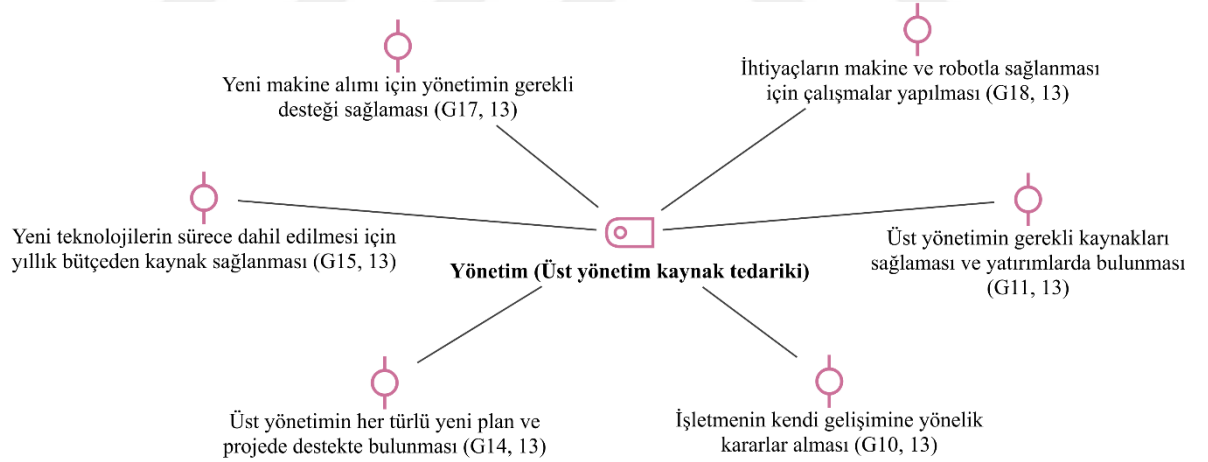
Katılımcıların “Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 14’te belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, işletmenin kişiye özel değil *piyasa araştırmaları sonucunda* belirlenen ürünlerin üretildiğini belirtmişlerdir.
- Norm üretim kapsamında *tasarıma göre ürün* çıkarıldığından söz edilmiştir.
- Proje bazlı olarak işletmede *modüler üretim* gerçekleştirildiği yönünde görüş bildirilmiştir.
- *Ürünlerin moda, ihtiyaç, trendlere ve ekonomik verilere* göre geliştirildiği ifade edilmiştir.
- Talebe göre *kumaş renk çeşitliliğinin* arttırıldığı ve kullanıcı taleplerine göre ürünlerin güncellendiği vurgulanmıştır.
- *Satış rakamı iyi olan ürün gruplarının* tasarım anlayışının daha da geliştirildiğine işaret edilmiştir.



Şekil 15. Yönetim koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri “Yönetim” kodudur. “Yönetim” kodu “Üst yönetim kaynak tedariki”, “Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma” ve “Endüstri 4.0 yönetim birimi” adlarında üç adet alt kod içermektedir. “Üst yönetim tedariki” alt kodun görsel haritası Şekil 16’da sunulmuştur.

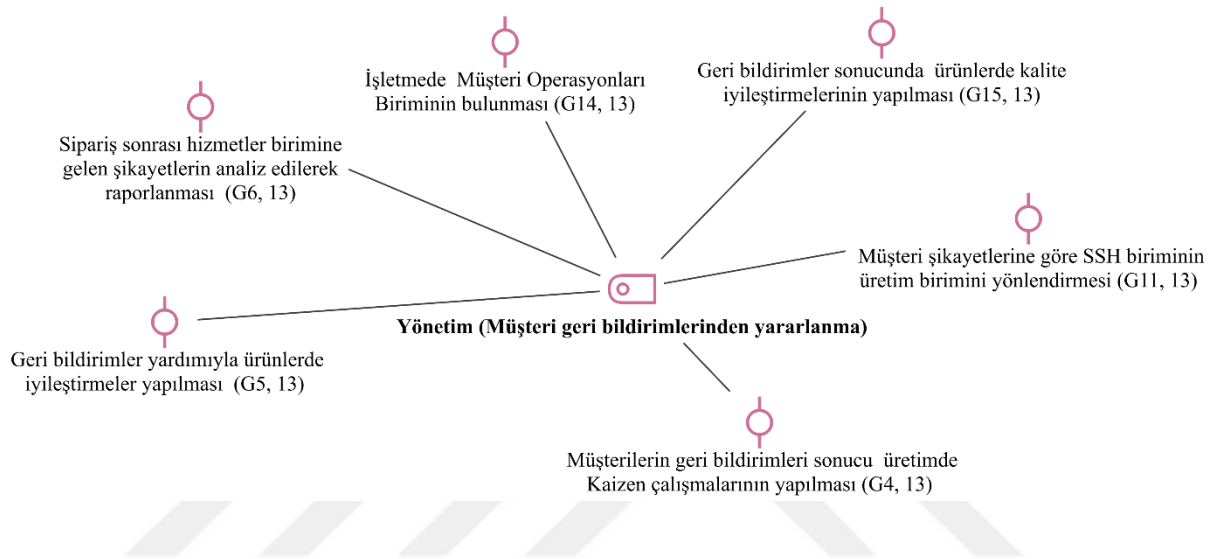


Şekil 16. Yönetim (Üst yönetim kaynak tedariki) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Üst yönetim kaynak tedariki” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 16’da belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, yeni teknolojilerin sürece dahil edilmesi için yıllık bütçeden kaynak sağlandığını belirtmişlerdir.

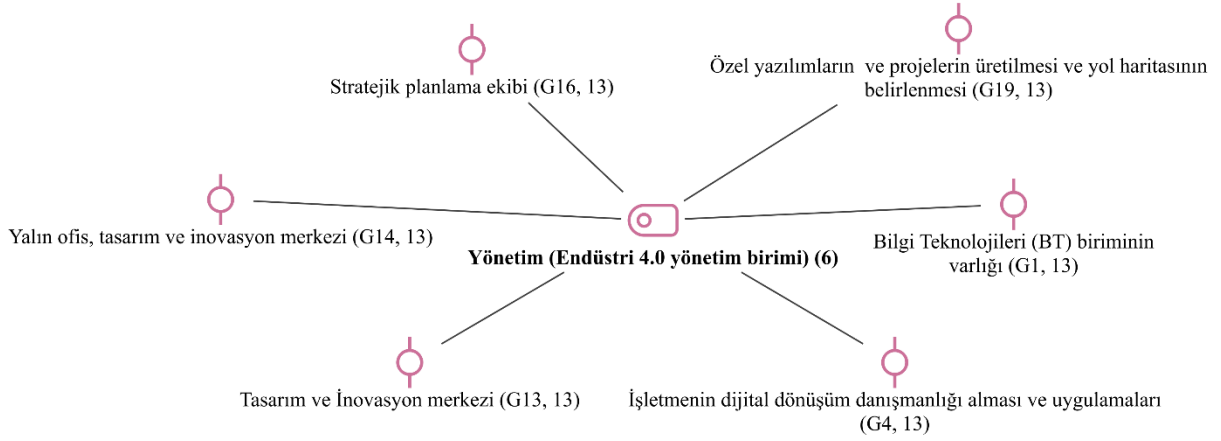
- Yeni makine alımı ve ihtiyaçların robotla sağlanması yönünde yönetimin gerekli desteği sağladığı da eklenmiştir.
- Üst yönetimin gerekli kaynakları sağladığı ve yatırımlarda bulunduğu yönünde görüş bildirilmiştir.
- İşletmenin kendi gelişimine yönelik kararlar aldığı ve üst yönetimin her türlü yeni plan ve projede destekte bulunduğu vurgulanmıştır.



Şekil 17. Yönetim (Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 17’de belirtilmiştir. Buna göre;

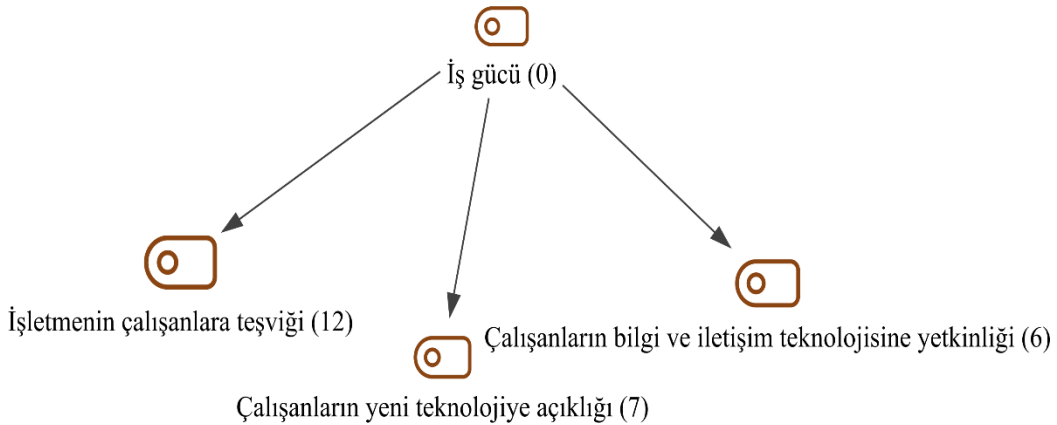
- Katılımcılar, sipariş sonrası hizmetler birimine gelen şikayetlerin analiz edilerek raporlandığını belirtmişlerdir.
- İşletmede *Müşteri operasyonları* biriminin bulunduğu bilgisi paylaşılmıştır.
- Geri bildirimler sonucunda ürünlerde *kalite iyileştirmelerinin* yapıldığı ifade edilmiştir.
- Müşteri şikayetlerine göre *SSH biriminin* üretim birimini yönlendirdiği konusuna işaret edilmiştir.
- Müşterilerin geri bildirimleri sonucunda üretimde *Kaizen* çalışmalarının yapıldığı vurgulanmıştır.



Şekil 18. Yönetim (Endüstri 4.0 yönetim birimi) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Endüstri 4.0 yönetim birimi” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 18’de belirtilmiştir. Buna göre;

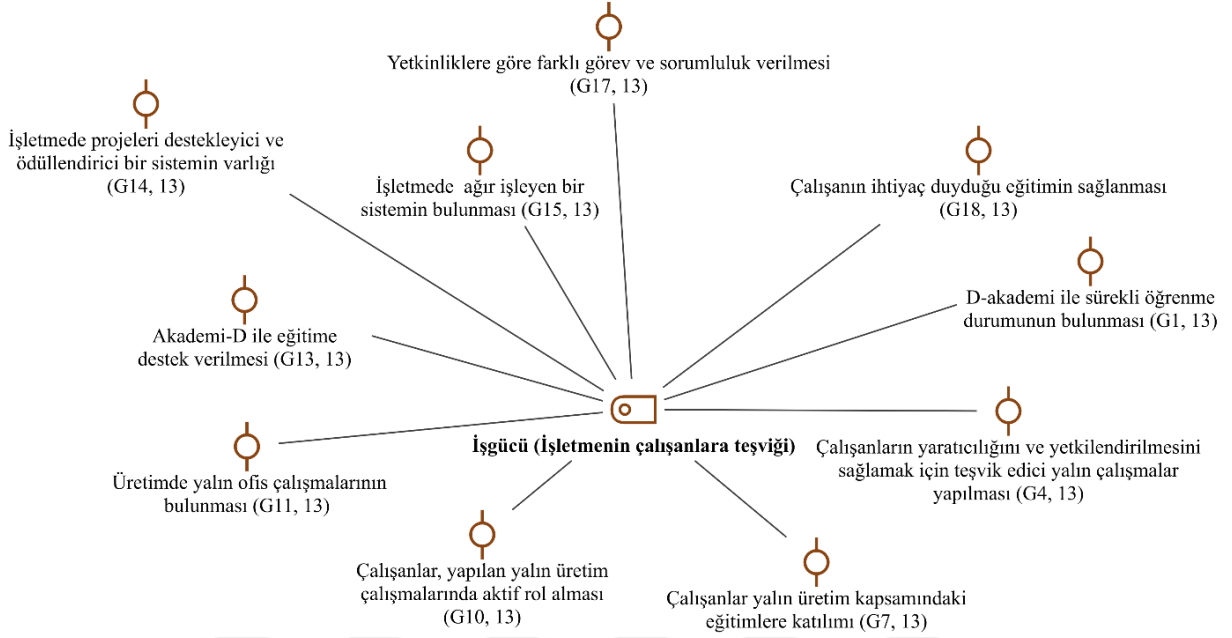
- Katılımcılar, dijital dönüşüm danışmanlığı alındığından ve uygulamalarından bahsetmişlerdir.
- İşletmede Bilgi Teknolojileri biriminin varlığından söz edilmiştir.
- İşletmede özel yazılımların varlığı, projelerin üretilmesi ve yol haritasının belirlenmesi yönünde görüş bildirilmiştir.
- İşletmede Stratejik Planlama ekibinin, yalın ofis, tasarım ve inovasyon merkezinin bulunduğu bilgileri paylaşılmıştır.



Şekil 19. İş gücü koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan bir diğeri de “İş gücü” kodudur. “İş gücü” kodu

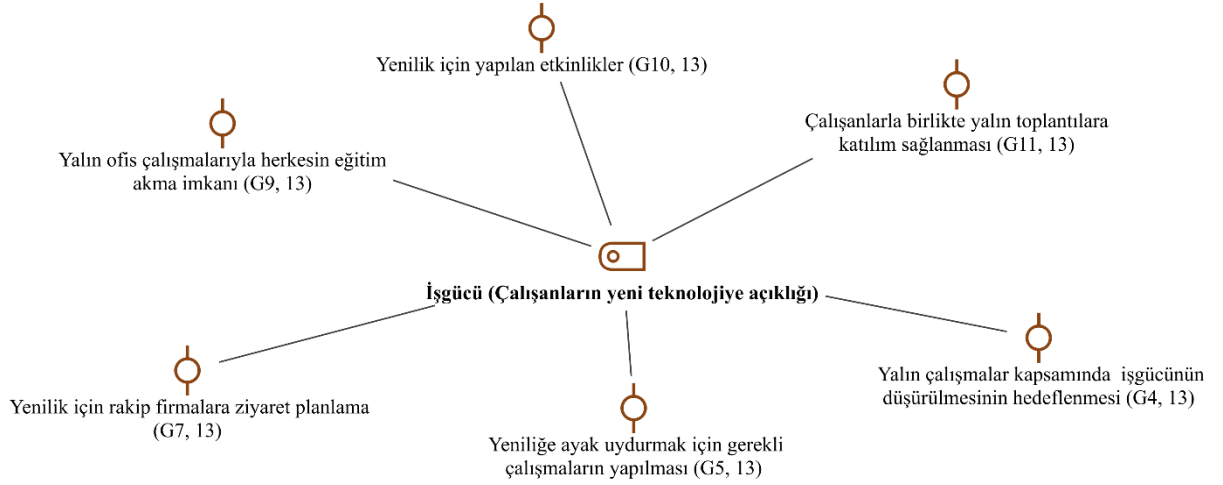
“İşletmenin çalışanlara teşviği”, “Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı” ve “Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojilerine yetkinliği” adlarında üç adet alt kod içermektedir. “İşletmenin çalışanlara teşviği” alt kodun görsel haritası Şekil 20’de sunulmuştur.



Şekil 20. İş gücü (İşletmenin çalışanlara teşviği) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “İşletmenin çalışanlara teşviği” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafıği şeklinde Şekil 20’de belirtilmiştir. Buna göre;

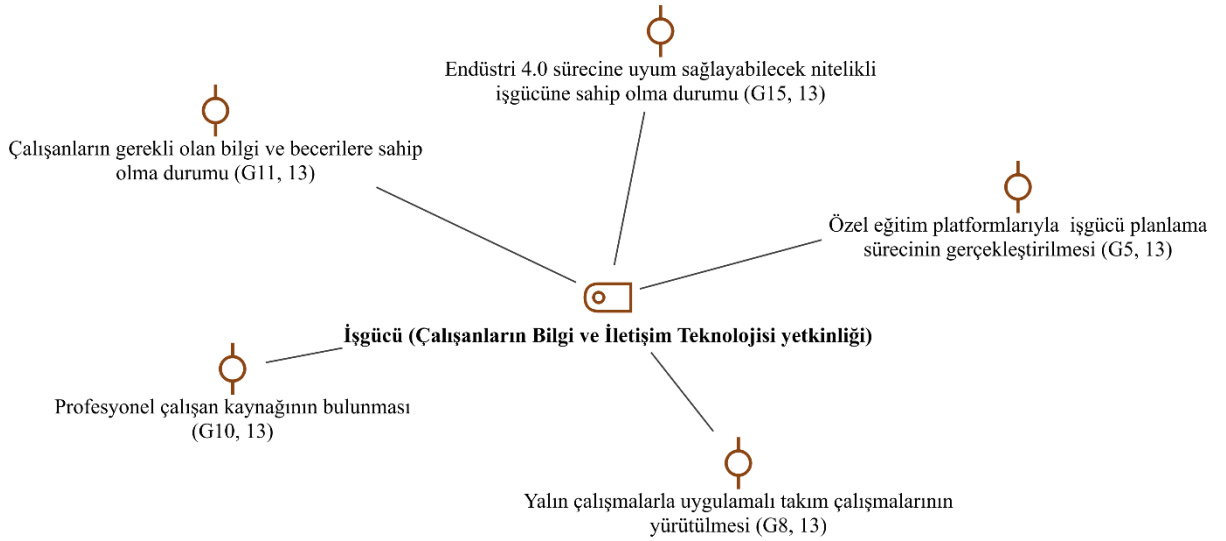
- Katılımcılar, işletmede projelerini destekleyici ve ödüllendirici bir sistemin varlığından söz etmişlerdir.
- İşletmede yetkinliklere göre farklı görev ve sorumluluklar verildiği ifade edilmiştir.
- Çalışanların ihtiyaç duyduğu eğitimlerin sağlandığı bilgisi paylaşılmıştır.
- D-Akademi ile eğitime destek verildiği ve sürekli öğrenme durumunun varlığı vurgulanmıştır.
- Çalışanların yaratıcılığını ve yetkilendirilmesini sağlamak için teşvik edici yalın çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir.
- Üretimde yalın ofis çalışmalarının bulunduğu bilgisi verilmiştir.



Şekil 21. İş gücü (Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 21’de belirtilmiştir. Buna göre;

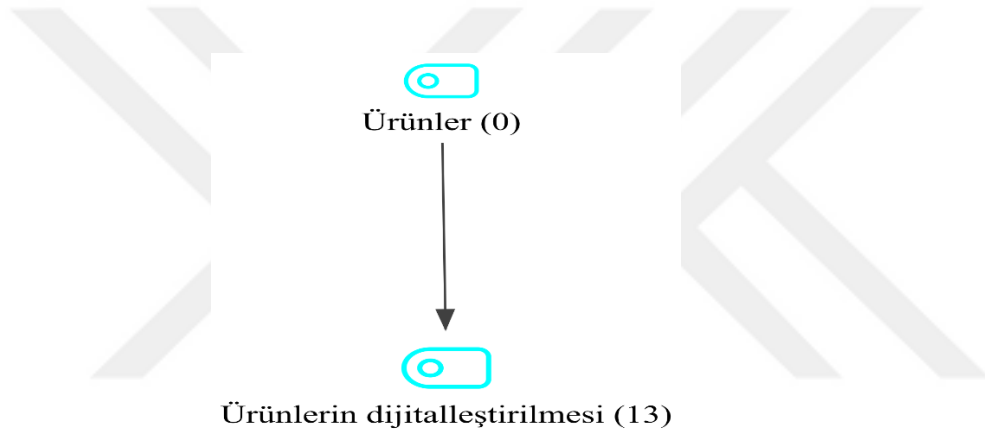
- Katılımcılar, yalın ofis çalışmalarıyla herkesin eğitim alma imkanının bulunduğundan söz etmişlerdir.
- Yenilik için rakip firmalara ziyaret planlandığı belirtilmiştir.
- Yalın çalışmalar kapsamında iş gücünün düşürülmesinin hedeflendiği vurgulanmıştır.



Şekil 22. İş gücü (Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojisi yetkinliği) Koduna ait Görsel Harita

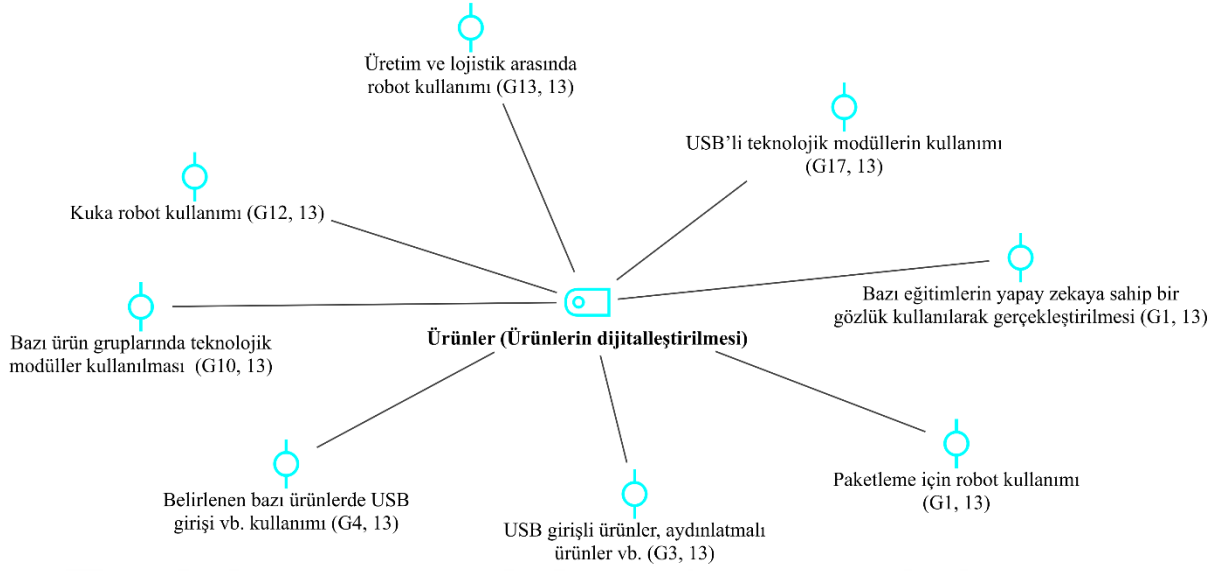
Katılımcıların “Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojisi yetkinliği” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 22’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlayabilecek nitelikli iş gücüne sahip olduklarını belirtmişlerdir.
- Profesyonel çalışan kaynağının bulunduğu bilgisi paylaşılmıştır.
- Yalın çalışmalarla uygulamalı takım çalışmalarının yürütüldüğü ifade edilmiştir.
- Özel eğitim platformlarıyla iş gücü planlama sürecinin gerçekleştirildiği vurgulanmıştır.
- Çalışanların konularıyla ilgili bilgi ve kabiliyete sahip olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 23. Ürünler koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

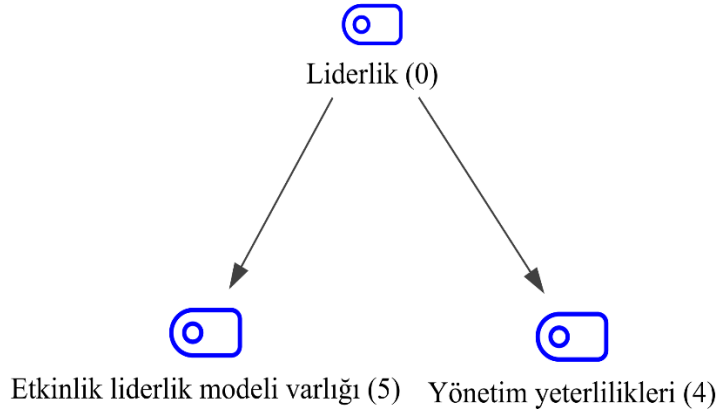
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan bir diğeri “Ürünler kodudur. “Ürünler” kodu “Ürünlerin dijitalleştirilmesi” adında tek adet alt kod içermektedir. “Ürünlerin dijitalleştirilmesi” alt kodun görsel haritası Şekil 24’te sunulmuştur.



Şekil 24. Ürünler (Ürünlerin dijitalleştirilmesi) Koduna ait Görsel Harita

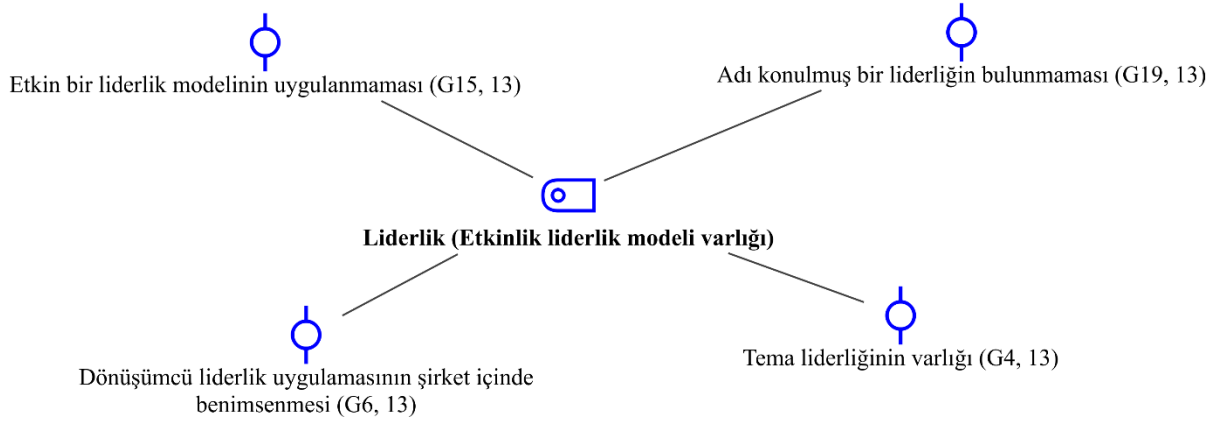
Katılımcıların “Ürünlerin dijitalleştirilmesi” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 24’te belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, bazı ürün gruplarında *teknolojik modüller* kullanıldığını belirtmişlerdir.
- Belirlenen bazı ürünlerde *USB girişi ve aydınlatmalı ürünlerin* kullanımlarından söz edilmiştir.
- Paketleme için *robot* kullanıldığı bilgisi verilmiştir.
- Bazı eğitimlerin *yapay zekaya sahip bir gözlük* tarafından gerçekleştirildiği bilgisi paylaşılmıştır.
- *Kuka robotunun* kullanımından bahsedilmiştir.
- Üretim ve lojistik arasında *robot* kullanıldığı ifade edilmiştir.



Şekil 25. Liderlik koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan bir diğeri “Liderlik” kodudur. “Liderlik” kodu “Etkin liderlik modeli varlığı” ve “Yönetim yeterlilikleri” adlarında iki adet alt kod içermektedir. “Etkin liderlik modeli varlığı” alt kodun görsel haritası Şekil 26’da sunulmuştur.

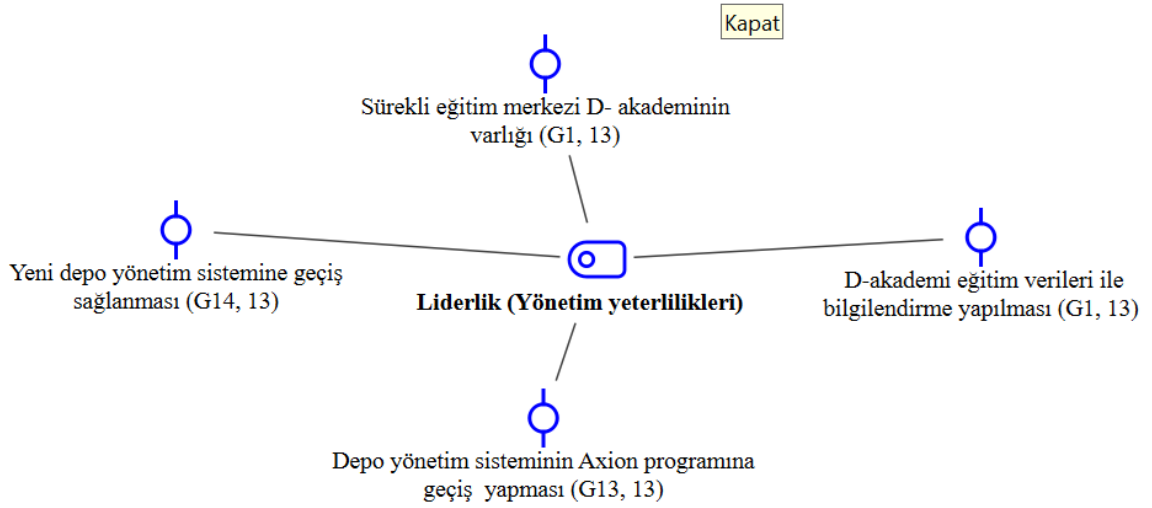


Şekil 26. Liderlik (Etkin liderlik modeli varlığı) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Etkin liderlik modeli varlığı” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 26’da belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, işletmelerinde *etkin bir liderlik modeli* uygulanmadığını belirtmişlerdir.

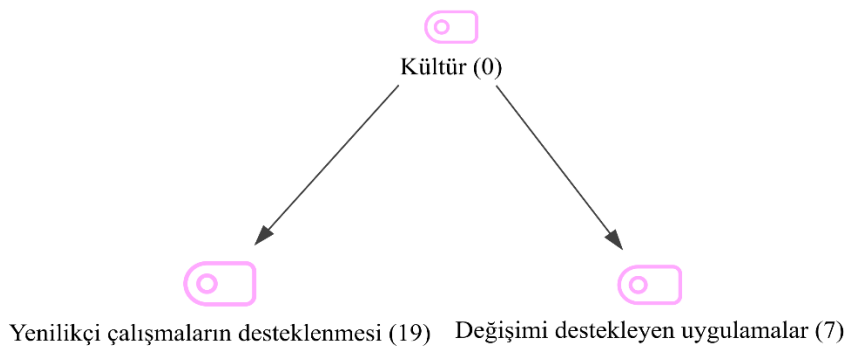
- Adı konulmuş bir liderliğin bulunmadığını ifade etmişlerdir.
- *Tema liderliğinin* varlığından söz etmişlerdir.
- *Dönüşümcü liderlik* uygulamasının şirket içinde benimsendiği bilgisi paylaşılmıştır.



Şekil 27. Liderlik (Yönetim yeterlilikleri) Koduna ait Görsel Harita

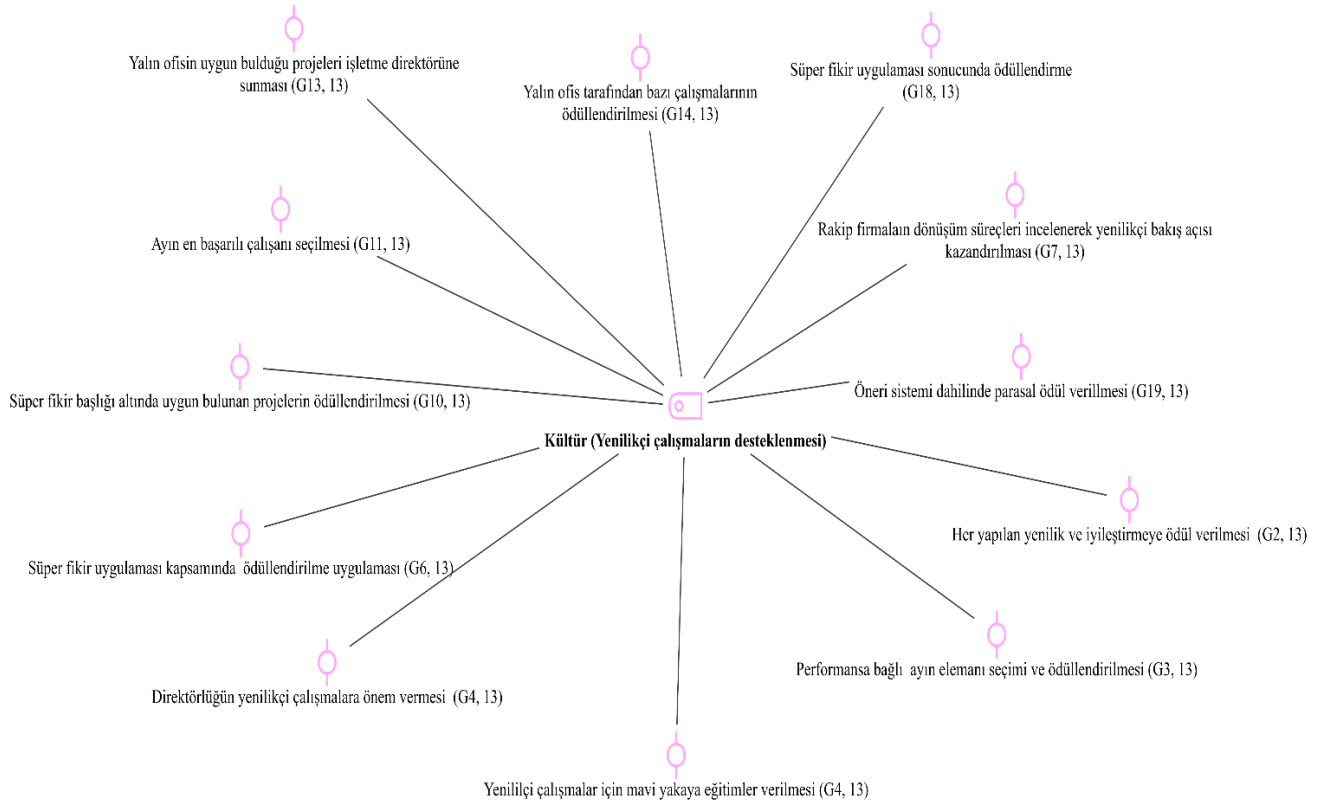
Katılımcıların “Yönetim yeterlilikleri” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 27’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, yeni depo yönetim sistemine geçişin sağlandığını ifade etmişlerdir.
- Depo yönetim sisteminin Axion programına geçiş yaptığı bilgisi paylaşılmıştır.
- Sürekli eğitim merkezi D-akademinin varlığından ve verileriyle bilgilendirilme yapıldığından söz edilmiştir.



Şekil 28. Kültür koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan bir diğeri “Kültür” kodudur. “Kültür” kodu “Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi” ve “Değişimi destekleyen uygulamalar” adlarında iki adet alt kod içermektedir. “Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi” alt kodun görsel haritası Şekil 29’da sunulmuştur.

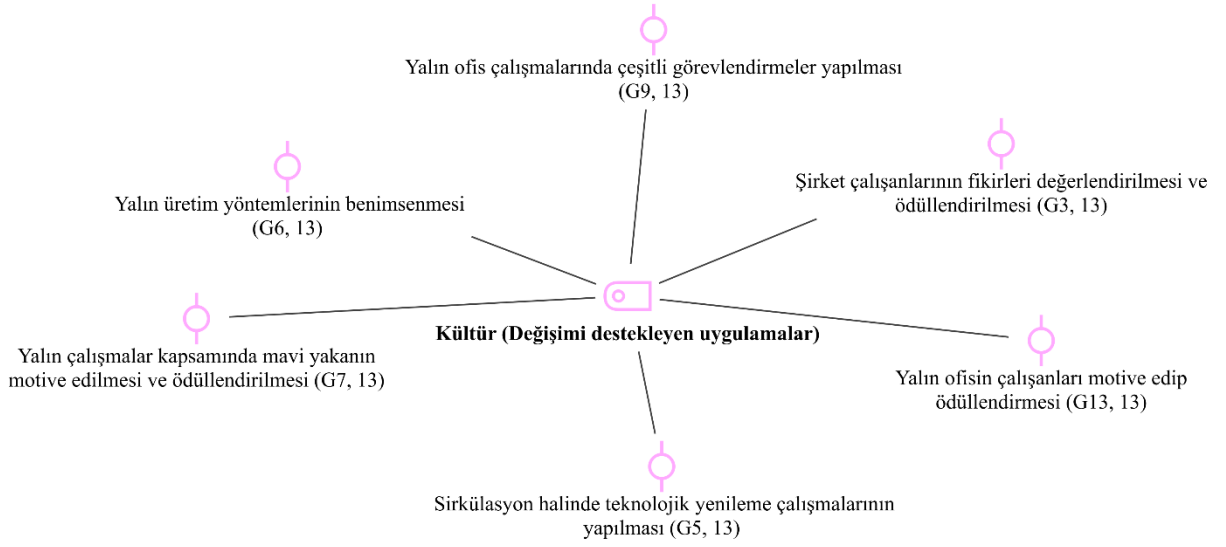


Şekil 29. Kültür (Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 29’da belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, Yalın ofisin uygun bulduğu projelerin işletme direktörüne sunulduğunu belirtmişlerdir.
- Yalın ofis tarafından bazı çalışmaların ödüllendirildiği belirtilmiştir.
- Süper fikir uygulaması sonucunda ödüllendirilme yapıldığı bildirilmiştir.
- Rakip firmaların dönüşüm süreçleri incelenerek işletmeye yenilikçi bakış açısı kazandırıldığı vurgusu yapılmıştır.

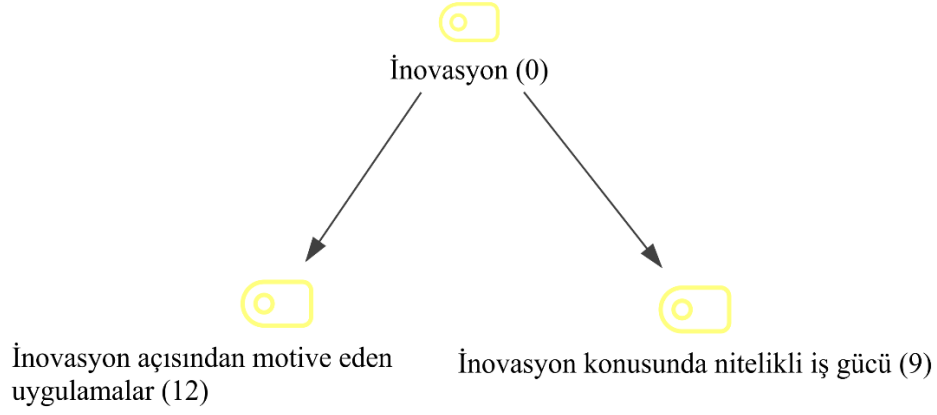
- Öneri sistemi dahilinde parasal ödüller verildiği bilgisi paylaşılmıştır.
- He yapılan yenilik ve iyileştirmeye ödül verildiğinden söz edilmiştir.
- Performansa bağlı ayın elemanı seçimi ve ödüllendirilmesi yapıldığı belirtilmiştir.
- Yenilikçi çalışmalar için mavi yakaya eğitimler verildiğinden bahsetmişlerdir.
- Direktörlüğün yenilikçi çalışmalara önem verdiği vurgulanmıştır.



Şekil 30. Kültür (Değişimi destekleyen uygulamalar) Koduna ait Görsel Harita

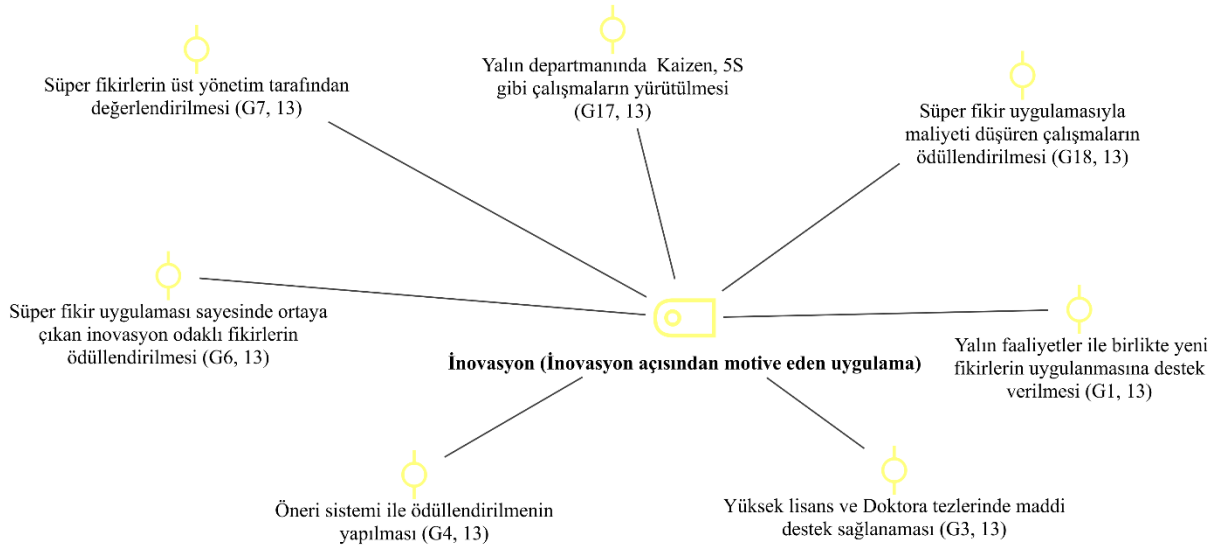
Katılımcıların “Değişimi destekleyen uygulamalar” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 30’da belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, yalın ofis çalışmalarında çeşitli görevlendirmeler yapıldığını belirtmişlerdir.
- Şirket çalışanlarının fikirlerinin değerlendirildiği ve ödüllendirildiği bilgisi paylaşılmıştır.
- Yalın ofisin çalışanları/mavi yakalıları motive edip ödüllendirdiği vurgusu yapılmıştır.
- Sirkülasyon halinde teknolojik yenileme çalışmalarının yapıldığı belirtilmiştir.
- Yalın üretim yöntemlerinin benimsendiği ifade edilmiştir.



Şekil 31. İnovasyon koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

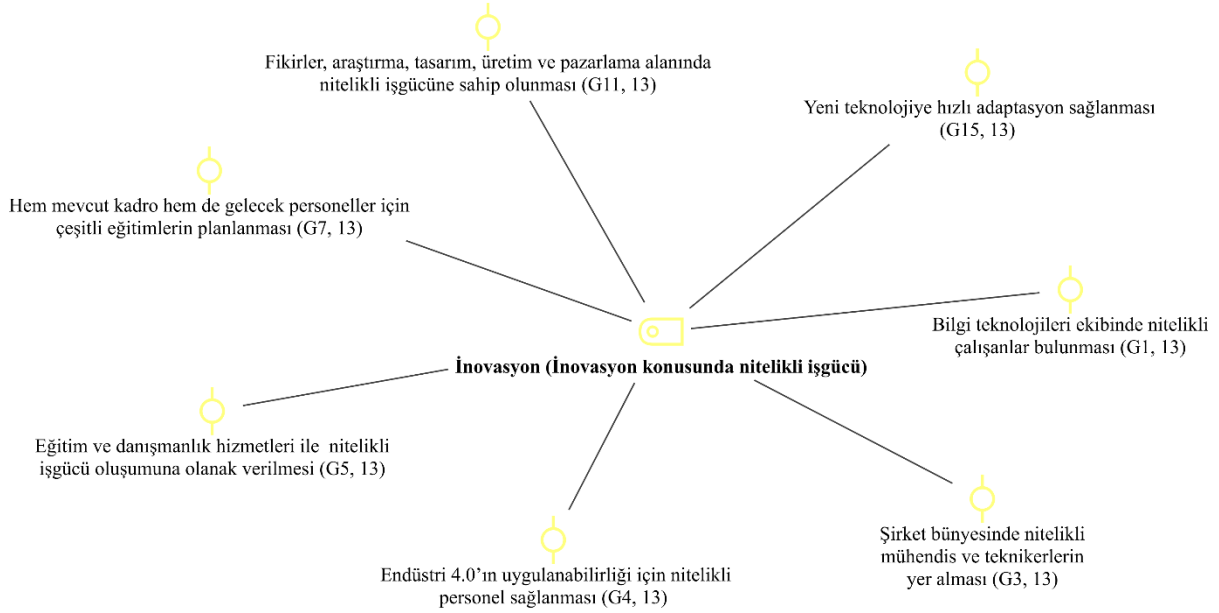
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri de “İnovasyon” kodudur. “İnovasyon” kodu “İnovasyon açısından motive eden uygulamalar” ve “İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü” adlarında iki adet alt kod içermektedir. “İnovasyon açısından motive eden uygulamalar” alt kodun görsel haritası Şekil 32’de sunulmuştur.



Şekil 32. İnovasyon (İnovasyon açısından motive eden uygulamalar) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “İnovasyon açısından motive eden uygulamalar” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 32’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, *süper fikirlerin* üst yönetim tarafından değerlendirildiğini belirtmişlerdir.
- Yalın departmanında *Kaizen, 5S* gibi çalışmaların yürütüldüğü ifade edilmiştir.
- *Süper fikir* uygulamasında maliyeti düşüren çalışmaların ödüllendirildiği bildirilmiştir.
- *Yüksek lisans ve doktora* tezlerinde maddi destek sağlandığı vurgulanmıştır.
- *Süper fikir* uygulaması sayesinde ortaya çıkan inovatif fikirlerin ödüllendirildiği bilgisi paylaşılmıştır.

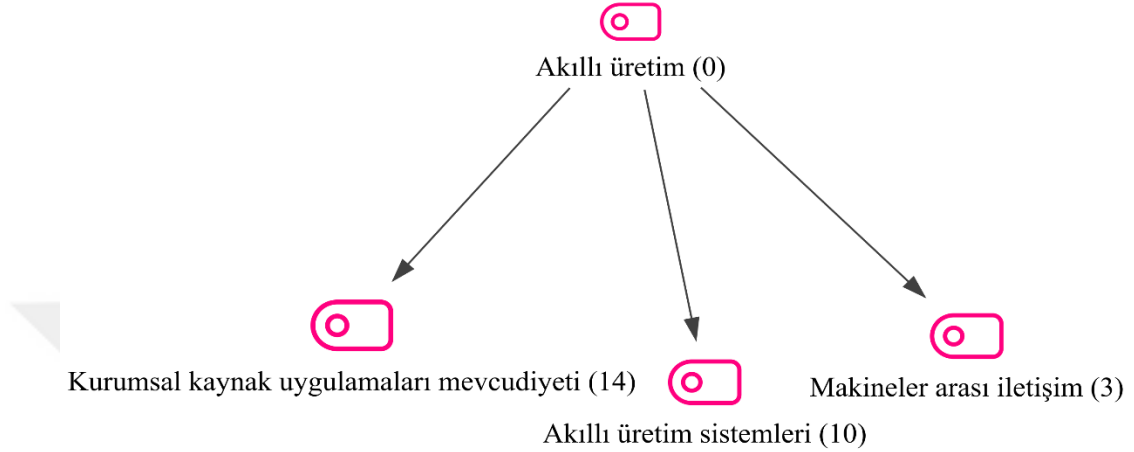


Şekil 33. İnovasyon (İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 33’te belirtilmiştir. Buna göre;

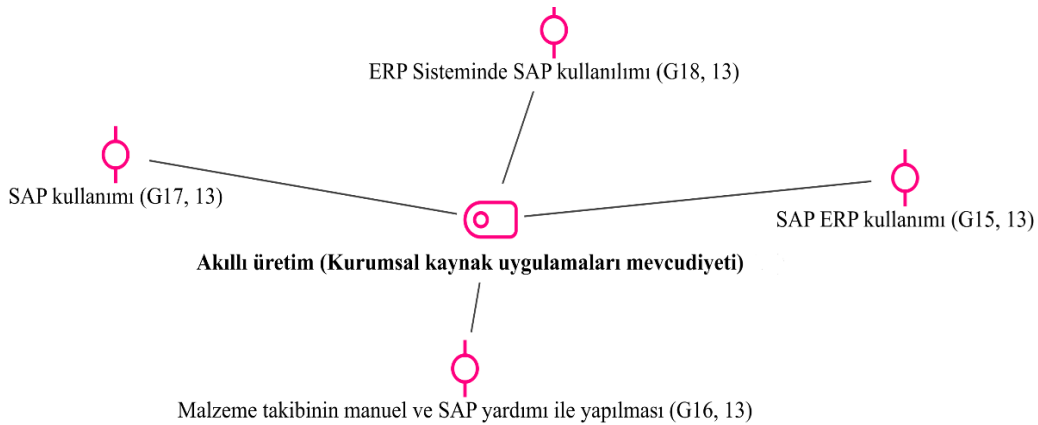
- Katılımcılar, fikirler, araştırma, tasarım, üretim ve pazarlama alanında nitelikli iş gücüne sahip olduğunu belirtmişlerdir.
- Yeni teknolojiye hızlı adaptasyon sağlandığı bilgisi verilmiştir.
- Bilgi teknolojileri ekibinde nitelikli çalışanlar (mühendis ve tekniker) bulunduğu ifade edilmiştir.

- Endüstri 4.0'ın uygulanabilirliği için nitelikli personelin sağlandığı vurgulanmıştır.
- Hem mevcut kadro hem de gelecek personeller için eğitim ve danışmanlık hizmetleriyle nitelikli iş gücü oluşumuna olanak sağlandığı belirtilmiştir.



Şekil 34. Akıllı üretim koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

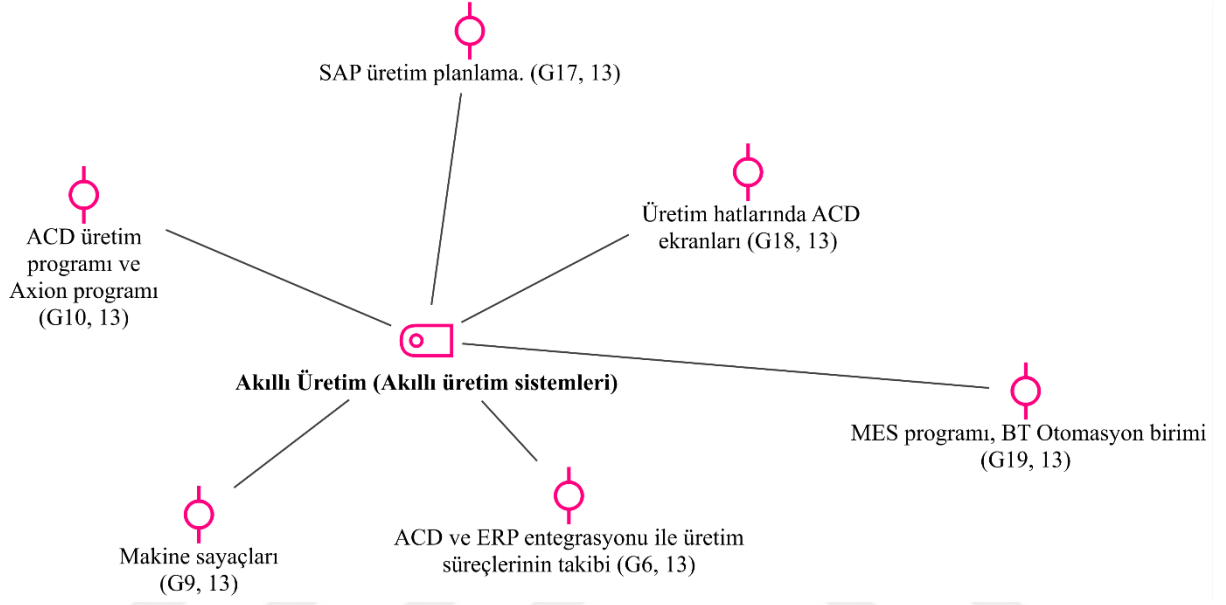
Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri de “Akıllı üretim” kodudur. “Akıllı üretim” kodu üç adet alt kod içermektedir. “Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti” alt kodun görsel haritası Şekil 35’te sunulmuştur.



Şekil 35. Akıllı üretim (Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 35’te belirtilmiştir. Buna göre;

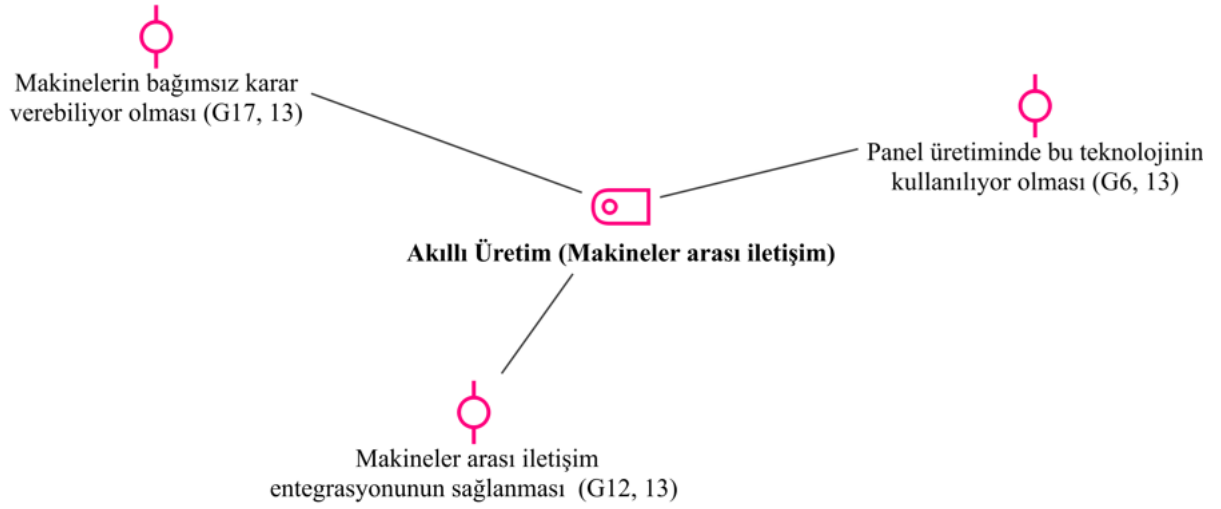
- Katılımcılar, *ERP* sisteminde *SAP* kullanımından söz etmişlerdir.
- Malzeme takibinin manuel ve *SAP* yardımıyla yapıldığı belirtilmiştir.



Şekil 36. Akıllı üretim (Akıllı üretim sistemleri) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Akıllı üretim sistemleri” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 36’da belirtilmiştir. Buna göre;

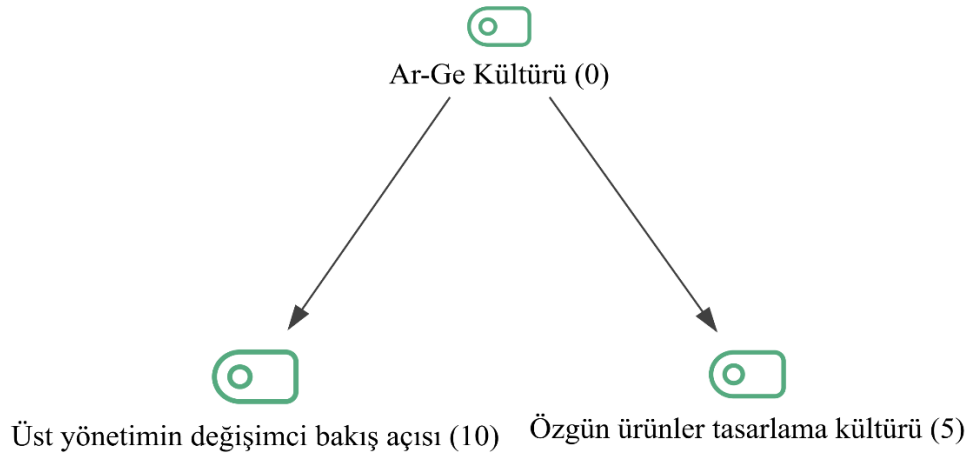
- Katılımcılar, *ACD* üretim programı ve *Axiom* programının kullanımından söz etmişlerdir.
- Üretim planlamada *SAP* kullanımı ve üretim hatlarında *ACD* ekranlarının varlığı konusunda bilgi verilmiştir.
- *ACD* ve *ERP* entegrasyonu ile üretim süreçlerinin takibinin yapıldığı belirtilmiştir.
- *MES* programının ve *BT* otomasyon biriminin varlığı konusunda bilgi paylaşımında bulunulmuştur.



Şekil 37. Akıllı üretim (Makineler arası iletişim) Koduna ait Görsel Harita

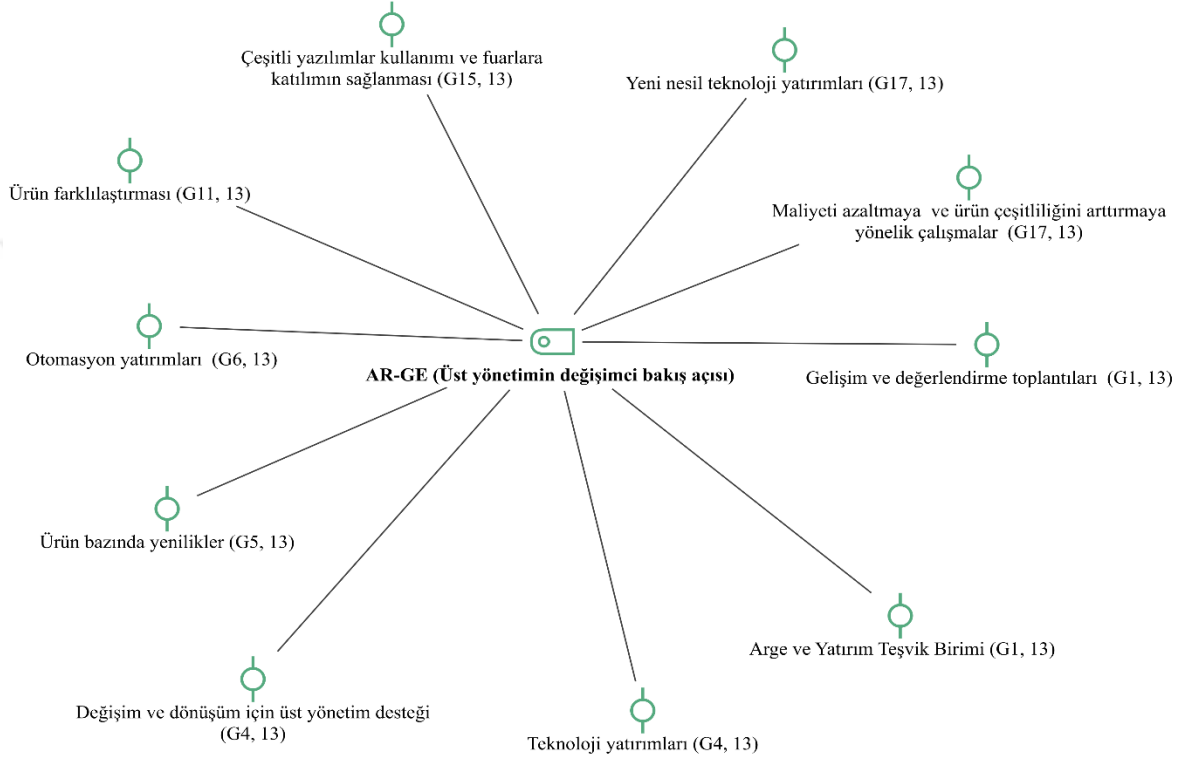
Katılımcıların “Makineler arası iletişim” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 37de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, makinelerin bağımsız karar verebiliyor olmasından söz etmişlerdir.
- Makineler arası iletişim bulunmamaktadır.



Şekil 38. Ar-Ge koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri de “Ar-Ge” kodudur. “Ar-Ge” kodu “Üst yönetimin değişimci bakış açısı” ve “Özgün ürünler tasarlama kültürü” adlarında iki adet alt kod içermektedir. “Üst yönetimin değişimci bakış açısı” alt kodun görsel haritası Şekil 39’da sunulmuştur.

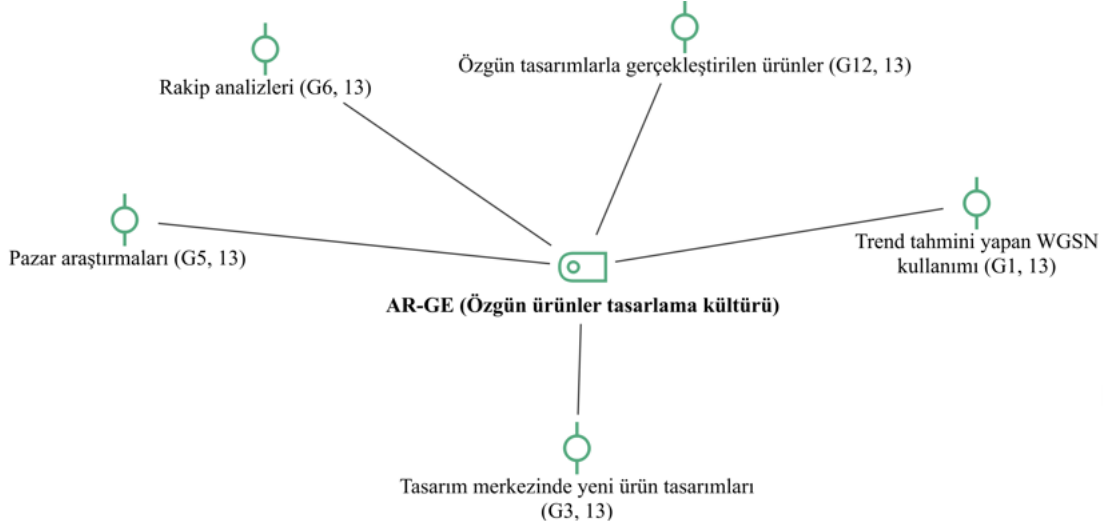


Şekil 39. Ar-Ge (Üst yönetimin değişimci bakış açısı) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Üst yönetimin değişimci bakış açısı” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 39’da belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, çeşitli yazılımların kullanımından ve fuarlara katılım sağlandığından söz etmişlerdir.
- Yeni nesil teknoloji yatırımlarının yapıldığı belirtilmiştir.
- Maliyeti azaltmaya ve ürün çeşitliliğini geliştirmek amacıyla çalışmalar yapıldığı ifade edilmiştir.
- Gelişim ve yatırım toplantılarının yapıldığı bilgisi paylaşılmıştır.
- Ar-Ge ve yatırım teşvik biriminin varlığından bahsedilmiştir.
- Değişim ve dönüşüm için üst yönetimin destek verdiği bilgisi verilmiştir.

- Otomasyon yatırımları, ürün bazında yenilikler yapıldığı ve ürün farklılaştırılmasına gidildiği ifade edilmiştir.



Şekil 40. Ar-Ge (Özgün ürünler tasarlama kültürü) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Özgün ürünler tasarlama kültürü” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 40’ta belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, özgün tasarımlarla gerçekleştirilen ürünler bulunduğunu belirtmişlerdir.
- Tasarım merkezinde yeni ürünler tasarlandığı bilgisi paylaşılmıştır.
- Trend tahmini yapan WGSN kullanımından söz edilmiştir.
- Rakip analizlerinin ve pazar araştırmalarının yapıldığından bahsedilmiştir.

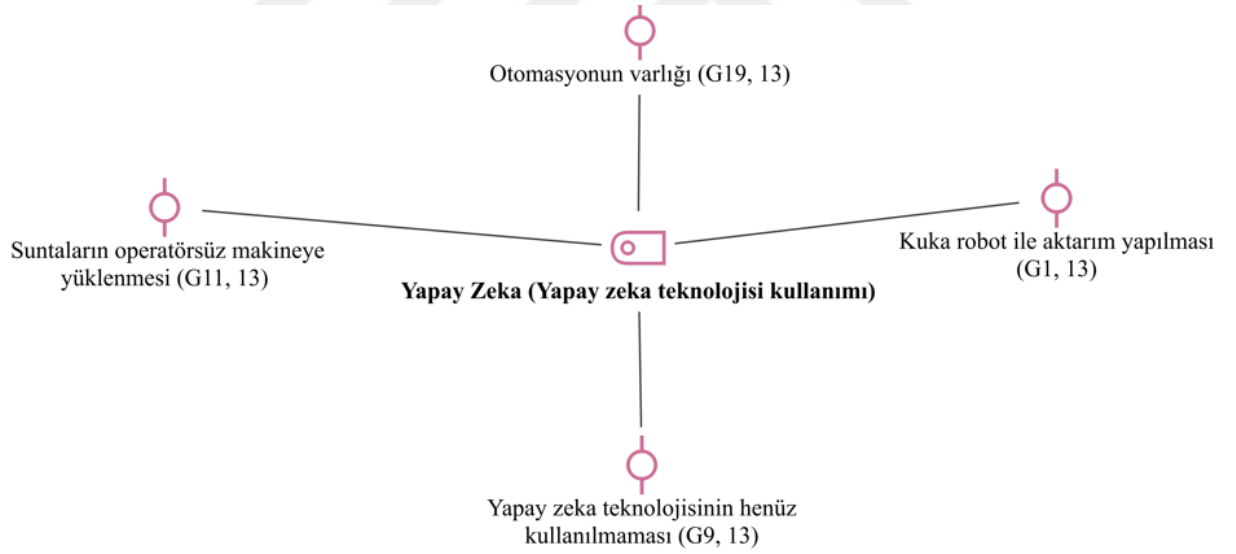
Yapay Zeka (0)



Yapay zeka teknolojisi kullanımı (4)

Şekil 41. Yapay zeka koduna ait Hiyerarşik Kod-Alt Kod Modeli

Üretim işletmelerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk modeli ile değerlendirilmesinde belirlenen kodlardan biri de “Yapay zekâ” kodudur. “Yapay zekâ” kodu “Yapay zekâ teknolojisi kullanımı” adında tek bir alt koda sahiptir. “Yapay zekâ teknolojisi kullanımı” alt kodun görsel haritası Şekil 42’de sunulmuştur.



Şekil 42. Yapay zekâ (Yapay zekâ teknolojisi kullanımı) Koduna ait Görsel Harita

Katılımcıların “Yapay zekâ teknolojisi kullanımı” konusundaki görüşleri MaxMaps Grafiği şeklinde Şekil 42’de belirtilmiştir. Buna göre;

- Katılımcılar, suntaların operatörsüz makineye yüklendiğini belirtmişlerdir.
- Otomasyonun varlığı bilgisi paylaşılmıştır.

- Kuka robot ile aktarım yapıldığından söz edilmiştir.
- Yapay zekâ teknolojisinin henüz kullanılmadığı ifade edilmiştir.

Kod Sistemi	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	TOPL...
Yapay Zeka																				0
Yapay zeka teknolojisi kullanımı																				4
Ar-Ge Kültürü																				0
Üst yönetimin değişimci bakış açısı																				10
Özgün ürünler tasarlama kültürü																				5
Akıllı üretim																				0
Makineler arası iletişim																				3
Akıllı üretim sistemleri																				10
Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti																				14
Inovasyon																				0
Inovasyon açısından motive eden uygulamalar																				12
Inovasyon konusunda nitelikli işgücü																				9
Kültür																				0
Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi																				19
Değişimi destekleyen uygulamalar																				7
Liderlik																				0
Etkinlik liderlik modeli varlığı																				5
Yönetim yeterlilikleri																				4
Ürünler																				0
Ürünlerin dijitalleştirilmesi																				13
Ürünlerin kişiselleştirilmesi																				0
İşgücü																				0
İşletmenin çalışanları tepvigi																				12
Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojilerine yetkiri																				6
Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı																				7
Yönetim																				0
Endüstri 4.0 yönetim birimi																				6
Üst yönetim kaynak tedariki																				13
Müşteri geri bildirimlerden yararlanma																				13
Müşteri																				0
Müşterilerle iletişim/geribildirim																				28
Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi																				16
Teknoloji																				0
Teknoloji yatırımları																				18
Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı																				15
Süreçler																				0
Faaliyetlerin izlenmesi																				12
Disiplinlerarası/Departmanlar arası işbirliği																				10
Strateji																				0
Yeni teknolojilere uyum																				28
Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı																				24
TOPLAM	26	10	15	27	20	23	17	14	14	16	23	15	16	15	22	7	15	13	15	323

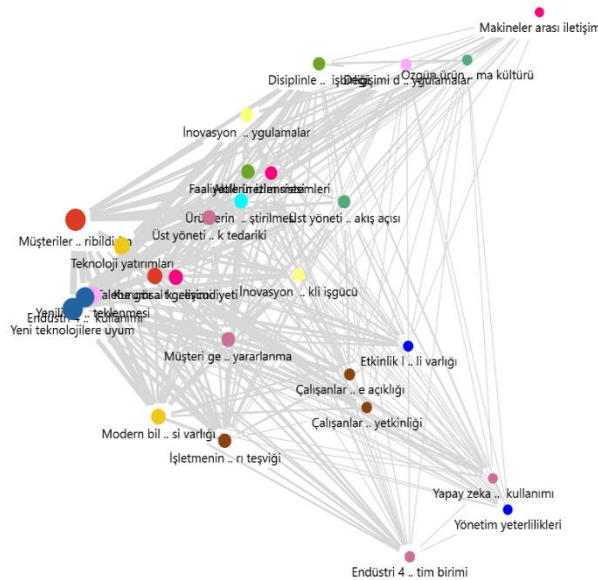
Şekil 43. Kod Matris Tarayıcısı

Kod matris tarayıcısında yapılan karşılaştırmaların tablo halindeki gösterimine Şekil 43'te yer verilmiştir. Kod matris tarayıcısı, MAXQDA nitel veri analizi programında elde edilen kodların, araştırma kapsamındaki belgelerde ne sıklıkla yer aldığını göstermektedir. Kod matris tarayıcısının sol sütununda kodlar ve alt kodlara yer verilmiştir. Kod sisteminin hemen sağında ise numaralandırılmış belgeler satır halinde yan yana sıralanmıştır. Şekilde verilen kod matris tarayıcısında kodlarla belgelerin kesiştiği alanlar incelendiğinde; bazı alanların boş kaldığı gözlemlenirken bazı alanlarda bulunan karenin de renginin ve boyutunun farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Böylelikle kesişim alanlarındaki boşluk; ilgili belgenin o kodla ilgili herhangi bir yorumda bulunmadığı anlamını taşıırken, karelerin farklı boyutlarda bulunmaları da o belgelerdeki kod sıklığının farklılığını ifade etmektedir. Kod

sıklığı fazla olan kareler daha büyük ve kırmızı renkte iken, kod sıklığı düşük olan kareler daha küçük ve mavi renkte gösterilmiştir.

Şekil 43 incelendiğinde toplamda 323 adet ifade sıklığı görülürken, en çok ifade sıklığının 27 adet ile 4 numaralı belgeye ait olduğu belirlenmiştir. Kod matris tarayıcısı ayrıca belgelerde en sık geçen kodlar açısından incelediğinde; Strateji kodu 52 adet ifade sıklığı, Müşteri kodu 44 adet ifade sıklığı, Teknoloji kodu ise 33 adet ifade sıklığı ile ilk üç sırada yer almıştır. Bu bağlamda araştırmaya katılım sağlayanların en çok Strateji kodu altında işletmenin teknolojiye uyum süreciyle ilgili yorumlarda bulunduğu sonucuna varılmaktadır. Ardından müşterilerle iletişim/geribildirim kodu, üçüncü sırada ise Strateji koduna benzer olarak işletmenin teknolojiye yaptığı yatırımların konu edildiği Teknoloji kodu yer almaktadır.

Aynı zamanda belgelerde en az geçen kodlar da incelenmiştir: 4 ifade sıklığı ile Yapay Zekâ kodu, 9 ifade sıklığı ile Liderlik kodu, 13 ifade sıklığıyla Ürünler kodu sıralanmaktadır. Bu kapsamda, işletmelerinde yapay zekâ kullanımına ait sorunun en az katılımcı tarafından yanıtlandığı ve bu konuda yeterli düzeyde bilgi sahibi olmadıkları sonucuna varılmıştır. Devamında, işletmelerinde etkin liderlik modelinin varlığı ve ürünlerin dijitalleşmesi gibi sorulara da yine çok az katılımcı katkı sağlamıştır.



Şekil 44. Kod İlişkileri Haritası

MAXQDA nitel veri analizi programında bulunan kod ilişkileri tarayıcısı yardımıyla, kodlar arasındaki ilişkilerin niceliksel olarak incelenip görselleştirilmesini sağlanmaktadır. Böylece üst üste kodlar ve/veya yakın kodlar arasındaki ilişkiler analiz edilerek değerlendirilmektedir (Köse ve Ayhün, 2020, s. 104).

Şekil 44’te, tüm belgeler için araştırma kodlarının birbirleriyle olan ilişkileri ve ifadelerin kod sıklığı yer almaktadır. Haritada yakın kodlar arasındaki ilişkiler görselleştirilmiştir. Yakın kodlar arasındaki ilişkilerin analizinde; araştırma dahilindeki belgelere ait tüm kodların artarda gelenlerinin tespit edilip yorumlanması sağlanmaktadır.

Kod haritası içerisinde her kod farklı renklerdeki daireler ile simgelenmektedir. Alt kodlar birbirleriyle ve üst kodlarıyla aynı renktedir. İfade sıklığı en fazla olan daireler haritada görece büyük gösterilmiştir. Kod ilişkileri haritası içerisindeki bağlantı çizgilerinin kalınlığı ilgili kodlar arasındaki sıklığın göstergesidir. Başka bir deyişle birbiriyle en kalın çizgilerle bağlanan kodlar en yakın kodlardır anlamı çıkarılmaktadır.

Buradan hareketle şekil incelendiğinde; en büyük dairenin yani en fazla kodlanan ifadenin “Müşteri” kodu altındaki “Müşterilerle iletişim/geribildirim” alt kodu olduğu belirlenmiştir. Bu kodun en sıklıkla kodlanarak ilişki oluşturduğu kod ise “Strateji” kodu altındaki “Yeni teknolojilere uyum” (49) alt kodudur. “Müşterilerle iletişim/geribildirim” kodunun ikinci ve üçüncü en sıklıkla kodlanarak oluşturduğu kodlar ise sırasıyla; “Strateji” kodu altındaki “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” (47) alt kodu ve “Kültür” kodu altındaki “Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi” (41) alt kodudur.

Bu bağlamda görüşme esnasında katılımcılar, yeni teknolojilere uyum, teknoloji kullanımı ve yenilikçi çalışmalar konularının hemen ardından müşterilerle iletişim/geribildirim kodundan da sıkça bahsetmişlerdir. Başka bir deyişle, katılımcıların çalışma birimi, yılı, cinsiyeti ya da eğitim düzeyleri ne olursa olsun müşterileri ve onlardan elde edilen geri bildirimleri son derece önemsedikleri ve dikkate aldıkları sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil 44 incelendiğinde bu kez en küçük dairenin yani en az kodlanan ifadenin “Akıllı üretim” kodu altındaki “Makineler arası iletişim” (93) alt kodu olduğu dikkat çekmektedir. Buradan, Endüstri 4.0’ın bileşenlerinden biri olan bu kodun katılımcıların ifadelerinde pek yer vermedikleri sonucuna varılmıştır.

Şekil 45. Kod Birlikte Oluşma Modeli

Şekil 45'te Teknoloji yatırımları koduyla kodlanan bölümlerin Yeni teknolojilere uyum ve Talebe göre ürün ve hizmet gelişimiyle kodlanan bölümlerle ilişkilendirilmesi dikkat çekmektedir. Buradan katılımcıların; Endüstri 4.0 teknolojisine ait yeni teknolojileri

mevcut sistemlerine uyarladıkları ve işletmenin bu konuda yatırım yapmaya devam ettiği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca modelde, müşterilerden elde edilen geri bildirimlerin işletmenin stratejisi açısından teknoloji yatırımlarını etkilediği ve bu yönde yatırımlara karar verildiği kanısı hakimdir.



Şekil 46. Kelime Bulutu

Yapılan görüşmeler sonucunda katılımcıların kullandığı kelimelerin sıklığı kelime bulutu yardımıyla görselleştirilmiştir. Kelime bulutu metin içerisindeki sözcüklerin görünme sıklığına bağlı olarak yazı büyüklüğü ve renginin değişiklik gösterdiği bir görsel araçtır. Şekil 46’da görülen kelime bulutu en fazla vurgulanan 100 kelimeden oluşmaktadır. Kelime bulutu oluşturulurken metin içinde en az 2 kez tekrarlanmış ifadeler dikkate alınmıştır. Ayrıca analiz yapılırken bağlaçlar ve çalışma içinde anlam ifade etmeyen kelimeler hariç listesine dahil edilerek kelime bulutunda yer verilmemiştir. Analiz tek kelime üzerinden değerlendirilmiştir. Kelime bulutundaki kelimelerin puntolarının büyüklüğü tekrarlanma sıklıklarını yani frekanslarını göstermektedir. Oluşturulan kelime bulutuna bakıldığında; “4” 264 kez, “0” 242 kez, “endüstri” 152 kez, “üretim” 133 kez, “yeni” 116 kez, “dönüşüm” 101 kez, “ürün” 86 kez, “dijital” 83 kez vurgulandığı tespit edilmiştir.

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç ve Öneriler

Yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen verilerin analiz edilmesiyle birtakım sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmanın temelinde Schumacher vd. (2016) tarafından üretim işletmelerinin olgunluk modelini belirlemeye yönelik ölçek bulunmaktadır. Ölçekte bulunan dokuz boyut (Strateji, Liderlik, Müşteriler, Ürünler, Operasyonlar, Kültür, Çalışanlar, Yönetişim, Teknoloji) eklenen dört boyutla (İnovasyon, Akıllı Üretim, Ar-Ge Kültürü, Yapay Zekâ) toplam on üç boyut haline getirilmiştir. Ölçeğin yeni haline dayanarak hazırlanan görüşme soruları yarı yapılandırılmış mülakat tekniği ile belirlenen tarih aralığında ilgili örnekleme uygulanmıştır. Elde edilen verilerin Maxqda 2024 Nitel Veri Analiz programıyla analiz edilmesiyle ulaşılan sonuçlara çalışmanın Bulgular kısmında yer verilmiştir. Tüm boyutların Hiyerarşik Kod-Alt Kod modeli ve her alt kodun görsel haritası yani MaxMaps Grafiği, Kod Matris Tarayıcısı, Kod İlişkileri Haritası, Kod Birlikte Oluşma Modeli ve Kelime Bulutu grafikleri yer almaktadır.

Buradan hareketle ilk kod olan Strateji kodu “Yeni teknolojilere uyum” ve “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” alt kodlarına sahiptir. “Yeni teknolojilere uyum” adındaki alt koda ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde; sıklıkla katılımcıların, *istifleme robotu, robot kollar, sensör, benchmarking, VR (Virtual reality-Sanal gerçeklik) gözlükleri, optimizasyon, akıllı fabrika, dijital kartela ve Doğtaş color* kelimelerinin üzerinde durulduğu tespit edilmiştir. “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” adındaki alt koda ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde ise katılımcıların sıklıkla; *3D baskı ve bulut sistemi, Yatay ve dikey entegrasyon, Mes, Axion, WMS modeli ve SAP ve IoT* kelimelerini vurguladıkları belirlenmiştir. İtalik harflerle gösterilen ifadelerin bir işletmenin Endüstri 4.0 yolculuğunda oldukça önem arz eden alt başlıklar olduğu çok açıktır. İlgili alan yazında Kaggermann, (2013) siber-fiziksel sistemlerin ve akıllı fabrikaların işletmelere temel iyileştirmeler sağlayacağını ve üretime yeni yaklaşımlar getireceğini vurgularken, benzer şekilde Thames ve Schaefer (2016) da çalışmalarında Endüstri 4.0’ın sahip olduğu otonom özellikleri sayesinde işletmelerin endüstriyel süreçlerinin gelişimine imkân tanındığından söz etmişlerdir. Bu bağlamda katılımcıların “Yeni teknolojilere uyum” ve “Endüstri 4.0 teknoloji kullanımı” alt koduna

verdikleri yanıtlar; dijitalleşmenin göstergesi sayılabilecek pek çok teknolojik gelişmenin üretim aşamasında kullanıldığı ve bir kısmının da yapılan yatırımlar doğrultusunda hayata geçeceği sonucunu destekler yöndedir.

İkinci kod olan “Süreçler” kodunun “Faaliyetlerin izlenmesi” ve “Disiplinler arası/Departmanlar arası iş birliği” adındaki alt kodlara ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde; katılımcılar sıklıkla *kalite, maliyet ve proses* odaklı iyileştirmeler yapıldığı, *yeni katma değerli ürünlerle* yeniden değerlendirmeye ve *ürünlerin yeniden yapılandırılmasına* katkı sağlandığı ve ilgili birim ve tedarikçilerin gerektiğinde kararları birlikte aldıkları hususunda görüş bildirmişlerdir. İlgili alan yazında Freund ve Majeed (2021), Endüstri 4.0’ın bileşenlerinden Siber Fiziksel Sistem (CPS) veya Nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojilerin üretim süreçlerini iyileştirmeye ve üretim kapasitesini arttırmaya katkı sağlayacağından söz etmişlerdir. Ayrıca, Crnjac ve arkadaşları (2017) çalışmalarında, işletme içerisinde ve dışında farklı bilgi sistemlerinin entegrasyonun tedarikçiyle müşteri arasındaki iletişimi hızlandığını ve güçlendirdiğini vurgulamaktadırlar. Böylece katılımcıların “Süreçler” koduna verdikleri yanıtlarla; işletme süreçlerinin yeniden yapılandırılması ve yeni teknolojilerin adaptasyonu ile üretim veriminin artışının ve maliyet optimizasyonunun hedeflendiği, ayrıca işletmenin tedarikçilerle/departmanlar arası iş birliğiyle süreçleri daha koordineli ve verimli bir şekilde yürütebilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.

Üçüncü sırada ele alınan kod “Teknoloji” kodudur. Bu kod “Teknoloji yatırımları” ve “Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı” adlarında iki alt koda sahiptir. “Teknoloji yatırımları” alt koduna ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde; sıklıkla katılımcıların *otomasyona yatırım, yazılıma yatırım, VR gözlük, robot kolları, kuka robot kullanımı ve yatırımları ve SAP HANA* üzerinde durdukları belirlenmiştir. “Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı” adındaki alt koda ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde ise sıklıkla; *otomasyon, dijital simülasyon, 3D yazıcılar ve Axion* kelimeleri öne çıkmaktadır. Literatürdeki Türkiye’de Dijital Dönüşüm ve Dijital Okuryazarlık (2022) raporunda ifade edildiği gibi; Endüstri 4.0’ın yapay zekâ, nesnelerin interneti ve robotik gibi ileri teknoloji bileşenlerinin ülkenin sanayiine ve küresel rekabet gücünü önemli katkılar sağladığı dikkat çekmektedir. Ayrıca aynı konuda Hofmann ve Rüsch (2017) de çalışmalarında; İşletmelerde nesnelerin interneti teknolojisinin kullanımıyla üretim sürecinin her aşamanın daha ayrıntılı

incelendiğine ve buna bağlı olarak süreç optimizasyonunun mümkün hale geldiğine değinmektedirler. Alan yazın simülasyon açısından incelendiğinde ise Bayrak (2018) çalışmasında; dijital ikiz teknolojisiyle makine kurulum sürelerinin azaltıldığını, süreçlerin optimize edildiğini ve devamında kalitenin yükselmesinin hedeflendiğini vurgulamıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda katılımcıların “Teknoloji yatırımları” ve “Modern bilgi ve iletişim teknolojisi varlığı” adlarındaki alt kodlara verdikleri yanıtlar; İşletmenin dijitalleşme yolunda rekabet avantajı yaratabilmek ve karlılık oranlarını arttırabilmek amacıyla, Endüstri 4.0 bileşenlerini kısmen de olsa kullandıkları ve daha fazlasını bünyelerine katmak istediklerini işaret etmiştir.

Dördüncü sırada “Müşteri” kodu yer almaktadır. “Müşteri” kodu “Müşterilerle iletişim/geribildirim” ve “Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi” adlarında iki adet alt koda sahiptir. “Müşterilerle iletişim/geribildirim” alt koduna ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde sıklıkla katılımcıların *cep telefonu, sosyal medya, oksijen sistemi, SAP, Prosap, sosyal medya ve çağrı merkezleri* kelimeleri üzerinde durdukları belirlenmiştir. “Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi” alt kodu incelendiğinde ise katılımcılar tarafından ürünlerin; moda, ihtiyaca, trendlere ve ekonomik verilere göre şekillendiği, kumaş renk çeşitliliğinin artırıldığı, satış rakamı iyi olan ürünlerin tasarımı üzerinde durulduğu ifade edilmiştir. Literatüre bakıldığında; Bardakçı ve Ertuğrul (2004) müşteri tatminini en üst düzeyde tutabilmek için, müşteri ihtiyaç ve isteklerinin henüz tasarım aşamasındayken dikkate alınması gerektiğini vurgularlar. Ayrıca yazarlar, kitlesel bireyselleştirme yöntemlerinin müşteri isteklerini en düşük maliyetle karşılanmasını ve hata, fire ve ıskartaların minimuma indirilmesinin önemini de vurgulamaktadırlar. Barutçu (2019) çalışmasında: Endüstri 4.0’ın getirdiği Büyük Veri ve Nesnelerin İnterneti gibi teknolojiler yardımıyla, müşteri geri bildirimlerinin gerçek zamanlı analiz edilerek özelleştirilmiş ürün ve hizmet gelişim süreçlerine katkı sağlanacağına değinmektedir. Bu bağlamda katılımcıların “Müşterilerle iletişim/geribildirim” ve “Talebe göre ürün ve hizmet gelişimi” alt koduna verdikleri yanıtlar; katılımcıların müşteri geri bildirim sistemlerini etkili kullandıklarını destekler yöndedir. Ayrıca yanıtlarla, karı ve müşteri memnuniyetini maksimize etmek amacıyla üretimde dijitalleşmeyi ve müşteri odaklı üretim stratejilerini benimsedikleri sonucuna ulaşılmıştır. Ancak işletmenin bu aşamada bireyselleştirilmiş çözümlerden çok piyasa geneline yönelik üretim yaptığı tespit edilmiştir. Buradan hareketle işletmenin gelecek

yıllarda üretimin kişiye özel olması adına kitlesel bireyselleştirme yöntemlerini önemseyip uygulamaya koymaları önerilmektedir.

Beşinci sırada yer alan “Yönetim” kodu “Üst yönetim kaynak tedariki”, “Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma” ve “Endüstri 4.0 yönetim birimi” adlarında alt kodlara sahiptir. “Üst yönetim kaynak tedariki” koduna ilişkin görüşler analiz edildiğinde katılımcılar özetle; üst yönetimin yatırımlar konusunda teknolojik ve veri odaklı bir üretim için sürekli destek sağladığı yönünde görüş bildirilmişlerdir. “Müşteri geri bildirimlerinden yararlanma” alt kodu incelendiğinde; müşterilerden elde edilen geri bildirimler doğrultusunda olası bir şikâyet durumuna göre ilgili birimin durumu titizlikle incelendiği, geri bildirim sonucuna göre kalite iyileştirmelerinin yapıldığı ve üretimde Kaizen felsefesinin uygulandığı şeklinde ifadeler elde edilmiştir. “Endüstri 4.0 yönetim birimi” alt koduna ait görüşmeler incelendiğinde ise özetle; Bilgi Teknolojileri (BT) birimi tarafından makinelerin veri analizleri yapılarak özel yazılımlar, projeler üretildiği ve yol haritasının belirlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Strandhagen vd. (2017) çalışmalarında, Endüstri 4.0’ın başarıyla uygulanması için Bilgi Teknolojilerinin (BT) yaygın kullanımının ve üretimin dijitalleştirilmesinin önemini vurgulamıştır. Salvadorinha ve Teixeiraa (2021), müşteri geri bildirimlerinin değerlendirilmesi sonucu yapılan çalışmaların süreç iyileştirmelerine entegre edilmesiyle iş süreçleri yönetiminin daha etkili hale geldiğini belirtmektedir. Sousa vd. (2018) çalışmalarında, değer yaratmayacak tüm faaliyetlerin iyileştirilmesinin ve maliyetlerin düşürülmesinin hedef alındığı Yalın Üretim sisteminin öneminden söz etmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda katılımcıların “Yönetim” koduna ait görüşleri; özellikle üst yönetimin dijital dönüşüm projelerine verdiği desteğin ve sağladığı finansal katkının Endüstri 4.0 dönüşüm yolundaki kriterlerle örtüştüğünü göstermektedir. Ayrıca, işletmenin müşteri odaklı geri bildirim mekanizmasına sahip olması ve elde edilen verilerin dikkate alınarak iş süreçleri yönetimini iyileştirmesi ve optimize etmesi literatürdeki bilgilerle birebir örtüşmektedir.

Altıncı sırada “İş gücü” kodu yer almaktadır. “İş gücü” kodu “İşletmenin çalışanlara teşviği”, “Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı” ve “Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojilerine yetkinliği” adlarında üç adet alt kod içermektedir. “İşletmenin çalışanlara teşviği” alt koduna ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde özetle; işletmede çalışanların Yalın üretim çalışmalarında aktif rol oynaması için teşvik edildiği ve başarılı olanlarının ödülle

mükafatlandırıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca D-Akademi sayesinde sürekli öğrenme çalışanların hizmetine sunulmuştur. “Çalışanların yeni teknolojiye açıklığı” alt koduna ait görüşmeler incelendiğinde; çalışanların sektörle ilgili yenilikleri izlemek, öğrenmek ve kendilerini geliştirmek amacıyla yalın ofis ve D-Akademi sayesinde istedikleri eğitimlerle desteklendikleri belirlenmiştir. “Çalışanların bilgi ve iletişim teknolojisine yetkinliği” alt koduna ait görüşmeler incelendiğinde ise özetle; Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlayabilecek analitik düşünebilen, büyük veri ile çalışabilen, analiz edebilen ve yazılım kullanabilen nitelikli işgücüne sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Çakar ve Serdar, (2002) çalışmalarında, iç ve dış müşterilerin isteklerinin gerçekleştirilmesi adına çalışanların eğitilmesi, sürekli öğrenme ve süreçlerin sürekli iyileştirilmesi üzerinde durmaktadırlar. Gürün (2019), üst yönetimin ve tüm çalışanların yeniliklere açık olmaları ve sürekli öğrenmeyi benimsemeleri gerektiğini vurgulamaktadır. Rohani ve Zahraee (2015) çalışmalarında, yalın üretimin işletmenin üretkenliğini ve ürün kalitesini artırarak işletmelerde rekabet üstünlüğü yarattığını ifade etmişlerdir. Katılımcılarla yapılan görüşmeler sonucunda; işletmenin çalışanlarını sürekli öğrenmeye teşvik ettiği, bunun gerçekleşmesi için teknolojik platformlar oluşturulduğu ve çalışanların hizmetine sunulduğu tespit edilmiştir. Endüstri 4.0’ın işletmelerde uygulamaya koyulması ve sürekliliğinin sağlanması aşamasında; işletmelerde kodlama ve yazılım konusuna hâkim nitelikli elemanların yetiştirilmesi, araştırma geliştirmenin ve sürekli öğrenmenin yerleşik hale gelmesi vazgeçilmez hale gelmiştir. Buradan yola çıkarak elde edilen bulgular, literatürde vurgulanan sürekli öğrenme, teknolojik adaptasyon ve yenilikçi olmaya yönlendirilmesi ve teşvik edilmesi gibi Endüstri 4.0 gereklilikleriyle önemli ölçüde bağdaşmaktadır.

Yedinci sırada yer alan “Ürünler” kodu “Ürünlerin dijitalleştirilmesi” adında tek alt kod içermektedir. Bu koda ilişkin görüşmeler analiz edildiğinde katılımcıların sıklıkla; *teknolojik modüller, USB, aydınlatmalı ürünler, robot, yapay zekaya sahip gözlük ve kuka* kelimelerini söyledikleri tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde Yüksekbilgili ve Çevik (2018, yapay zekalı robotlar sayesinde ürünler üzerinde daha esnek hareket edilerek insanlarla daha verimli çalışabildiklerine değinmişlerdir. Cohen vd. (2019), işletmelerin üretim aşamalarında Endüstri 4.0 teknolojileri kullanmalarının, ürünlerin verimliliğinin ve iş hacminin artışına yardımcı olduğunu vurgulamışlardır. Bayrak (2018) çalışmasında, dijitalleşme ve simülasyonun üretim süreçlerindeki önemi üzerinde durmuştur. Buradan yola çıkarak literatürdeki gibi; pek çok teknolojik özelliğin ürünlere entegre edilmesi, robotik ve

yapay zekâ uygulamalarının çok yönlü kullanılması, işletmenin Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde önemli bir ilerleme kaydettiğini göstermektedir.

Sekizinci sırada “Liderlik” kodu yer almaktadır. “Liderlik” kodu “Etkin liderlik modeli varlığı” ve “Yönetim yeterlilikleri” adlarında kodlar içermektedir. Liderlik kodunun her iki alt koduna ait görüşmeler incelendiğinde; yalın çalışmalar kapsamında yalnızca “tema” liderliğinden söz edilmektedir. Bu liderlik, üretim süreçlerini iyileştirmek ve müşteri şikayetlerini azaltmak amacıyla uygulanmaktadır. Buradan hareketle, işletmede adı konulmuş etkin bir liderlik modeli bulunmamaktadır.

Dokuzuncu sırada yer alan “Kültür” kodu “Yenilikçi çalışmaların desteklenmesi” ve “Değişimi destekleyen uygulamalar” adlarında alt kodlara sahiptir. Her iki alt koda ait görüşmeler incelendiğinde katılımcılar tarafından genellikle; “Süper fikir” adı altında süreç iyileştirme çalışmaları yapıldığı ve başarılı görülenlerin üst yönetim tarafından ödüllendirildiği ifade edilmiştir. Ayrıca performansı yüksek ve yeni fikirlere sahip mavi yakalılar için de “Ayın elemanı” seçimi yapılarak parasal olarak desteklendikleri belirtilmiştir. Görüşmeler sonucunda ayrıca işletmenin üst yönetim olarak yenilikçi bir perspektife sahip olduğu ve destekler yapıda bulunduğu da ilave edilmiştir. Agolla (2018) çalışmasında, yaratıcı ve işletme için değerli insan kaynağının motivasyonu için uygun şekilde ödüllendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Kırmızısaç (2021) çalışanların ödül yönetimi ile motivasyonlarının arttığı ve işletmenin büyümesine olumlu etki yarattığı ifade edilmiştir. Katılımcılarla yapılan görüşmeler sonucunda; işletmenin ödüllendirme sistemleri ile çalışan motivasyonunu yüksek tuttuğu ve karşılığında işletmeye olumlu katkı sağlayacak fikirler elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda işletmenin yenilikçi çalışmalara destek vermesi, çalışanların katılımı ve hem mavi hem de beyaz yakalılar için uygulanan ödüllendirme sistemi, işletmelerin dijital dönüşüm aşamasında önemli rol oynamaktadır ve bu durum literatürle tamamen örtüşmektedir.

Onuncu sırada yer alan kod “İnovasyon” kodudur. “İnovasyon” kodu “İnovasyon açısından motive eden uygulamalar” ve “İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü” adlarında iki adet alt kod içermektedir. “İnovasyon açısından motive eden uygulamalar” alt koduna ait görüşmeler incelendiğinde; sıklıkla *Süper fikir*, *Kaizen*, *5S* gibi kelimelerinin söylendikleri tespit edilmiştir. “İnovasyon konusunda nitelikli iş gücü” alt kodunun yanıtları

incelendiğinde; işletmenin Endüstri 4.0'ın uygulanabilirliği için nitelikli iş gücüne sahip olduğu ancak sürdürülebilir kılmak için düzenli aralıklarla eğitim ve danışmanlık aldıkları sonucuna ulaşılmıştır. EBSO (2015), yaratıcı fikirlerin üst yönetim tarafından desteklenmesinin, işletmelerde inovasyonu artırıcı bir etki yaratacağını belirtir. Agolla (2018) ayrıca işletmelerde nitelikli iş gücünün varlığının inovasyonun temelini oluşturan yaratıcılığı da beraberinde getireceğini vurgulamaktadır. Buradan yola çıkarak “İnovasyon” koduna ait görüşmelerden elde edilen sonuç; işletme yönetiminin inovatif fikirlerin oluşması için çalışanlarını teşvik etmesi, uygun görülen fikirlerin değerlendirilmesi, üretimde uygulanması ve denenmesi noktalarında son derece destekçi olduğu yönündedir. Literatürde yer alan çalışmalar da inovasyonun eğitim, teşvik ve ödüllendirme sistemleriyle sürdürülebilir bir hale geleceğini vurgulamaktadır.

On birinci sırada “Akıllı üretim” kodu yer almaktadır. “Akıllı üretim” kodu “Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti”, “Akıllı üretim sistemleri” ve “Makineler arası iletişim” adlarında üç adet alt kod içermektedir. Katılımcıların “Kurumsal kaynak uygulamaları mevcudiyeti” konusundaki görüşleri incelendiğinde sıklıkla; ERP, SAP, MES ve SCP kelimeleri üzerinde durdukları tespit edilmiştir. “Akıllı üretim sistemleri” alt koduna ait görüşmeler analiz edildiğinde; ilk alt koda ilişkin benzer cevaplar verilse de ek olarak; üretim hattında ACD teyit ekranlarının kullanıldığı ve ERP entegrasyonu ile üretim süreçlerinin takip edildiği tespit edilmiştir. “Makineler arası iletişim” alt koduna ait görüşmeler sonucunda; makinelerin bağımsız olarak karar verebildikleri ancak henüz makineler arası bir iletişim olmadığı bilgisine ulaşılmıştır. Strandhagen vd. (2019), Endüstri 4.0'ın bileşenlerinden dikey entegrasyon içerisinde Üretim Yürütme Sistemi (MES) ve Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) yazılımlarının üretimin dijitalleşmesi noktasında kritik rol oynadığını vurgulamaktadır. Ayrıca Kaygın vd. (2019), işletmeler için geliştirilen Bilgi Yönetim Teknolojilerinin işletmeler içerisinde etkin bir yönetim sistemi oluşturarak Endüstri 4.0 dönüşüm süreçlerine büyük katkı sağlayacağını ifade etmiştir. Endüstri 4.0, işletmelerde üretim süreçlerinin dijitalleşmesini ve otomasyonunu temel alan bir dönüşümdür. Bu süreçte, ACD (Automatic Call Distributor), MES (Manufacturing Execution System), ERP (Enterprise Resource Planning), ve SAP gibi yazılımlar Endüstri 4.0'ı uygulamak isteyen işletmeler için vazgeçilmezdir. Buradan hareketle katılımcılarla yapılan görüşmeler sonucunda; işletmenin verimliliğini arttırmak ve süreçlerini dijitalleştirmek yönünde ilgili yazılımları edindikleri ve üretim süreçlerinde kullandıkları

tespit edilmiştir. Literatürle uyumludur. Ancak işletmede makinelerin bağımsız karar verebiliyor olması Endüstri 4.0 dönüşümünde önemli bir aşama olarak kabul edilirken, makineler arasında iletişimin olmaması bu potansiyelin tam olarak kullanılmadığını göstermektedir. Bu sebeple işletmeye, makinelerin karar verme yetkinliklerinin daha verimli bir şekilde kullanılması için makineler arası iletişimin kurularak uygulamaya koyması önerilmektedir.

On ikinci sırada yer alan “Ar-Ge” kodu “Üst yönetimin değişimci bakış açısı” ve “Özgün ürünler tasarlama kültürü” adında iki alt kod içermektedir. “Üst yönetimin değişimci bakış açısı” alt koduna ait görüşmelerin analiz sonucu; her türlü değişim dönüşüm için üst yönetimin çalışanların gelişimine destek olduğu, rakip firmaların ürün takibini yapabilmek amacıyla yurt içi ve yurt dışı fuarlara katılım sağlandığı, ayrıca kurulan yatırım ve teşvik birimleri ile yeni teknoloji ve otomasyon yatırımlarının önünün açıldığı şeklinde özetlenebilir. “Özgün ürünler tasarlama kültürü” alt koduna ait görüşmeler analiz edildiğinde ise katılımcılar; işletmenin Tasarım Merkezi’nde sürekli pazar araştırması yapılması sonucunda kendilerini rakiplerinden ayıştıracak ürünlerin tasarlandığı ve üretildiği bilgisini paylaşmışlardır. Öztürk ve Alaşahan, (2019), ülkelerin rekabet koşullarında söz sahibi olabilmeleri için gelişmişlik göstergelerinden Ar-Ge’ye ve patent başvurularına gerekenden daha fazla önem verilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. İşletmenin stratejik hedeflerini gerçekleştirmede çalışanlarına teknolojik anlamda her türlü eğitimi sağlaması ve sürekli öğrenmeyi desteklemesi işletme yönetiminin değişimci bir bakış açısına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca özgün ürünler üreterek sektörde farklılık yaratmaya çalışmak ve bu sebeple tasarım ve Ar-Ge merkezlerinin hep aktif olmasını sağlamak işletmenin rekabet gücünü arttırmada önemli yol katettiğini göstermektedir. İşletmenin Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde yenilik odaklı çalışarak özgün ürünler üretmesi ve bu yönde çalışanlarını desteklemesi literatürle bire bir örtüşmektedir.

On üçüncü ve son sırada yer alan kod “Yapay zekâ” kodudur ve “Yapay zekâ teknolojisi kullanımı” adında tek bir alt koda sahiptir. Bu koda ilişkin görüşmeler incelendiğinde diğer kodlara kıyasla en az yanıt verilen kod olduğu tespit edilmiştir. İncelemeler sonucunda; işletmede yapay zekanın tam olarak kullanılmadığı, üretim süreçlerinin otonom sistem ile gerçekleştirildiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; bir üretim işletmesi olan Doğanlar Mobilya Grubu Endüstri 4.0 uygulamalarının olgunluk seviyesinin orta ile ileri seviye arasında bulunduğu tespit edilmiştir. Referans alınan Schumacher ve arkadaşlarının (2016) çalışmasına göre Endüstri 4.0 olgunluk seviyeleri beş aşamadan oluşmaktadır. Buna göre; çalışmaya konu olan işletmenin Endüstri 4.0 olgunluk seviyesinin 3. Seviye ile 4. Seviye arasında olduğu belirlenmiştir. Teknolojinin kullanımı ve yenilerine yapılan yatırımlar, müşteri geri bildirimlerine önem verme, özgün tasarımlar, yenilikçi bakış açısına sahip olma, çalışanlarını sürekli öğrenmeye teşvik etme, başarılı çalışanların ödüllendirilmesi, inovatif fikirlerin desteklenmesi ve çalışanların yeni teknolojiye adaptasyonu gibi konular işletmenin dijitalleşme sürecinde önemli avantajlar sunmakta ve Endüstri 4.0 dönüşüm yolculuğunda önemli adımlar attığını göstermektedir. Bununla birlikte; üretim sürecindeki makinelerin birbirleriyle iletişiminin sağlanarak üretimde yapay zekâ kullanımının artırılması, kişiselleştirilmiş ürün tasarımlarına daha fazla önem verilmesi ve uygulanması, üst yönetimde özellikle Endüstri 4.0'a ilişkin etkin bir liderlik modeli oluşturulması, işletmenin daha fazla odaklanması gereken alanlar olarak tespit edilmiştir. Bu unsurlara yönelik atılacak stratejik adımlar, işletmenin dijital dönüşüm sürecini tamamlamasına ve uzun vadede küresel rekabet gücünü artırmasına önemli katkılar sağlayacaktır. İşletmenin gelecekte gerçekleştireceği yatırımlar ve dijitalleşme stratejileri doğrultusunda Endüstri 4.0 dönüşümünü başarıyla tamamlaması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, D., Tekin, M. ve Alkan, H. (2007). “Esnek üretim sistemlerinin işletme faaliyetlerine olan etkisi ve maliyet unsurlarında meydana getirdiği değişiklikler”. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 1-20.
- Acet, H. ve Koç, Ş. (2020). “Dördüncü Sanayi Devrimi’nin (Endüstri 4.0) Dünyaya ve Türkiye’ye ekonomik yansımaları”. *Journal Of Social And Humanities Sciences Research*, 7 (58), 2243-2256.
- Agolla, J. E. (2018). “Human capital in the smart manufacturing and industry 4.0 revolution”. *Digital Transformation In Smart Manufacturing*, 2, 41-58.
- Akben, İ. ve Avşar, İ. İ. (2018). “Endüstri 4.0 ve karanlık üretim: genel bir bakış”. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 26-37.
- Akdağ, M. (2005). “Toplam kalite yönetimi ve örgüt içindeki yeri”. *Selçuk İletişim*, 4 (1), 159-170.
- Akdil, K. Y., Üstündağ, A. ve Çevikcan, E. (2018). “Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy”. In A. Üstündağ ve E. Çevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. 61–94.
- Alçın, S. (2016). “Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0”. *Journal Of Life Economics*, 3 (2), 19-30.
- Alguliyev, R., Imamverdiyev, Y. ve Sukhostat, L. (2018). “Cyber-Physical Systems and their security issues”. *Computers in Industry*, 100, 212-223.
- Angreani, L. S., Vijaya, A. ve Wicaksono, H. (2020). “Systematic literature review of industry 4.0 maturity model for manufacturing and logistics sectors”. *Procedia Manufacturing*, 52, 337-343.
- Arslan, Ü. Ç. ve Demirağ, Y. H. (2017). “Sanayi devrimi: sonuçları ve uluslararası sisteme yansımaları”. *Başkent Üniversitesi, Avrupa Birliği ve Uluslararası İlişkiler Enstitüsü* 1-15.
- Aslan, D. ve Demir, S. (2005). “Laboratuvar tıbbında altı-sigma kalite yönetimi”. *Türk Biyokimya Dergisi*, 30 (4), 272-278.
- Aydın, E. (2018). “Türkiye’de teknolojik ilerleme ile istihdam yapısındaki değişme projeksiyonu: endüstri 4.0 bağlamında ampirik analiz”. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 16 (31), 461-471.

- Aydın, E. ve Demiral, G. (2019). “İşgücü farklılığını dikkate alarak endüstri 4.0’ın zorlukları ve yararları: kavramsal bir çerçeve”. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11 (3), 1976-1990.
- Ayyıldız, M. E. ve Demir, A. O. (2022). “Dijital dönüşüm olgunluk seviyesinin ölçülmesine yönelik modellerin incelenmesi”. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Girişimcilik Dergisi*, 6 (12), 61-80.
- Balcı, B. (2022). Endüstri 4.0 Emeğin Niteliğini Nasıl Değiştirmektedir: Türkiye’de Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Uygulandığı İşletmelerde Nitel Bir Araştırma. Doktora Tezi. Kırklareli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırklareli.
- Baltacı, A. (2018). “Nitel araştırmalarda örnekleme yöntemleri ve örnek hacmi sorunsalı üzerine kavramsal bir inceleme”. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (1), 231-274.
- Baltacı, A. (2019). “Nitel araştırma süreci: nitel bir araştırma nasıl yapılır?”. *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5 (2), 368-388.
- Baltacı, İ. (2020). Lojistik Sektöründe Dijital Olgunluk Seviyesinin Ölçülmesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bardakçı, A. ve Ertuğrul, İ. (2004). “Toplam kalite yönetiminde hedef müşteri tatmini: Ama müşteri kim?”. *Review of Social, Economic & Business Studies*, 2, 207–218.
- Barutçu, H. C. (2019). Endüstri 4.0 Uygulamalarının Üretim Süreçlerine Etkisi: Bosch Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Basl, J. (2017). “Pilot study of readiness of czech companies to implement the principles of industry 4.0”. *Management And Production Engineering Review*, 8 (2), 3-8.
- Başer, N. E. (2011). I. Sanayi Devriminde Teknolojik Gelişimin Rolü. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Bayrak, A. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de Sanayide Dijital Dönüşüm (Sanayi 4.0) İncelemesi ve Türkiye’nin Entegrasyonu İçin Değerlendirmeler., Erişim: 12 Ağustos 2024, <https://Nursenerginsoy.Com/Wp-Content/Ar/Dunyada-Ve-Turkiyede-Sanayide-Dijital-Donusum-Inceleme-Endustri-4-0-Raporu-Dr-Ayşe-Bayrak.Pdf>
- Bibby, L. ve Dehe, B. (2018). “Defining and assessing industry 4.0 maturity levels–case of the defence sector”. *Production Planning ve Control*, 29 (12), 1030-1043.

- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK). (2022). Türkiye'de Dijital Dönüşüm ve Dijital Okuryazarlık. Erişim tarihi: 09.10.2023, <https://Www.Btk.Gov.Tr/Uploads/Pages/Arastirma-Raporlari/Tu-Rkiyede-Dijital-Do-Nu-S-U-M-Ve-Dijital-Okuryazarlik.Pdf>
- Bulut, E. ve Akçacı, T. (2017). “Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi”. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4 (7), 55-77.
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., De Mattos Nascimento, D. L. ve Garza-Reyes, J. A. (2021). “A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management”. *International Journal Of Production Economics*, 231, 1-21.
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F. ve Yao, X. (2019). “Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the industry 4.0 era”. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 3565-3577.
- Creswell, J. W. (2017). *Araştırma Deseni: Nitel, Nicel ve Karma Yöntem Yaklaşımları* (S. B. Demir, Çev. Ed.). 3. Baskı, Eğiten: Ankara.
- Creswell, J. W. (2023). *Nitel Araştırma Yöntemleri, Beş Yaklaşım Göre Nitel Araştırma ve Nitel Araştırma Deseni*. M. Bütün ve S. B. Demir, (Çev. Ed.). 7. Baskı, Siyasal Yay.: Ankara.
- Crnjac, M., Veža, I. ve Banduka, N. (2017). “From concept to the introduction of industry 4.0”. *International Journal Of Industrial Engineering And Management*, 8 (1), 21-30.
- Çakaloğlu, C. S. (2016, April 11). Nitel araştırma: Görüşme. *Prezi*. Erişim: 9 Ekim 2024, <https://prezi.com/w8c1il1dbet4/nitel-arastirma-gorusme/>
- Çakar, T. ve Serdar, M. (2002). “Kalite yönetim sistemleri”. *Sakarya University Journal Of Science*, 6 (2), 87-91.
- Çakıt, E., Âdem, A. ve Dağdeviren, M. (2020). “Endüstri 4.0 ergonomi için tehdit mi fırsat mı?”. *Verimlilik Dergisi*, (3), 43-57.
- Çelik, K. (2021). “Bulut bilişim teknolojileri”. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (24), 436-450.
- Çelik, S. ve Akdamar, E. (2018). “Büyük veri ve veri görselleştirme”. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (65), 253-264.
- Dafflon, B., Moalla, N. ve Ouzrout, Y. (2021). “The challenges, approaches, and used techniques of cps for manufacturing in industry 4.0: a literature review”. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 113, 2395-2412.

- Dağlıoğlu, G., İnal, T. C. ve Aksoy, K. (2009). “Altı sigma nedir?”. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 18 (2), 132-139.
- Demir, S., Gündüz, M. A. ve Paksoy, T. (2022). “Akıllı ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin hazırlık ve olgunluk düzeyinin değerlendirilmesi için geometrik ortalamaya dayalı yeni bir model önerisi”. *Journal Of Transportation And Logistics*, 7 (1), 95-115.
- Demirel, M. Y. ve Karaağaç, İ. (2014). “Bilgisayar destekli üretim süreçlerine genel bir bakış”. *Mühendis ve Makina*, 55 (652), 51-61.
- Derya, H. (2018). “Endüstri devrimleri ve Endüstri 4.0”. *GÜ İslâhiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, 2 (2), 1-20.
- Ege Bölgesi Sanayi Odası. (2015). *Sanayi 4.0: Uyum Sağlamayan Kaybedecek*. İzmir
- Empowered and Implementation Strategy For Industry 4.0*. (2016), Befähigungs Und Einführungsstrategien Für Industrie 4 0 Vorstellung- Technische Informationsbibliothek.
- Freund, L. ve Al-Majeed, S. (2021). “Managing industry 4.0 integration-the industry 4.0 knowledge ve technology framework”. *Logforum*, 17 (4), 569-584.
- Gabaçlı, N. ve Uzunöz, M. (2017). “IV. Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Otomotiv Sektörü”. *3. Uluslararası Politik, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi*, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, 167-176.
- Gajdzik, B. (2022). “Frameworks of the maturity model for industry 4.0 with assessment of maturity levels on the example of the segment of steel enterprises in Poland”. *Journal Of Open Innovation: Technology, Market, And Complexity*, 8 (2), 77.
- Geissbauer, R., Vedsø, J., & Schrauf, S. (2016, Nisan). “*Industry 4.0: Building the digital enterprise*”. PwC.
- Genç, S. (2018). “Sanayi 4.0 yolunda Türkiye”. *Sosyoekonomi*, 26 (36), 235-243.
- Ghobakhloo, M. (2018). “The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0”. *Journal Of Manufacturing Technology Management*, 29 (6), 910-936.
- Goksen, Y., Cevik, E., ve Avunduk, H. (2015). “A case analysis on the focus on the maturity models and information technologies”. *Procedia Economics And Finance*, 19, 208-216.
- Gökalp, E., Şener, U. ve Eren, P. E. (2017). “Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM”. In *Software Process Improvement And Capability Determination: 17th International Conference, SPICE 2017, Palma De Mallorca*,

- Spain, October 4–5, 2017, *Proceedings* (Pp. 128-142). Springer International Publishing.
- Greengard, S. (2015). *The Internet Of Things*. MIT Press.
- Gülseren, A. ve Sağbaş, A. (2019). “Endüstri 4.0 perspektifinde sanayide dijital dönüşüm ve dijital olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi”. *European Journal Of Engineering And Applied Sciences*, 2 (2), 1-5.
- Gürün, F. (2018). “Endüstri 4.0 ve beşerî sermayenin geleceği”. *Journal Of Human And Social Sciences Research*, 7 (3), 210-225.
- Haleem, A. ve Javaid, M. (2019). “Additive manufacturing applications in industry 4.0: a review”. *Journal Of Industrial Integration And Management*, 4 (04), 3-8.
- Hao, Q., Shen, W. ve Wang, L. (2005). “Towards a cooperative distributed manufacturing management framework”. *Computers in Industry*, 56 (1), 71-84.
- Hofmann, E. ve Rüsch, M. (2017). “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”. *Computers In Industry*, 89, 23-34.
- IMPULS-Stiftung. (2015). Industrie 4.0 Readiness Check. Erişim: 14 Mart 2024, <https://www.Industrie40-Readiness.De>
- Ing, T. S., Lee, T. C., Chan, S. W., Alipal, J. ve Hamid, N. A. (2019). “An overview of the rising challenges in implementing industry 4.0”. *International Journal Of Supply Chain Management*, 8 (6), 1181-1188.
- Institute for Security & Development Policy. (2018, June). Made in China 2025. Erişim: 28 Ağustos 2024, <https://www.isdp.eu/wp-content/uploads/2018/06/Made-in-China-Backgrounder.pdf>
- mcJesus, C. D. ve Lima, R. M. (2020). “Literature search of key factors for the development of generic and specific maturity models for industry 4.0”. *Applied Sciences*, 10 (17), 5825.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: securing the future of german manufacturing industry*. Final Report Of The Industrie 4.0 Working Group. Acatech – National Academy Of Science And Engineering.
- Kansoy, O. ve Dirgar, E. (2008). “Altı sigma nedir”. *E-Journal Of New World Sciences Academy*, 4 (1), 14-23.

- Kayar, A. (2019). İmalat Sektöründeki İşletmelerde Endüstri 4.0'a Geçiş İçin Dijital Olgunluk Seviyesinin Belirlenmesi: Yeni Bir Model Önerisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaygin, E., Zengin, Y. ve Topçuoğlu, E. (2019). "Endüstri 4.0'a akademik bakış". *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33 (4), 1065-1081.
- Kazan, H. ve Günlük, M. (2006). "Esnek üretim sisteminde modüler imalatın işletmeler ve müşteriler açısından önemi üzerine bir araştırma". *Verimlilik Dergisi*, (1), 9-30.
- Kılıç, S. ve Alkan, R. M. (2018). "Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: dünya ve Türkiye değerlendirmeleri". *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2 (3), 29-49.
- Kırmızısaç, E. (2021). "Yeni nesil insan kaynakları yönetiminde dijital dönüşüm". *European Journal Of Educational And Social Sciences*, 6 (2), 156-169.
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F. ve Uygun, Ö. (2019). "İmpuls kriterleri ile Endüstri 4.0 eğiliminin değerlendirilmesi: Bir bulanık bilişsel harita uygulaması". *Academic Platform-Journal Of Engineering And Science*, 7 (1), 14-23.
- Köse, B. Ç. ve Ayhün, S. E. (2020). *Turizmde kriz yönetimi" Covid-19 salgınının analizi"*. Livre De Lyon.
- Kulualp, H. G. (2016). "Bilgi yönetimi olgunluk modellerine göre işletmelerin bilgi yönetimi düzeyleri: genel bir bakış". *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (56), 69-91.
- Kumar, K. D., Karunamoorthy, L., "Roth, H. ve Mirmalinee, T. T. (2005). "Computers in manufacturing: towards successful implementation of integrated automation system". *Technovation*, 25 (5), 477-488.
- Kumar, S. A. ve Suresh, N. (2008). *Production And Operations Management* (2nd Ed.). New Age International Publishers.
- Kumaş, E. (2021). Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli: Türkiye Endeksi ve Değerlendirmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Lanza, G., Nyhuis, P., Ansari, S.M., Kuprat, T. and Liebrecht, C. (2016), "Befähigungs-Und einführungsstrategien für industrie 4.0", *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111 (1/2), 76-79.
- Lee, I. (2017). "Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges". *Business Horizons*, 60 (3), 293-303.

- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T. ve Forstenhäusler, S. (2016, September). “SIMMI 4.0-A maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on industry 4.0”. *Federated Conference On Computer Science And Information Systems (Fedcsis)*, 1297-1302.
- Li, L. (2018). “China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of “made-in-china 2025” and “industry 4.0”. *Technological Forecasting And Social Change*, 135, 66-74.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... ve Drobnik, O. (2015). *Industrie 4.0 Readiness*. IMPULS-Stiftung.
- Liu, S., Chan, F. T., Yang, J. ve Niu, B. (2018). “Understanding the effect of cloud computing on organizational agility: an empirical examination”. *International Journal Of Information Management*, 43, 98-111.
- Lu, Y. (2017). “Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues”. *Journal Of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute. Erişim: 28 şubat 2024, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- Martynov, V. V., Shavaleeva, D. N., Ve Zaytseva, A. A. (2019). “Information technology as the basis for transformation into a digital society and industry 5.0”. In *Proceedings Of The 2019 IEEE International Conference On Engineering, Technology And Innovation (ICE/ITMC)*. IEEE, 539-543.
- Min, H. ve Zhou, G. (2002). “Supply chain modeling: past, present and future”. *Computers ve Industrial Engineering*, 43 (1-2), 231-249.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D. ve Wuest, T. (2018). “A critical review of smart manufacturing ve industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (smes)”. *Journal Of Manufacturing Systems*, 49, 194-214.
- National Intelligence Council. (2017). Global trends to 2030: Talking points. Erişim: 28 Eylül 2025, <https://www.truevaluemetrics.org/Dbpdfs/Geopolitics/National-Intelligence-Council-Global-Trends-To-2030-Talking-Points.Pdf>
- Oktay, U. (2021). Türk Savunma Sanayisi İçin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Oruç, Ş. (2021). Toksik Liderlik Algısının Hizmet İnovasyon Davranışı ve İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisinde Metanetin Düzenleyici Rolü. Doktora Tezi. Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Özen, H. (2019). “Endüstri 4.0 ve eğitim: bir Türkiye perspektifi”. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (5), 103-113.
- Öztürk, D. (2016). “Tedarik zinciri yönetimi süreçlerini etkileyen faktörler”. *International Journal Of Social And Economic Sciences*, 6 (1), 17-24.
- Öztürk, S. ve Alaşahan, Y. (2019). “Türkiye’de Endüstri 4.0 uygulamalarının değerlendirilmesi: Panel veri analizi”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 61, 1-18.
- Özveri, O. ve Çakır, E. (2012). “Yalın altı sigma ve bir uygulama”. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 17-36.
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F. ve Mummolo, G. (2019). “The degree of readiness for the implementation of industry 4.0”. *Computers In Industry*, 113, 103-125.
- Pamuk, N. S., ve Soysal, M. (2018). “Yeni sanayi devrimi Endüstri 4.0 üzerine bir inceleme”. *Verimlilik Dergisi*, (1), 41-66.
- Peker, H. S. ve Arslanoğlu, H. (2018). “Sanayi 4.0’ın enerji güvenliğine olası etkileri”. *Güvenlik Çalışmaları Dergisi*, 20 (2), 121-133.
- President's Council Of Advisors On Science And Technology (US). (2014). *Report To The President, Accelerating US Advanced Manufacturing*. Executive Office Of The President: Washington.
- Pwc (2016). Industry 4.0: Building The Digital Enterprise. Retrieved From. Erişim: 19 Temmuz 2024, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Rajaraman, V. (2014). “Cloud computing”. *Resonance*, 19, 242-258.
- Rockwell Automation. 2014. “The Connected Enterprise Maturity Model.” *Rockwell Automation*, 12, 1–12.
- Rohani, J. M. ve Zahraee, S. M. (2015). “Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry”. *Procedia Manufacturing*, 2, 6-10.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. ve Harnisch, M. (2015). “Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries”. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.

- Sahoo, S. ve Yadav, S. (2018). "Total quality management in Indian manufacturing smes". *Procedia Manufacturing*, 21, 541-548.
- Salvadorinho, J. ve Teixeira, L. (2021). "Organizational knowledge in the I4.0 using bpmn: a case study". *Procedia Computer Science*, 181, 981-988.
- Santos, R. C. ve Martinho, J. L. (2020). "An industry 4.0 maturity model proposal". *Journal Of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1023-1043.
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A. ve Ten Hompel, M. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing The Digital Transformation Of Companies (Update 2020)*. Acatech – National Academy Of Science And Engineering. Erişim: 18 Haziran 2024, <https://En.Acatech.De/Publication/İndustrie-4-0-Maturity-İndex-Managing-The-Digital-Transformation-Of-Companies/>
- Schumacher, A., Erol, S. ve Sihni, W. (2016). "A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises". *Procedia Cirp*, 52, 161-166.
- Schwab, K. (2016, January 14). The fourth industrial revolution: What it means and how to respond. World Economic Forum. Erişim: 29 Mart 2024, <https://www.weforum.org/stories/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Selim, S., Doğan, R. ř. ve Doğan, M. (2021). "Firmaların Endüstri 4.0 yatkınlık düzeylerini etkileyen faktörlerin analizi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (4), 613-624.
- Serdar, D. (2019). *İşletmelerin Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Sony, M. ve Naik, S. (2018). "Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: a literature review". *Benchmarking: An International Journal*, 25 (7), 1-20
- Sousa, P., Tereso, A., Alves, A. ve Gomes, L. (2018a). "Implementation of project management and lean production practices in a sme portuguese innovation company". *Procedia Computer Science*, 138, 867-874.
- Soylu, A. (2018). "Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar". *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 43-57.

- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O. ve Vallandingham, L. R. (2017). “The fit of industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study”. *Advances in Manufacturing*, 5, 344-358.
- Sung, T. K. (2018). “Industry 4.0: A Korea perspective”. *Technological Forecasting And Social Change*, 132, 40-45.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2019, 18 Eylül). Sanayi Strateji Belgesi 2023. Erişim: 16.05.2023, <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/sanayistratejibelgesi2023.pdf>.
- Tan, K. C., Kannan, V. R. ve Handfield, R. B. (1998). “Supply chain management: supplier performance and firm performance”. *International Journal Of Physical Distribution ve Logistics Management*, 28 (2), 103-115.
- Tang, C. P., Huang, T. C. K. ve Wang, S. T. (2018). “The impact of internet of things implementation on firm performance”. *Telematics And Informatics*, 35 (7), 2038-2053.
- Taş, H. Y. (2018). “Dördüncü Sanayi Devrimi’nin (Endüstri 4.0) çalışma hayatına ve istihdama muhtemel etkileri”. *OPUS International Journal Of Society Researches*, 9 (16), 1817-1836.
- Tay, S. I., Lee, T. C., Hamid, N. Z. A. ve Ahmad, A. N. A. (2018). “An overview of industry 4.0: definition, components, and government initiatives”. *Journal Of Advanced Research In Dynamical And Control Systems*, 10 (14), 1379-1387.
- Tecim, V. ve Sinan, G. (2009). “Süreç odaklı proje planlama: bir uygulama”. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 165-180
- Teichert, R. (2019). “Digital transformation maturity: a systematic review of literature”. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(6), 1673–1687.
- Thames, L. ve Schaefer, D. (2016). “Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0”. *Procedia Cirp*, 52, 12-17.
- Todorovic, T., Lalic, B., Majstorovic, V., Marjanovic, U. ve Tasic, N. (2020, August). “General readiness assessment of Industry 4.0: evidence from serbian manufacturing industry”. In *IFIP International Conference On Advances In Production Management Systems*. Cham: Springer International Publishing, 139-146.
- Tutar, H. (2022). “Nitel araştırmalarda geçerlilik ve güvenilirlik: bir model önerisi”. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22 (Özel Sayı 2), 117-140.

- TÜBİTAK BİLGEM YTE. (2019). Veri Merkezi Rehberi: Bilgi Teknolojileri Hizmetleri. Alındığı Yer: TÜBİTAK Bilgem, Erişim: 5 Nisan 2024, [Http://Bilgem.Tubitak.Gov.Tr](http://Bilgem.Tubitak.Gov.Tr)
- Türkcan, H. (2022). Endüstri 4.0 Bileşenlerinin Firma Performansı ve Rekabet Avantajı ile İlişkisi. Doktora Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.
- TÜSİAD. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gerekliklik Olarak Sanayi 4.0. İstanbul: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD). Erişim: 14 Şubat 2024, <https://www.tusiad.org/>
- Van Der Aalst, W. M. (2013). "Business process management: a comprehensive survey". *International Scholarly Research Notices*, (1), 507984.
- Von Solms, R. ve Van Niekerk, J. (2013). "From information security to cyber security". *Computers ve Security*, 38, 97-102.
- Von Tunzelmann, G. N. (2003). "Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions". *Structural Change And Economic Dynamics*, 14 (4), 365-384.
- Vrchota, J. ve Pech, M. (2019). "Readiness of enterprises in Czech Republic to implement industry 4.0: index of industry 4.0". *Applied Sciences*, 9 (24), 5405.
- Wagire, A., Joshi R., Rathore, A.P.S. ve Jain, R. (2020). "Development of maturity model for assessing the implementation of industry 4.0: learning from theory and practice". *Production Planning And Control*, 32 (8), 603-622.
- Yang, F. ve Gu, S. (2021). "Industry 4.0, A revolution that requires technology and national strategies". *Complex ve Intelligent Systems*, 7, 1311-1325.
- Yelkikalan, N., Kılıç Kırılmaz, S. ve Erden Ayhün, S. (2021). "İşletme yöneticilerinin endüstri 4.0 ve insan kaynakları yönetimi algılarının belirlenmesine yönelik bir araştırma". *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13 (1), 651-666.
- Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri ve Teknoloji Yol Haritası*, (2016). Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı, TÜBİTAK.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık: Ankara.
- Yıldız, A. (2018). "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar". *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22 (2), 546-556.
- Yılmaz, F. (2016). Dünyada Endüstri 4.0. Erişim: 28 Kasım 2024, <https://www.Endustri40.Com/Dunyada-Endustri-4-0/>

- Yiğitol, B., Güleş, H. K. ve Sarı, T. (2020). “Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinde, Kobi’lerin teknoloji seviyelerinin belirlenmesi: Konya imalat sanayi örneği”. *International Journal Of Advances In Engineering And Pure Sciences*, 32 (3), 320-332.
- Yin, Y., Stecke, K. E. ve Li, D. (2018). “The evolution of production systems from industry 2.0 through industry 4.0”. *International Journal Of Production Research*, 56 (1-2), 848-861.
- Yüce, G. (2020). Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli: Türkiye Çimento Sektörü Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi. Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mersin.
- Yüksekbilgili, Z. ve Çevik, G. Z. (2018). “Endüstri 4.0 bağlamında Türkiye’nin yerine ilişkin güncel ve gelecek eksenli bir analiz”. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3 (2), 422-436.
- Zahraee, S. M., Hashemi, A., Abdi, A. A., Shahpanah, A. ve Rohani, J. M. (2014). “Lean manufacturing implementation through value stream mapping: A case study”. *Jurnal Teknologi*, 68 (3), 119-124.

EKLER



EK 2

GÖRÜŞME SORULARI

Sayın katılımcı,

Bu derinlemesine görüşme soruları, “Üretim İşletmelerinde Endüstri 4.0 Uygulamalarının Olgunluk Modeli ile Değerlendirilmesi: Doğanlar Mobilya Grubu İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Doğtaş) Örneği” başlıklı Doktora Tez çalışmasının araştırma kısmıyla ilgilidir. Bulgular tamamen bilimsel amaçla kullanılacaktır. Soruları içtenlikle ve tarafsız olarak cevaplandırmanız çalışmanın bilimsel değerini artıracaktır. Mülakat sorularını cevaplandırırken her bir cevap seçeneğini açıklayıcı olarak cevaplanması beklenmektedir.

Katkı ve ilginiz için teşekkür ederiz.

A. DEMOGRAFİK ÖZELLİKLER

1. Cinsiyetiniz : ☐ Kadın ☐ Erkek
2. Yaşınız : ☐ 30 ve daha az ☐ 31-35 ☐ 36-40 ☐ 41-45 ☐ 45 ve üstü
4. Eğitim Düzeyi : ☐ İlköğretim ☐ Ortaöğretim/Lise ☐ Lisans ☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora
5. Çalıştığınız Birim:
6. Yöneticilikte Toplam Çalışma Süreniz (yıl):

B. DERİNLEMESİNE MÜLAKAT SORULARI

STRATEJİ	
(Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz, orta ve uzun vadede endüstri 4.0'ın rekabet gücünün etkilerini sürekli olarak analiz ediyor mu? Eğer ediyorsa bunun için neler yapıyorsunuz?
2	İşletmeniz rekabet edebilmek için endüstri 4.0 teknolojilerini kullanıyor mu? Eğer kullanıyorsa hangi teknolojilere sahiptir?
3	İşletmeniz yeni teknolojilere uyum sağlıyor mu? Eğer sağlıyorsa neler yapmaktasınız?
SÜREÇLER	
(Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz Endüstri 4.0 hedeflerine yönelik faaliyetlerin uygulanmasını izliyor mu? Eğer uyguluyorsa bunun için neler yapıyor?

2	İşletmenizin kaynak ve süreçleri, (teknoloji, insan Kaynağı, finansman yapısı ve iş süreçleri) ürünlerin yeniden yapılandırılmasına izin veriyor mu?
3	İşletmeniz hızlı karar verme sürecine sahip olmak için sahip olduğu bilgileri, bağlantıda olduğu şirketlerle paylaşıyor mu? Eğer paylaşıyorsa bilgilerinizi paylaşıırken nasıl bir süreç izliyorsunuz?
TEKNOLOJİ (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz, endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak için yatırım planlıyor ve uyguluyor mu? Eğer planlıyor ve uyguluyorsa neler yapmaktasınız?
2	İşletmeniz ürünlerin kullanım ve performans koşullarını test etmek için dijital simülasyon kullanıyor mu?
3	İşletmeniz talebe göre ürün ve hizmet gelişimini sağlayacak otomasyon sistemine sahip mi? Eğer sahip ise bu sistemler hakkında bilgi veriniz.
MÜŞTERİ (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz müşterilerden geri bildirim almak için teknolojik araç gereç kullanıyor mu? Eğer kullanıyorsa hangi teknolojik araç gereçlerden yararlanıyorsunuz?
2	İşletmeniz talebe göre ürün ve hizmet geliştiriyor mu? Eğer geliştiriyorsa örneklendirebilir misiniz?
3	İşletmeniz bilgi edinmek için müşterileriyle hızlı ve dijital bir yolla iletişim kuruyor mu? Eğer kullanıyorsa hangi yöntemlerden yararlanıyorsunuz? (cep telefonu, mail, sosyal medya hesapları vb.)
YÖNETİM	

(Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	Şirket üst yönetimi yeni teknolojilerin sürece dahil edilmesi için gerekli kaynakları sağlıyor mu? Eğer sağlıyorsa bunun için neler yapmaktasınız?
2	İşletmeniz yürüttüğü stratejik ve operasyonel faaliyetlerin belirlenmesinde müşteri geri bildirimlerinden yararlanıyor mu? Eğer yararlanıyorsa bu süreç hakkında bilgi verir misiniz?
3	İşletmenizde endüstri 4.0 dönüşüm sürecini yöneten bir birim var mı?
İŞGÜCÜ (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz, endüstri 4.0 sürecine uyum sağlayabilecek nitelikli işgücüne sahip mi? Eğer sahipse işgücünüzün sahip olduğu yetkinlikler hakkında bilgi veriniz.
2	İşletmeniz dijital dönüşümün zorluklarını ve faydalarını göz önünde bulundurarak çalışanların yaratıcılığını ve yetkilendirilmesini teşvik ediyor mu? Eğer ediyorsa hangi teşvik programları uyguluyorsunuz?
3	İşletmeniz dönüşüm sürecinde çalışanlarını harekete geçirmek için onları yeniliğe ve sürekli öğrenmeye teşvik ediyor mu? Eğer ediyorsa bunlar hakkında bilgi veriniz.
ÜRÜNLER (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmenizin akıllı sistemlere sahip ürünleri var mı? Eğer varsa bu ürünleri belirtiniz.
2	İşletmenizin kendi özellikleri ve performansını optimize eden yapay zekaya sahip ürünü var mı? Eğer varsa bu ürünleri belirtiniz. (Örneğin X marka telefonun kullanıcı özelliklerine göre

	uygulamaların bazılarını ön plana koyarak kendini güncellemesi, kullanıcıya hatırlatmalar yapması vb.)
3	İşletmenizin üretim hattı ile iletişime geçen ve tüketicilerin kullanım bilgilerine izin veren akıllı ürünleri var mı? Eğer varsa örneklendiriniz.
LİDERLİK (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmenizde Endüstri 4.0 sürecinde etkin bir liderlik modeli uygulanıyor mu? (değişimci liderlik, vizyoner liderlik, dönüşümcü liderlik vb.)
2	İşletmenizde lideriniz endüstri 4.0 süreçleriyle ilgili çalışanlarını bilgilendiriyor mu? Eğer bilgilendiriyorsa bunu nasıl gerçekleştiriyor açıklayınız.
3	İşletmenizde lideriniz dijital dönüşüm zorluklarını ve faydalarını göz önünde bulundurarak çalışanların yaratıcılığını ve yetkilendirilmesini teşvik ediyor mu? Eğer teşvik ediyorsa kullandığı yöntemleri belirtiniz.
KÜLTÜR (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	
1	İşletmeniz endüstri 4.0 dönüşüm süreçlerine uyum sağlayabilecek yenilikçi bir bakış açısına sahip midir?
2	İşletmenizde değişimi destekleyen ve çalışanları bu yönde motive eden uygulamalarınız var mı? Eğer varsa bu uygulamalar hakkında bilgi veriniz.
3	İşletmenizde yenilikçi çalışmaların desteklenmesi ve/veya ödüllendirilmesine yönelik uygulamalar var mı, eğer varsa bu uygulamalar hakkında bilgi veriniz.
İNOVASYON (Açıklayınız ve/veya Örneklendiriniz)	

1	İşletmeniz, endüstri 4.0 geçiş sürecinde, inovasyon süreçlerini destekleyebilecek nitelikli işgücüne sahip mi? Eğer sahipse işgücünüzün sahip olduğu yetkinlikler hakkında bilgi veriniz.
2	İşletmenizde inovasyon süreçlerini destekleyen ve çalışanları bu yönde motive eden uygulamalarınız var mı? Eğer varsa bu uygulamalar hakkında bilgi veriniz.
3	İşletmenizde yeni fikirlerin uygulanmasına yönelik yönetim desteği var mı? Nelerdir?
AKILLI ÜRETİM (Açıklayınız ve/veya Örnekleyiniz)	
1	Şirketinizde MES, ERP ve SCM gibi faaliyetlerin kullanımı mevcut mu? Varsa hangilerini kullanıyorsunuz açıklayınız?
2	Şirketiniz, ürün ve üretim süreçlerini gerçek zamanlı takip edebilecek akıllı üretim sistemlerine sahip mi? Nelerdir?
3	Şirketinizin üretim süreçlerinde, makineler arası iletişim sistemi ve makinelerin bağımsız karar verme ve hareket edebilme özelliği var mı?
AR-GE KÜLTÜRÜ (Açıklayınız ve/veya Örnekleyiniz)	
1	Şirketin yeniliğe ve yeni teknolojilerin dahil edilmesine yönelik bir organizasyon yapısı var mı?
2	Sektörünüzde ürünlerinde rakip taraflara üstünlük sağlamak ve özgün ürünler tasarlamak yönünde bir ar-ge kültürüne sahip midir? Bu alanda ne gibi çalışmalar yapılmaktadır?
3	Şirketinizde, şirket üst yönetimi, dönüşüm eylemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli değişimci bakış açısına ve kültürüne sahip mi? Varsa bilgi verir misiniz.
YAPAY ZEKA (Açıklayınız ve/veya Örnekleyiniz)	

1	İşletmenizde stratejik yönetim ve karar alma mekanizmalarında yapay zekâ teknoloji ve uygulamalarını kullanıyor musunuz?
2.	İşletmenizde üretim süreçlerinde otonom sistemler ve yapay zeka teknoloji ve uygulamalarını kullanıyor musunuz? Nerelerde ve hangi süreçlerle kullanıyorsunuz?
3	İşletmenizde müşteri ilişkileri ve hizmetlerinde yapay zeka teknolojisi kullanıyor musunuz? Hangi sistemleri kullanıyorsunuz?