



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü



ÜÇ AŞAMALI DİJİTAL DÖNÜŞÜM MODELİ ÖNERİSİ VE BİR İMALAT UYGULAMASI

Doktora Tezi

Bihter BİÇER OYMAK

Anabilim Dalı: İşletme

İzmir

2024



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü



ÜÇ AŞAMALI DİJİTAL DÖNÜŞÜM MODELİ ÖNERİSİ VE BİR İMALAT UYGULAMASI

Doktora Tezi

Bihter BİÇER OYMAK

Prof. Dr. Haluk SOYUER

Anabilim Dalı: İşletme

Program: İşletme

İzmir

2024

JÜRİ ÜYELERİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haluk Soyuer

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Murat Kocamaz

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Aydın Koçak

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Kaan Yaralıoğlu

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Mustafa GERŞİL



ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne sunduğum ÜÇ AŞAMALI DİJİTAL DÖNÜŞÜM MODELİ ÖNERİSİ VE BİR İMALAT UYGULAMASI adlı doktora tezinin tarafımdan bilimsel, ahlak ve normlara uygun bir şekilde hazırlandığını, tezimde yararlandığım kaynakları bibliyografyada ve dipnotlarda gösterdiğimi onurumla doğrularım.

Bihter Biçer Oymak

Canım kızım Ekin Emilya'ya...



ÖNSÖZ

Dijitalleşme ve dijital dönüşümün farklı sektörlerdeki etkileri ve önemi günümüzde en çok tartışılan konuların başında geliyor. Şirketlerin dijitalleşme ve dijital dönüşüm faaliyetlerinde bulunma konusunda istekli oldukları biliniyor ancak şirket içinde bu konunun nasıl ele alınacağına dair bilgi eksikliği nedeniyle dijital dönüşüm çabalarının ilerletilmesinin önünde bir engel oluşturabiliyor. Dijitalleşen süreçler tarafından üretilen büyük miktardaki veri, bilgiye dönüştürülerek şirkete ve tüm tedarik zincirine değer katmakta ve şirketler için günümüzün rekabet silahlarından biri haline gelmektedir. Veri, Endüstri 4.0'ın temel kavramıdır ve Endüstri 4.0'da yapılan her şey akıllı sistemler tarafından üretilen, iletilen, depolanan ve analiz edilen verilere bağlıdır. Verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak için akıllı sistemlerin aynı omurga üzerinde sorunsuz bir şekilde iletişim kurması gerekmektedir. CPS, OT ve IT'nin entegrasyonu, tüm alanlardaki farklı sistemler arasında veri alışverişini mümkün kılmaktadır.

Bu amaçla bu çalışmada önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin imalat sektöründeki şirketlerin dijitalleşme çalışmalarında kullanılabilecek bir araç olarak uyarlanması dijital dönüşüm faaliyetlerine hızlandıracağı düşünülmektedir.

İzmir- Eylül 2024

Bihter BİÇER OYMAK

ÖZET

Bu çalışmada, bir imalat şirketinde dijitalleşme ve dijital dönüşüm faaliyetlerini belgelendirmek için gerekli yalın ve dijital olgunluk ölçekleri uygulandıktan sonra, genişletilmiş ISA-95 Modeli şirketin yazılım ve fiziksel katmanlarının analiz edilmesine yardımcı olmuştur. Katmanlar arasındaki yazılımsal ve fiziksel bağlantılar ortaya çıkarılarak elde edilen bulgulara göre eksiklikler ortaya konulmuştur. Bunun için çalışmanın ilk bölümünde dijitalleşme hakkında bilgi verilmiş ve şirketin yalın ve dijital olgunluğunu ölçmek için kullanılacak olan ölçekler tanıtılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise ISA-95 standardı ve genişletilmiş ISA-95 modeli bileşenleri ile birlikte detaylı olarak sunulmuştur. Çalışmanın uygulaması üçüncü bölümde gerçekleştirilmiş ve bulguları, tartışma, sonuç ve önerilerine aynı bölümde yer verilmiştir.

Bu amaçla, bu çalışmada geliştirilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin bileşenleri imalat sektöründeki şirketlerin dijitalleşme çalışmalarında kullanılabilecek bir model olarak önerilmektedir. Dijital Dönüşüm konusunda yalın yönetim, dijital dönüşüm ve dijitalleşme konularını bir modelde birleştirerek bir şirkette inceleyen ve elde edilen bulgularla şirketin dijital dönüşüm faaliyetlerine katkı sağlayan bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca dijitalleşme düzeyini belirlemek için genişletilmiş ISA-95 Modelini kullanan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Dolayısıyla çalışma son derece özgün olup akademik literatüre zengin bir katkı sağlamayı ve imalat sektörünün dijital dönüşüm stratejilerine yol göstermeyi hedeflemektedir.

Dijitalleşme çalışmaları, şirketlerin sektörlerinde rekabet avantajlarını güçlendirmelerini ve hızla değişen sektörel gelişmelere çevik bir organizasyon yapısı ile cevap vermelerini sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma, şirketin daha çevik ve esnek bir yapıya sahip olmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda dijitalleşme konularının güncelliğini koruması ve dünyada bu denli önem kazanmış olması nedeniyle çalışmanın bu konudaki literatüre ve farklı sektörlerdeki şirketlere zengin bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yalın Yönetim, Dijitalleşme, Dijital Dönüşüm, Genişletilmiş ISA-95 Modeli

ABSTRACT

In this study, after applying the necessary lean and digital maturity scales to document digitalization and digital transformation activities in a manufacturing company, the extended ISA-95 Model helped to analyze the software and physical layers of the company. According to the findings, the software and physical connections between the layers were revealed and gaps were identified. For this purpose, the first part of the study provides information about digitalization and introduces the scales that were used to measure the company's lean and digital maturity. In the second part of the study, the ISA-95 standard and the extended ISA-95 model are presented in detail with its components. The application of the study is carried out in the third section and the findings, discussion, conclusion and recommendations are included in the same section.

For this purpose, the components of the Three-Stage Digital Transformation Model developed in this study are recommended as a model that can be used in the digitalization studies of companies in the manufacturing sector. There is no study on Digital Transformation that combines lean management, digital transformation and digitalization in a model and examines them in a company and contributes to the digital transformation activities of the company with the findings obtained. There is also no study that uses the extended ISA-95 Model to determine the level of digitalization. Therefore, this study is highly original and aims to make a rich contribution to the academic literature and guide the digital transformation strategies of the manufacturing sector.

Digitalization efforts enable companies to strengthen their competitive advantages in their sectors and respond to rapidly changing sectoral developments with an agile organizational structure. From this perspective, this study will contribute to the company to have a more agile and flexible structure. At the same time, since digitalization issues remain up-to-date and have gained such importance in the world, it is thought that the study will make a rich contribution to the literature on this subject and to companies in different sectors.

Keywords: Lean Management, Digitalization, Digital Transformation, Extended ISA-95 Model

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM DİJİTALLEŞME

1.1. Dijitalleşme Kavramı	3
1.1.1. Dijitalleşmenin Tarihsel Gelişimi	8
1.1.1.1. Birinci Sanayi Devrimi	9
1.1.1.2. İkinci Sanayi Devrimi	10
1.1.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi	12
1.1.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi	13
1.1.1.5. Beşinci Sanayi Devrimi	15
1.1.1.6. Altıncı Sanayi Devrimi	18
1.2. Dijitalleşmenin Bileşenleri	20
1.2.1. Nesnelerin İnterneti	21
1.2.2. Büyük Veri	22
1.2.3. Siber Fiziksel Sistemler	22
1.2.4. Otonom Robotlar	23
1.2.5. Üç Boyutlu Yazıcılar	23
1.2.6. Artırılmış Gerçeklik	23
1.2.7. Bulut Bilişim Sistemleri	24
1.2.8. Entegre Sistemler	24
1.2.8.1. Yatay Entegrasyon	24

1.2.8.2. Dikey Entegrasyon.....	25
1.2.8.3. Uçtan Uca Entegrasyon.....	25
1.2.9. Siber Güvenlik.....	25
1.2.10. Akıllı Fabrikalar.....	25
1.2.11. Yapay Zeka.....	26
1.3. Dijitalleşmenin Faydaları ve Zorlukları.....	26
1.3.1. Dijitalleşme Sürecinin Faydaları.....	26
1.3.2. Dijitalleşme Sürecinin Zorlukları.....	29
1.4. Dünyada Dijitalleşme.....	30
1.4.1. Türkiye'nin Dijitalleşme Sürecindeki Konumu.....	34
1.4.2. Türkiye'de Dijitalleşme Sürecinin Gelişimi.....	37
1.4.3. Türkiye'nin Dijital Yol Haritası.....	39
1.5. Şirketlerin Yalın ve Dijital Olgunluk Değerlendirmeleri.....	40
1.5.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA).....	42
1.5.2. D3A Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı.....	45
1.5.3. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check.....	45
1.5.4. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli.....	46

İKİNCİ BÖLÜM

GENİŞLETİLMİŞ ISA-95 MODELİ

2.1. ISA-95 Standardı.....	49
2.1.1. ERP Sistemi.....	52
2.1.2. MES Sistemi.....	54
2.1.2.1. MES Sisteminin İşlevselliği.....	56
2.1.2.2. MES ile MOM.....	57
2.1.2.3. MES Sisteminin Sağladığı Faydalar.....	58
2.1.2.4. MES ile ERP Arası Bağlantı.....	60
2.1.2.5. MES ile OEE Arası Bağlantı.....	61
2.1.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli.....	63
2.1.3.1. Ürün Bilgi Yönetimi- PDM.....	68
2.1.3.2. Siber Fiziksel Sistemler ve Nesnelerin İnterneti.....	70

2.1.3.3. Bağlantı Katmanı.....	73
2.1.3.4. Bulut Bilişim.....	75
2.1.4. Genişletilmiş ISA-95 Modeli içinde Dikey ve Yatay Entegrasyon.....	76
2.1.5. Genişletilmiş ISA-95 Modeli'nin İşletmeye Sağladığı Faydalar.....	78

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÜÇ AŞAMALI DİJİTAL DÖNÜŞÜM MODELİ ÖNERİSİ VE BİR İMALAT UYGULAMASI

3.1. Çalışma Hakkında Bilgiler.....	81
3.1.1. Araştırmanın Konusu ve Amacı.....	81
3.1.2. Çalışmanın Yöntemi ve Örneklem Profili.....	82
3.1.3. Veri Toplama Yöntem ve Araçları.....	83
3.1.4. Veri Analizi ve Değerlendirilme Yöntemi.....	84
3.1.5. Çalışmanın Çıktı Değeri.....	84
3.1.6. Çalışmanın Özgünlüğü.....	84
3.2. İşletme Hakkında Genel Bilgiler.....	85
3.3. Şirketin Yalın ve Dijital Olgunluk Değerlendirmeleri.....	86
3.3.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA).....	87
3.3.2. D3A Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı.....	89
3.3.2.1. Kurumsal Yönetim.....	90
3.3.2.2. Müşteri Yönetimi.....	95
3.3.2.3. Ürün ve Ar-Ge Yönetimi.....	98
3.3.2.4. Tedarik Yönetimi.....	100
3.3.2.5. Üretim Yönetimi.....	104
3.3.3. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check.....	112
3.3.4. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli.....	114
3.4. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yapısı.....	121
3.4.1. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yazılım Yapısı.....	121
3.4.2. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Fiziksel Yapısı.....	130
3.5. Bulgular.....	137
3.5.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi- YODA.....	137

3.5.2. Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri	139
3.5.2.1. D3A Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı.....	141
3.5.2.2. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check.....	150
3.5.2.3. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli.....	151
3.5.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli.....	158
3.6. Tartışma.....	168
3.6.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi- YODA.....	168
3.6.2. Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri.....	170
3.6.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli.....	174
3.7. Sonuç ve Öneriler.....	183
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	185
EKLER.....	210
TEŞEKKÜR.....	230
ÖZGEÇMİŞ.....	231

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Seviyelerin Limitleri (Etkeser, 2019).....	47
Tablo 2: YODA Puanlaması.....	87
Tablo 3: Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A).....	90
Tablo 4: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check 2018 ve 2024.....	113
Tablo 5: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check Seviyeleri.....	113
Tablo 6: Dijital Dönüşüm Olgunluk Ölçekleri ve Boyutları.....	140



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Sayısallaştırma, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm (Kimchia, 2023).....	3
Şekil 2: Endüstriyel Devrimleri (Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 2024).....	8
Şekil 3: James Watt, Buharlı Makine (Guillemin, 1881: 141).....	9
Şekil 4: Beşinci Sanayi Devrimi (Üstün, 2022).....	16
Şekil 5: Endüstri 5.0 Bileşenleri (Gerçek, 2023).....	16
Şekil 6: Endüstri 6.0 Bileşenleri (Collidu, 2024).....	19
Şekil 7: Dijitalleşmenin Bileşenleri (Seyhan, 2019).....	21
Şekil 8: 2019-2023, Genel Dijital Rekabetçilikte Bölgelerin Ortalama Sıralaması (IMD, 2024).....	31
Şekil 9: 2022, Dijital Rekabetçilikte ilk 10 Ekonomi (IMD, 2024).....	32
Şekil 10: 2023, Dijital Rekabetçilikte ilk 10 Ekonomi (IMD, 2024).....	33
Şekil 11: 2023, ABD'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024).....	33
Şekil 12: 2023, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024).....	34
Şekil 13: 2023, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024).....	35
Şekil 14: 2022, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024).....	35
Şekil 15: Türkiye'nin Dijital Yol Haritası Bileşenleri (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).....	39
Şekil 16: MDi Denklemi (Etkeser, 2019).....	47
Şekil 17: MT Denklemi (Etkeser, 2019).....	47
Şekil 18: ISA-95 Standardı, Apilioğulları (2022a)' dan uyarlanmıştır.....	50
Şekil 19: IT Yapısı ve Bileşenleri (Apilioğulları, 2022a).....	64
Şekil 20: Mevcut ve Genişletilmiş ISA-95 Modeli, (Apilioğulları, 2022a).....	65
Şekil 21: OT Katmanları ve Bileşenleri/ OT Entegrasyonu (Tesla, 2024).....	73
Şekil 22: OPC UA Bağlantı Katmanı (Tesla, 2024).....	74

Şekil 23: Önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli.....	81
Şekil 24: Elektrikli Motor.....	86
Şekil 25: Kurumsal Varlık Yönetimi.....	109
Şekil 26: Kurumsal Varlık Yönetimi, İş Emri Türü.....	109
Şekil 27: Kurumsal Varlık Yönetimi, Bakım/ Arıza Tanımı.....	110
Şekil 28: Kurumsal Varlık Yönetimi, Arıza Nedeni Tanımı.....	111
Şekil 29: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check- Aynı Karşılaştırma Grubunda Bulunan Şirketler.....	114
Şekil 30: Boyutların Örümcek Ağı Diyagramı.....	115
Şekil 31: Şirketin Yazılım Yapısı ve Birbirleriyle Entegrasyonu.....	122
Şekil 32: El Terminali.....	124
Şekil 33: 2023 Senesinin Toplam OEE Raporu.....	127
Şekil 34: FSM Ana Ekran Görüntüsü.....	128
Şekil 35: Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yapısı.....	131
Şekil 36: Robot Sistemi.....	132
Şekil 37: Üretim Hattı Üzerinde Sensör Yapısı.....	132
Şekil 38: Röle.....	133

KISALTMALAR

AEC	: Architectural Engineering and Construction
AMT	: Advanced Production Techniques
AR	: Augmented Reality
B2B	: Business To Business
B2C	: Business Tfo Customer
BDD	: Big Data Driven
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu Ülkeleri
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
BOM	: Bill of Material
BPM	: Business Process Management, İş Süreçleri Yönetimi.
BT	: Bilgi Teknolojisi
BTYK	: Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu
BV	: Büyük Veri
CAD	: Computer Aided Design
CAM	: Computer-Aided Manufacturing
CNC	: Computer Numerical Control
CPS	: Cyber Physical Systems
CPPS	: Cyber Physical Production Systems
CRM	: Customer Relationship Management
DÖF	: Düzeltici Önleyici Kabul
DTP	: Dijital Dönüşüm Platformu
DTS	: Dijital Dönüşüm Stratejisi
DÜİMOTK	: Dijital Üretim ve İnsan Merkezli Otomasyon Teknik Komitesi
EDB	: Engineering Databases
EDM	: Electrical Discharge Machining
EOKS	: Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleri
ERP	: Enterprise Resource Planning
ETO	: EGINEERING To Order
FSM	: Field Service Management
HAARP	: High Frequency Active Auroral Research Program

ICT	: Information and Communication Technologies
IEC	: The International Electrotechnical Commission
IoT	: Internet of Things
IIoT	: Industrial Internet of Things
IMD	: International Institute for Management Development
İNK	: İlk Numune Kabul
IoE	: Internet of Everything
ISA	: International Society of Automation
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
ISO	: International Organization for Standardization
IT	: Information Technology
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler.
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
KPI	: Key Performance Indicator
KPMG	: Klynveld Peat Marwick Goerdeler
MEM	: Manufacturing Enterprise Management
MES	: Manufacturing Execution System
MESA	: Manufacturing Enterprise Solutions Association International
MOM	: Manufacturing Operations Management
MRP 1	: Material Resource Planning
MRP 2	: Manufacturing Resource Planning
MTO	: Make To Order
NIST	: National Institute of Standards and Technology
OEE	: Overall Equipment Effectiveness
OPC	: Open Platform Communication
OPR	: Online Performans Review
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
OT	: Operation Technology
PDM	: Product Data Management
PEM	: Planning, Execution, Monitoring

PI	: Production Intelligence
PLC	: Programmable Logic Controller
PLM	: Product Lifecycle Management
PM	: Plant Maintenance
PMI	: Projesis Manufacturing Improvement (artık Projesis)
PMO	: Proje Yönetim Ofisi
PPM	: Parts per Million
QM	: Quality Management
RAS	: Robotics and Automation Society
RPA	: Robotic Process Automation; Robotik Süreç Otomasyonu.
SAR	: Special Administrative Region of China
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SM	: Service Management
S&OP	: Sales and Operation Planning
TBV	: Türkiye Bilişim Vakfı
TESİD	: Türk Elektronik Sanayicileri Derneği
TEYDEB	: Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı
TÜBİSAD	: Bilişim Sanayicileri Derneği
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜSSİDE	: Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü
ÜOY	: Üretim Operasyonları Yönetimi
ÜYS	: Üretim Yönetim Sistemi
VDMA	: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VSM	: Value Stream Mapping
TBV	: Türkiye Bilişim Vakfı
TVB	: Toplam Verimli Bakım
VR	: Virtual Reality
WCY	: World Competitiveness Yearbook
WEF	: World Economic Forum
WMS	: Warehouse Management System
YZ	: Yapay Zeka

GİRİŞ

Veri, Endüstri 4.0'ın temel kavramıdır ve Endüstri 4.0 kapsamında yapılan her şey akıllı sistemler tarafından üretilen, iletilen, depolanan ve analiz edilen verilere bağlıdır. Verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak için akıllı sistemlerin aynı omurga üzerinde sorunsuz bir şekilde iletişim kurması gerekmektedir. CPS, OT ve IT'nin entegrasyonu, tüm alanlardaki farklı sistemler arasında veri alışverişini mümkün kılmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada oluşturulan Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli imalat sektöründeki şirketlerin dijitalleşme çalışmalarında kullanılabilecek bir araç olarak uyarlanması dijital dönüşüm faaliyetlerine hızlandıracağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, imalat sektöründeki bir elektrik motoru üretim şirketinde dijitalleşme ve dijital dönüşüm faaliyetlerini belgelendirmek için gerekli yalın ve dijital olgunluk ölçekleri uygulandıktan sonra, genişletilmiş ISA-95 modeli şirketin yazılım ve fiziksel katmanlarının analiz edilmesine yardımcı olmuştur. Katmanlar arasındaki yazılımsal ve fiziksel bağlantılar ortaya çıkarılarak genişletilmiş model test edilmiş ve elde edilen bulgulara göre eksiklikler ortaya konulmuştur. Bu bulguları ortaya koymak için çalışmanın ilk bölümünde dijitalleşme hakkında bilgi verilmiş ve bir şirketin yalın ve dijital olgunluğunu ölçmek için kullanılan ölçekler tanıtılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise ISA-95 standardı ve genişletilmiş ISA-95 modeli bileşenleri ile birlikte detaylı olarak sunulmuştur. Çalışmanın uygulaması üçüncü bölümde gerçekleştirilmiştir ve bulguları, tartışma, sonuç ve önerilerine aynı bölümde yer verilmiştir.

Yoğun literatür taramalarının ardından, özellikle genişletilmiş ISA-95 Modelinin ve bileşenlerinin bir şirketin yapısına göre birbiriyle bağlantısını gösteren ve böylece dijitalleşme faaliyetlerini model üzerinde belgeleyen önemli bir akademik çalışmaya rastlanmamıştır.

Bunların yanı sıra Dijital Dönüşüm konusunda yalın yönetim, dijital dönüşüm ve dijitalleşme konularını bir modelde birleştirerek bir şirkette inceleyen ve elde edilen bulgularla şirketin dijital dönüşüm faaliyetlerine katkı sağlayan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın özgünlüğü yüksek olup akademik literatüre zengin bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Dijitalleşme çalışmaları, şirketlerin sektörlerinde rekabet avantajlarını güçlendirmelerini ve hızla değişen sektörel gelişmelere çevik bir organizasyon yapısı ile cevap vermelerini sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma, şirketin daha çevik ve esnek bir yapıya sahip olmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda dijitalleşme konularının güncelliğini koruması ve dünyada bu denli önem kazanmış olması nedeniyle çalışmanın farklı sektörlerdeki şirketlere de dijital dönüşüm faaliyetlerine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

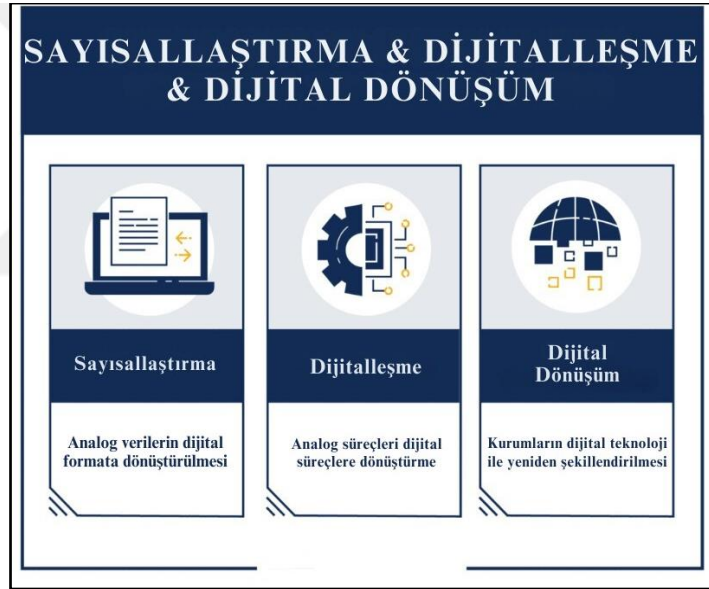


BİRİNCİ BÖLÜM

DİJİTALLEŞME

1.1. Dijitalleşme Kavramı

Sayısallaştırma (digitization) veya 0-1'leştirme, dijitalleşme (digitalization) ve dijital dönüşüm (digital transformation) aynı anlama geliyor gibi görünse de aslında farklı etkilere sahip üç ayrı teknoloji kavramıdır. Analog verileri dijital formata dönüştürme işlemi sayısallaştırma olarak bilinir. Dijitalleşme ile süreçlerin iyileştirilmesi sağlanabilir. Kuruluşları yeniden şekillendirmek için teknolojilerden faydalanmak, tam bir paradigma değişimi olan dijital dönüşümün hedefidir (Sezen ve Şenaras, 2022; O'Leary, 2023).



Şekil 1: Sayısallaştırma, Dijitalleşme ve Dijital Dönüşüm (Kimchia, 2023)

Fiziksel nesnelerin veya niteliklerin dijital bir temsilini oluşturma eylemi sayısallaştırma olarak bilinmektedir. Örnek olarak, kağıt belgeler taranabilir ve dijital belgeler (örneğin PDF) olarak saklanabilir. Sayısallaştırma bu nedenle dijital olmayan bir şeyi dijital bir temsile veya esere dönüştürme sürecidir (Gupta, 2020; O'Leary, 2023). Sayısallaştırma böylece fiziksel dünya ile yazılım arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır. Tüketilebilir veri, kuruma değer katan tüm süreçler için gereklidir (Kimchia, 2023).

1. Analog sinyallerin dijital bir gösterim oluşturulur. 44,1 kHz'de yapılan bir analog sinyal 16 bitlik değerlere dönüştürülebilir.

2. Analog sinyallerin dijital forma dönüştürülmesi, kullanıcının sinyali belirli amaçlar için değiştirmesine olanak tanır. Örneğin, bir dinleyicinin tercihlerine uyması için ses sinyallerinin eşitlenmesi ve sıkıştırılması yapılabilir.

3. Dijital verileri sıkıştırmak ve saklamak için hem fiziksel sürücüler hem de bulut depolama kullanılabilir. İnternet ve diğer dijital kanallar üzerinden verilerin iletimi de herhangi bir kalite kaybı olmadan mümkündür.

Verilerin sayısallaştırılması çeşitli uygulamalarda kullanılmasıyla birlikte (örneğin Spotify veya Instagram) birçok sektörde devrim yaratmış ve daha önce analog olan süreçleri çok daha kolay ve verimli hale getirmiştir. Dijital teknolojilerden yararlanmak için şirketler sayısallaşmak zorundadır. Daha erişilebilir ve analiz edilmesi daha kolay olduğu için büyük miktarlarda veriyle uğraşan kuruluşlar için verilerin sayısallaştırılması çok önemlidir (Kimchia, 2023).

Dijitalleşme ise analog süreçlerin dijital süreçlere dönüştürülmesi işlemidir. Gartner'a göre, dijital teknolojiler bir işi dönüştürmek için kullanılmaktadır (Kimchia, 2023; O'Leary, 2023).

- Verimliliği ve üretkenliği artırmak için günlük işlerde dijitalleşme bileşenleri uygulanmaktadır.
- Dijitalleşmenin potansiyeli, işletmelerin operasyonlarını kolaylaştırmak ve verimliliklerini artırmaktır, çünkü dijital bilgiler analog bilgilere göre daha kolay iletilir ve saklanabilir, bu da şirketler için zaman ve paradan tasarruf sağlar.
- Dijital teknoloji kullanımı hali hazırda var olan bir iş sürecini iyileştirir, ancak değiştirmez veya dönüştürmez.

Daha kârlı ve verimli bir işletmeye giden yol dijitalleşmeden geçer. Elektronik tablolar veya kağıt tabanlı süreçler yerine rapor oluşturmak için bir yazılım programı kullanmak gibi daha önce manuel olarak yapılan görevler artık otomatikleştirilebilir. Buna örnek olarak Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemleri, birçok işletme tarafından operasyonlarını basitleştirmek, özellikle envanterlerini, finansmanlarını ve insan kaynaklarını daha verimli bir şekilde yönetmek için kullanılmaktadır. Dijital

cihazların kullanımı, restoran rezervasyonu yapmak veya sinema bileti satın almak gibi daha önce çevrimdışı olarak gerçekleştirilen görevleri gerçekleştirmek için kullanılabilir (Kimchia, 2023).

Şirketlerin dijitalleşme sürecindeki değişimlerden en çok etkilenen kilit alanlar belirlenmiştir. Bunlar (Legner vd., 2017);

Dijital becerileri güçlendirme: Kurum çalışanları ve yöneticileri, dijital becerilerini geliştirip dönüşüm ve inovasyon çalışmalarına katkıda bulunmalıdırlar.

Veri yardımı ile çeviklik: Yeni organizasyonel ve liderlik yapılarının yanı sıra gelişmiş analitik beceriler ve çevik bilgi teknolojileri gerektirir.

Müşteriler ve diğer ortaklarla etkileşim: Dijitalleşme, değer yaratmanın önemli bir kaynağı olduğundan, müşteriler ve iş ortakları birçok sürece aktif olarak dahil edilmelidir.

İş modellerinde yenilik: Şirketler, yeni işler yaratmak için IT teknolojilerini geliştirmelidir.

Dijital platform: Şirketler işlerini dijital platformlara taşınmalıdır.

Bilgi Teknolojisi mimarisinin dönüşümü: Şirketler Bilgi Teknolojisi (BT) mimarilerini kullanıcı ve müşteri odaklı (yatay ve dikey entegrasyon) olacak şekilde tasarlamalıdır.

Süreç dijitalleştirme ve otomasyon: Dijitalleşmenin ön koşulu, şirketlerin süreçlerini dijitalleştirmeleri ve böylece otomasyon düzeylerini artırmalarıdır.

Dijital güvenlik ve uyumluluk: Şirketler siber tehditlere giderek daha fazla maruz kalmaktadır. Bu nedenle siber güvenliklerini sağlamalıdırlar.

Dijitalleşme terimi ilk kez 1971 yılında North American Review dergisindeki bir makalede kullanılmıştır. Robert Machal, hesaplamalı bilimin sınırları ve vaatleri bağlamında “toplumun dijitalleşmesinden” bahsetmiştir. Buna göre dijitalleşmenin işlevselliği, dijital bir ekosistem yaratmak için iş süreçlerini değiştirmek veya yeniden tasarlamaktır. Brennan ve Kreiss’e (2014) ve Oğuz ve Perçin’e (2022) göre dijitalleşme, dijital teknolojilerin bir kuruluş, ülke, endüstri vb. tarafından benimsenmesi ve kullanılmasıdır. Gartner (2020) dijitalleşmeyi şu şekilde tanımlamaktadır: Amaç, sadece hali hazırda yapılmış olan iyileştirmeleri değil, müşterilere yeni değer yaratmak ve sunmaktır. Dijitalleşme, teknolojiler aracılığıyla uçtan uca bir dijital ekosistem yaratıp

kullanılıyor olsa da (Pagani vd., 2017), sadece geniş bir teknoloji yelpazesini beraberinde getirmekle kalmamakta, aynı zamanda şirketlerde ve toplumda kültürel ve demografik dönüşümlere de yol açmaktadır (Kupiainen, 2016: 280-287).

Dijital Dönüşüm kavramı bu konuyu ele alıp tüm organizasyonu yeniden şekillendirmeye odaklanır. Şirketler, iş ortamlarındaki değişikliklere ayak uydurmak için dijital dönüşümden yararlanarak rekabetçi kalabilirler (Gupta, 2020).

- Bir şirketin temel operasyonları ve müşteri değer önermeleri, dijital dönüşüm sırasında ortaya çıkan teknolojilerin kullanılmasıyla basitleştirilebilir. Bunun kapsamlı olabilmesi için kültür, yapı, süreçler ve yönetişimde değişiklikler yapılması gerekmektedir.
- Müşteriler, online sipariş ve self-servis gibi dijital çözümler sunan şirketlere daha alışkın hale gelmiş ve bunları sağlayan şirketleri tercih etmektedirler.
- Yapay Zeka (YZ), büyük veri, robotik ve Nesnelerin İnterneti, şirketlerin operasyonlarını iyileştirmek ve müşterilerine daha iyi hizmet vermek için kullanabilecekleri yeni teknolojilerdir.

Dijital dönüşüm, sayesinde yeni iş modellerinin, süreçlerin, sistemlerin ve yazılımların oluşturulması daha fazla kârlılığa, daha yüksek üretkenliğe ve rekabet avantajına yol açmaktadır. Süreçleri ve iş modellerini yeniden tasarlayarak, çalışan inovasyonunu artırarak ve müşteri ihtiyaç ve beklentilerine uyum sağlayarak şirketler dijital dönüşüm çalışmalarını başarıyla tamamlayabilirler. Araştırmalara göre, dijital dönüşümü gerçekleştiren şirketler daha rekabetçi olmakta ve ekosistemde değişen koşullara daha kolay uyum sağlayabilmektedir (Schwertner, 2017). Büyük veri ve iş analitiği, tüm şirket faaliyetlerine ilişkin çok önemli ve gerekli bir öge haline gelmiştir. Bu unsurlar, şirketlerin daha doğru yönetim ve stratejik kararlar almasına yardımcı olmaktadır (Legner vd., 2017).

Dolayısıyla örgütsel değişim dijital teknolojilerden etkilenmekte ve dijital dönüşüm bu nedenle örgütlerdeki radikal değişim olarak tanımlanmaktadır. Avrupa'da Dijital Dönüşüm ve Dijitalleşmenin birleşimi Endüstri 4.0 ile temsil edilmektedir (Gupta, 2020; O'Leary, 2023).

Kısaca ifade etmek gerekirse, sayısallaştırma, fiziksel nesnelerin veya niteliklerin dijital bir temsilinin oluşturulmasını içerir. Dijital teknolojiler ve

sayısallaştırılmış veriler, dijitalleştirme sürecindeki işlemleri etkinleştirmek veya iyileştirmek için kullanılır. Dijital dönüşüm, dijitalleşme bileşenleri kullanımı yoluyla işletmeleri dönüştürme sürecidir. Sonuç olarak, dijital dönüşüm ve dijitalleşmenin birleşimi Avrupa'da Endüstri 4.0 ile ifade edilmektedir (Gupta, 2020; O'Leary, 2023).

Her üç teknoloji kavramı kararları ve eylemleri yönlendirmek için veri kullanır. Üretkenliği ve verimliliği artırmak her kavramın nihai hedefidir. Teknolojik gelişmeler, ister analog verileri dijital verilere dönüştürmek ister iş modellerini yenilemek olsun, her üç teknolojik kavramı da yönlendirmektedir (Kimchia, 2023, O'Leary, 2023).

Her üç kavram teknolojiden yararlanırken, özellikle kapsam, etki düzeyi ve nihai hedefler açısından farklılıklar da göstermektedir (Kimchia, 2023):

- Veri dönüşümü sayısallaştırmanın odak noktasıdır. Dijitalleşmenin amacı süreçleri dijital çözümlerle iyileştirmekken, dijital dönüşüm tam bir kurumsal dönüşüm için teknolojiden yararlanmayı içerir.
- Dijitalleşmenin operasyon süreçleri üzerinde etki yaratırken dijital dönüşüm stratejik bir dönüşümdür.
- Sayısallaştırma, verileri daha erişilebilir hale getirmeyi amaçlar. Dijitalleşme ise operasyonel verimliliği hedefler. Dijital dönüşüm ise tam bir organizasyonel dönüşümü hedeflemektedir.

Kuruluşlar bu kavramları ayırt edip anlayarak kendileri için en doğru kararı verebilirler. Bu kavramları mümkün kılan teknolojilere yatırım yapmak, işletmelerin daha verimli, çevik ve değişime duyarlı hale gelmesine yardımcı olabilir. Dijital dönüşümün karmaşıklığı ve zorlukları bu kavramlarla ifade edilmektedir. Sayısallaşma ve dijitalleşme daha yaygın bir şekilde benimsenmiş olsa da, dijital dönüşüm çok yönlü gereksinimleri ve stratejik yeniden düzenleme ihtiyacı nedeniyle pek çok kuruluş için hala çok yenidir (Kimchia, 2023; O'Leary, 2023).

Yukarıda verilen bilgilere göre, kuruluşların ve ekosistemlerin giderek dijitalleşmesiyle birlikte, dijital yenilikler bir zorluk teşkil etmektedir. Şirketlerin bu zorluklara uyum sağlaması, sürekli gelişen dijital teknolojileri izlemesi ve bunların tehdit ve potansiyellerini değerlendirmesi gerekmektedir. Üretim şirketleri rekabetçi olabilmek adına dijital teknolojilere yatırım yapmaları gerekir (Tilson vd., 2010: 754-756; Bharadwaj vd., 2013; Bär vd. 2018: 747).

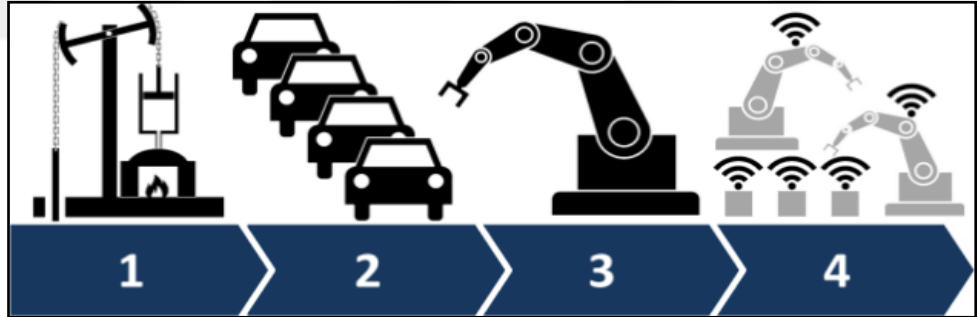
Tüm bu bilgileri göz önünde bulundurarak bu çalışmada, imalat sektörüne dijitalleşme faaliyetlerinde yardımcı olmayı hedefleyip dijital dönüşüm stratejilerinde yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.

Dijitalleşme kavramına ilişkin literatür araştırmasının sonuçlarını takiben, bir sonraki başlıklarda sanayi devrimleri temelinde dijitalleşmenin tarihsel gelişimi açıklanmaktadır.

1.1.1. Dijitalleşmenin Tarihsel Gelişimi

Dünyayı algılamanın güncel yolları, ekonomi ve sosyal yapılarda büyük değişikliklere yol açmış ve böylece devrim niteliğinde değişim süreçlerini başlatmıştır (Seyhan, 2019).

Sanayi devrimleri üretim anlayışını değiştirmiş ve sanayinin ötesinde farklı yaşam biçimleri beraberinde getirmiştir (Klingenberg vd., 2022). Birinci sanayi devrimi 1800'lü yıllarda hayatı neredeyse tamamen değiştirmiş ve günümüzde dördüncü kez evrilerek Endüstri 4.0 kavramı ile ortaya çıkmıştır.



Şekil 2: Endüstriyel Devrimleri (Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 2024)

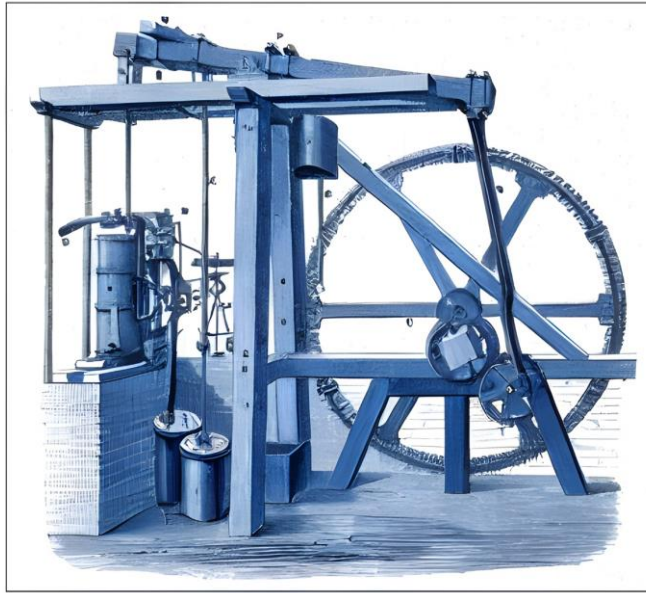
Her devrimden sonra üretimin, süreçlerin ve otomasyonun karmaşıklığı yükselmektedir ve beraberinde yeni meslekler yaratır (Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, 2024). Üretimde verimliliğin artırılması tüm sanayi devrimlerinde her zaman ön planda olmuştur (Yıldız, 2018: 547). Bu devrimler arasındaki geçişlerde, yeniliklerin daha önceki teknolojilerin yerini aldığı ve devrimler sırasında teknoloji, iş ve sanayi alanlarının birbirini desteklediği ve geliştirdiği bilinmektedir (Oruç, 2021).

Aşağıdaki başlıklarda sanayi devrimleri kısaca tanıtılmakta ve temel etkileri özetlenmektedir.

1.1.1.1. Birinci Sanayi Devrimi

İngiltere'de 1760-1830 yılları arasında gerçekleşen ilk sanayi devrimi su ve buhar gücüne dayanıyordu. İngiltere nüfusunun çoğu kırsal bölgelerde yaşayıp geçimlerini çoğu kez tarımdan ve el işlerinden sağlamaktaydı. Bu dönemde yakıt olarak yerel kömür yataklarından kömür çıkarılmaktaydı (Spear, 2008: 53). Birinci sanayi devriminden önce, mallar hem atölyelerde hem de evde vasıflı el emeği ile üretilmekteydi. Bu elle üretim yöntemi, alet ve malzemelerin kullanımında büyük beceri gerektiriyordu (Gibb, 1946: 106).

İlk sanayi devrimiyle birlikte su ve buhar gücüyle çalışan mekanik dokuma tezgâhları kullanıma girmiştir (Kılıç ve Alkan: 2018). İlk buhar pompasını icat eden Thomas Newcomen'in bu buluşu, James Watt tarafından geliştirilerek daha verimli hale getirilmiş ve mekanik sistemlerde kullanılabilmiştir. Buna göre birinci sanayi devriminin başlangıcı James Watt'ın buhar makinesini icat etmesine dayanmaktadır. Birinci sanayi devrimi ilk olarak batı dünyasında gerçekleşmiş ve daha sonra tüm dünyaya yayılmıştır (Görçün, 2017: 9).



Şekil 3: James Watt, Buharlı Makine (Guillemin, 1881: 141)

Birinci Sanayi Devrimi, tarım ekonomisinden sanayi ekonomisine geçiş olarak karakterize edilir (Seyhan, 2019). Enerji, artık odunla değil fosil bir yakıt olan kömürden elde edilmesi üretimin makineleşmesini ve daha büyük fabrikalara taşınmasını sağlamıştır (Eldem, 2017). Tekstil endüstrisinde, buhar gücüyle çalışan

makinelerin ilk kullanımı artan üretim hacimleriyle daha ucuz ürünlerle sonuçlanmıştır. Bulut ve Bulut ve Akçacı (2017: 52), bu dönemde gemicilik, demiryolları, metalürji, demir-çelik ve tekstilin en gelişmiş sektörler olduğunu belirtmiştir.

Üretim atölyeleri küçük fabrikalara kaymış, böylece üretim araçları da aletlerden makinelere geçmiştir. Maden ve metallerin kullanımının artmasına bağlı olarak lojistikte önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Sosyal ve ekonomik yapıların gelişmesi iletişim ve kültür alanında önemli ilerlemelere yol açmıştır (Seyhan, 2019).

James Watt'ın buhar makinesi, malların üretilme biçimini yeniden biçimlendirmiş ve tarımsal uygarlıktan endüstriyel uygarlığa doğru paradigma değişimi tamamlanmıştır. Birinci sanayi devrimi, sanayileşmiş ülkelerde veya toplumlarda “kıtlıkların” azaltılmasına muazzam bir katkıda bulunmuş ve aynı zamanda bir nüfus patlamasına yol açmıştır (Koç ve Teker, 2019).

1.1.1.2. İkinci Sanayi Devrimi

Elektrik enerjisi, 1840-1973 yılları arasında A.B.D.'de gerçekleşen İkinci Sanayi Devrimi iş bölümünü ve seri üretimi mümkün kılmıştır.

Birinci Sanayi Devrimi'ne ait demir, buhar ve kömürün yanı sıra petrol, çelik ve elektrik ve de kimyasallar da üretimin bir parçası haline gelmiştir. Ancak devrimi tetikleyen petrol bazlı içten yanmalı motorlar olmuştur. Telefon, radyo ve daktilonun geliştirilmesi ve gazetelerin ucuzlamasıyla iletişim ve kültürel gelişmeler devam etmiştir (Koç ve Teker, 2019).

Alman bir mühendis olan Nikolaus Otto 1876 yılında ilk içten yanmalı motoru icat etmiş ve Endüstri 2.0 ile beraberinde seri üretimin doğuşunun gerçekleşmesine neden olmuştur. Bir başka Alman mühendis olan Gottlieb Daimler (1834-1900) kısa bir süre sonra benzinle çalışan bir motor geliştirmiştir. Karl Benz (1844-1929), 20. yüzyılın en önemli sanayi dallarından biri haline gelen otomotiv endüstrisinin önünü açan bir yakıt ateşleme cihazı icat etmiştir (Pak, 2022; Parlak, 2022). Elektrik, buhar gücünün yerini aldığı anda, otomotiv endüstrisinde seri üretim hatları oluşturmuştur (Ekoq: 2014).

Amerikalı bir makine mühendisi olan Frederick W. Taylor, Bilimsel yönetimin babası olarak bilinmektedir. 1911 yılında, çalışanların ve şirketlerin verimliliğini artırmak için işi bilimsel olarak analiz etme sürecini özetleyip çıkıır açan çalışması

“Bilimsel Yönetimin İlkeleri'ni” yayınlamıştır. Frederic W.'nin Taylorizm olarak bilinen ilkelerine dayanan bilimsel yönetim yöntemleri ve teorisi, 20. yüzyılda görev uzmanlaşması, montaj hattı üretimi, iş analizi, iş tasarımı, teşvik sistemleri, kişi-iş eşleştirmesi ve üretim kotaları ve kontrolü dahil olmak üzere çok çeşitli yönetim uygulamalarına katkıda bulunmuştur (Giannantonio ve Hurley-Hanson: 2011).

Taylor, büyük endüstriyel sistemlerin yönetimine ilişkin bilimsel bir görüş arayışındaki ileri fikirlerini özetlemiştir. Kitabı, endüstriyel süreçlere ve yönetime yönelik ampirik yaklaşımın yerine, organizasyonlardaki insan ve teknolojinin bütünleştirici algısına dayanan yeni bir yönetim paradigması getirmiştir. Üretim süreci ve yönetimi için analitik bir çerçeve sağlamış, yeni bilimsel ilkeleri uygulamak için algoritmalar geliştirmiş ve bu ilkeleri uygulamanın sosyal sonuçlarını vurgulamıştır.

Başlangıçta, Amerikan sanayi kuruluşlarını geliştirmeyi amaçlayan Taylorizm, ulusal sınırları aşmış ve çok sayıda ülkelerin sanayi uygulamalarını etkilemiştir (Grachev ve Rakitsky: 2013).

Henry Ford, bu devrim sırasında otomobil fabrikasında seri üretim hatlarının geliştirilmesinde etkili olmuş ve montaj hattı felsefesiyle bunların diğer endüstrilerde de kullanılmasına öncülük etmiştir. Bu çalışmaları, üretkenlikte önemli artışlara ve ürünler için önemli fiyat düşüşlerine yol açmıştır. Bu üretim felsefesi Fordizm olarak da bilinip etkileri günümüzde de devam etmektedir (Akbulut, 2011: 3). İkinci sanayi devrimi bu nedenle seri üretim çağı olarak da bilinip Henry Ford tarafından montaj hattında “Model T” otomobilinin seri üretiminin başlangıcı olarak kabul edilir. Bu üretim yönteminin sonucu, her işçinin montaj hattının belirli bir bölümünde görevini yerine getirdiği büyük ölçekli seri üretime yol açmıştır. İkinci sanayi devriminin gelişmeleri kısa sürede Avrupa, ABD ve Japonya'ya yayılmıştır. Kağıt, plastik boyalar, buzdolapları, mikroskoplar ve endüstriyel asitler gibi birçok buluş İkinci Sanayi Devrimine aittir (Seyhan, 2019).

1.1.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi

1974 ve 2011 yılları arasında üçüncü sanayi devrimi A.B.D.' de gerçekleşmiştir. Bu dönemde bilgi teknolojilerinin ve elektroniğin gelişmesi sayesinde üretim otomasyonu yükseltilmiştir.

Böylece üçüncü sanayi devrimi, elektronik ve bilgi teknolojilerinin gelişimiyle karakterize edilmektedir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra nükleer teknoloji, lazer teknolojisi ve genetik gibi alanlardaki ilerlemelerle birlikte önemli bir gelişme süreci yaşanmıştır. Sanayi devrimi ilerledikçe, dünyanın yenilenemeyen kaynaklarının hızla tükenmesi çevre sorunlarına yol açmış ve yenilenebilir enerji kaynakları giderek daha önemli hale gelmiştir (Siemens, 2016). Bu devrimde nükleer enerjinin yanı sıra doğal gaz ve yenilenebilir enerjiler de kullanılmıştır. İkinci sanayi devrimi elektriğin birincil enerji kaynağı haline gelmesine tanıklık etmiş ve elektronik endüstrisi bunun arkasındaki itici güç olmuştur (Seyhan, 2019).

Endüstri 3.0'ın en çarpıcı özelliği, ilk bilgisayarların geliştirildiği ve dijital teknolojinin ön plana çıktığı bilgi teknolojisindeki hızlı gelişmelerdir. Programlanabilir cihazların geliştirilmesi ve hem mekanik hem de elektronik alanlardaki ilerlemeler, veri işleme çağı ve bilişim devrimi olarak adlandırılmaktadır. Bu dönemde önemli bir dönüm noktası, 1990'ların başında internetin kullanılabilir hale gelmesi ve dünyanın küreselleşme kavramıyla tanışmasıdır. Küreselleşme kavramı tüm sektörlerde yayılmıştır ve şirketlerin maliyetleri düşürmelerine, ürünlerini çeşitlendirmelerine ve müşteri gereksinimlerinin anında karşılanması da dahil olmak üzere önemli rekabet unsurlarını uygulamalarına olanak tanımıştır (Çeliktaş ve Koçar, 2015: 1).

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında tüketici zevklerinin gelişmesine bağlı olarak üretim yerini kişiselleştirilmiş üretime bırakmıştır. IT sektörü ve internetin yaygınlaşması nedeniyle yüksek kaliteli ve uygun maliyetli üretim artık ön planda olmuştur. Endüstri 3.0'da hizmet sektörü ön plana çıkmıştır çünkü sanayileşmiş ülkelerin imalat sanayindeki payı azalmıştır (Özsoylu, 2017).

Müşteri ihtiyaçlarındaki değişiklikler nedeniyle şirketlerin üretim süreçlerinin karmaşıklığı artmıştır. Teknolojiye uyum sağlayarak ve süreçleri bilgi teknolojisi çağına uyumlu hale getirerek şirketler bu durumu çözmeye başlamışlardır (Seyhan, 2019).

Bu dönemde elektrikli ve mekanik makineler yerini dijitalleşmeye bırakmıştır (Rifkin, 2011). Mikroişlemciler, televizyonlar, bilgisayarlar, tabletler ve cep telefonları gibi tüm teknik cihazlar üçüncü sanayi devriminin ürünleridir. Sensör bilgilerini işleyen ve çalışanlara ileten PLC mikroişlemci tabanlı programlanabilir mantık devresi, elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin endüstri ile iç içe geçmesini mümkün kılmıştır. Bu şekilde bilgi teknolojileri ve iletişim gelişerek üretimin otomasyonunu sağlamış ve üçüncü sanayi devrimi sayesinde üretim dijitalleşip otonom hale gelmiştir (Seyhan, 2019). Bilgisayar sistemlerinin kullanımı bu dönemde üretim hızının önemli ölçüde artmasına ve insan emeğinin öneminin azalmasına neden olmuştur (Koç ve Teker, 2019).

Üçüncü sanayi devrimi hala varlığını sürdürmektedir, ancak 2000'li yıllardaki gelişmeler Dördüncü Sanayi Devrimi'nin yolunu hızla açmaktadır (Seyhan, 2019).

1.1.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi

Alman hükümeti Kasım 2011'de, Endüstri 4.0 olarak bilinen dördüncü sanayi devrimini tanıtmıştır (Kamble vd., 2018: 107). Endüstri 4.0, ekonomiyi geliştirip yatay ve dikey değer yaratmayı başarmak için oluşturulmuştur. Birbirleriyle iletişim kurabilen yeni nesil teknolojilere sahip akıllı fabrikalar, dördüncü sanayi devriminin daha ucuz ve esnek ve üretimin daha verimli yapılmasını sağlamayı amaçlar (Kılıç ve Alkan, 2018: 32).

CPS (Cyber Physical Systems) veya CPPS (Cyber Physical Production Systems) yardımıyla üretim işletim sistemleri, bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT, Information and Communication Technologies) ve özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT, Internet of Things) veya Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT, Industrial Internet of Things) arasında bir entegrasyon gerçekleşmektedir (Dalenogare vd., 2018: 383).

Endüstri 4.0, sanal bir dünya yaratmak ve büyük veri elde etmek için gerçek dünya ile siber-fiziksel sistemler arasında sürekli iletişim kurmayı amaçlamaktadır. Siber-fiziksel dünyada, veri toplayan ve bunları bir veri tabanında depolayan sensörler, kameralar ve radarlardan oluşan sistemler sayesinde iletişim kesintisizdir (Pak, 2022).

Endüstri 4.0'ın temeli, şirketlerdeki makine ve ekipmanların internet ve bulut teknolojilerini kullanarak birbirleriyle iletişim kurmasını sağlamak, gelişmiş bilgi işlem

ve ileri internet teknolojileri sayesinde büyük veri üreterek bunu bulut bilişim sistemlerinde (cloud) depolayarak akıllı fabrika yapısını oluşturmaktır (Kagermann vd., 2013). Şirketler büyük veriyi bulut sistemlerinde depolayarak ve anlık olarak analiz ederek büyük kayıpları önleyebilir, verimlilik ve ürün kalitesini en üstte tutabilirler (Oruç, 2021).

Kısaca ifade etmek gerekirse Endüstri 4.0, kendi kendini yöneten fabrikaların geliştirilmesi ve üretim süreçlerinde işgücü yerine akıllı sistemlerin kullanılmasıdır. Bu tanıma ek olarak Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT) veya İleri Üretim Teknikleri (AMT, Advanced Production Techniques) olarak da adlandırılabilir (Pak, 2022).

Nesnelerin İnterneti, tamamen dijitalleştirilmiş, akıllı, ağa bağlı ve otonom akıllı fabrikalardan oluşan bir yapıya yol açan, endüstriyel üretimin aşamalı olarak dijitalleştirilmiş ağını karakterize etmektedir (Bauer vd., 2014: 20; Arnold vd., 2016: 2). Dünya Ekonomik Forumu'nun (WEF, World Economic Forum) kurucusu Klaus Schwab'ın da belirttiği gibi dördüncü sanayi devrimi, üçüncü sanayi devriminin bir devamı değildir. Schwab bu tezi için üç önemli neden saymıştır (Pak, 2022; Schwab, 2017: 17);

- İlk neden hız ile ilgilidir. Teknolojik ilerlemenin hızının katlanarak arttığı ve teknolojik ilerlemelerin birbirleriyle etkileşime geçerek hızla geliştiği belirtilmektedir.
- İkinci neden ise hem genişlik hem de derinlikle ilgilidir. Bu devrim dijitalleşme ile hızlanmış ve teknoloji çeşitliliği arttıkça bireyselleşmenin önemini vurgulamıştır.
- Üçüncü neden ise sistemin etkisidir. Schwab'a göre Endüstri 4.0 devrimi tüm şirketlerde, sektörlerde ve ülkelerde kapsamlı bir değişime yol açacaktır.

Schwab, Endüstri 4.0'ın kapsamlı bir şekilde ele alınmasının önemini vurgulamaktadır. Endüstri 4.0 devrimi, tüm teknolojik gelişmelerin birlikte ilerleyecek ve birbirlerini etkileyecek olması bakımından diğer sanayi devrimlerinden ayrılmaktadır (Schwab, 2017: 17).

Endüstri 4.0 devriminin teknoloji odaklı yeni yaklaşımları, sistemlerin birbirleri arasındaki hareketi ile tanımlanmaktadır. Tüm üretim ve hizmet adımları arasında eş zamanlı ve sürekli iletişim, sistemlerin sorunsuz çalışması için çok önemlidir. Sektörler

artık bu şekilde müşteri gereksinimlerine ve trendlere uyum sağlayabilecektir. Bu yeni yaklaşım ve öngörü ile Endüstri 4.0 daha değişken, daha hızlı üreten, daha kaliteli, daha karlı ve daha sürdürülebilir bir endüstriyel yol olarak tanımlanabilir (Üstündağ ve Çevikcan, 2017: 7).

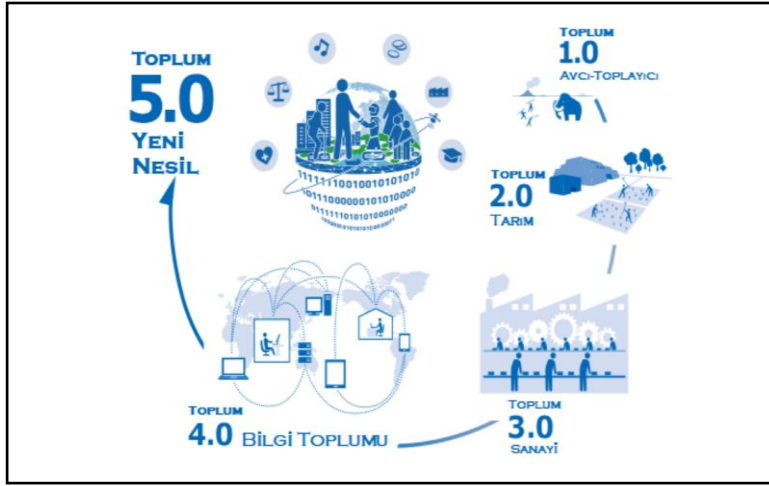
Günümüz endüstrisinde imalat sanayi seri üretimden özelleştirilmiş üretime geçmekte ve üretim teknolojileri ve uygulamalarındaki hızlı ilerleme verimliliğin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Endüstri 4.0 ürün yaşam döngüsünü göz önünde bulundurup analiz ederek bireysel müşteri gereksinimlerinin karşılanmasına odaklanır (Vaidya vd., 2018: 233).

Temel amaç, mal ve hizmet üretiminde organizasyonel süreçlerin daha verimli kullanılmasını sağlamak ve yeni ürün ve hizmetler aracılığıyla müşteri faydalarını artırmak için değer zinciri boyunca süreç ve ürünlerin akıllı ağını güçlendirmektir (Barreto vd. 2017: 1246).

Endüstri 4.0, maliyetleri düşürme hedefiyle verimliliği ve etkinliği artırarak, tüm unsurların ağa bağlanması yoluyla gerçek zamanlı veri ve bilgilerin hedefe yönelik olarak toplanmasını ve uygulanmasını amaçlamaktadır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme sağlamak ve sanayileşmiş ülkelerle rekabet edebilmek adına uygulanmalıdır (Oruç, 2021).

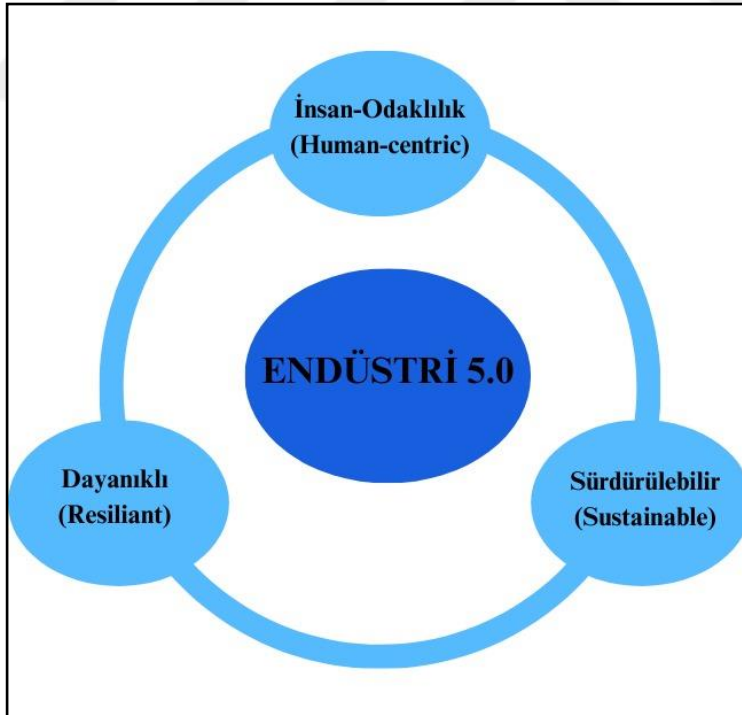
1.1.1.5. Beşinci Sanayi Devrimi

Endüstri 4.0'ın hayata geçirilmesinden on bir yıl sonra Avrupa Komisyonu 4 Ocak 2021 tarihinde yayınladığı resmi bir belge ile Endüstri 5.0'ı tanıtmıştır. Bu belgeye göre Endüstri 5.0 sürdürülebilir, insan merkezli ve dirençli Avrupa endüstrisine doğru evrilecektir (Rüßmann vd., 2015).



Şekil 4: Beşinci Sanayi Devrimi (Üstün, 2022)

Endüstri 5.0, gezegenin sınırlarını sayan ve çalışanların refahını üretim sürecinin merkezine koyarak sanayinin gücünü artıran bir devrim olarak anlaşılmaktadır (Rüßmann vd., 2015; Villani vd., 2020). Endüstri 4.0 sosyal adalet ve sürdürülebilirliğin orijinal ilkelerine daha az odaklanıp dijitalleşme ve YZ konuları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Chandrashekar, 2024).



Şekil 5: Endüstri 5.0 Bileşenleri (Gerçek, 2023)

Endüstri 5.0'ın *insan odaklı yaklaşımı*, temel insan ihtiyaçlarını ve çıkarlarını üretim sürecinin merkezine yerleştirerek, çalışanları artık maliyet olarak değil, yatırım olarak görmektedir. Endüstri 5.0'a göre çalışanların fiziksel ve ruhsal sağlığı ve esenliği

öncelik olmalı ve nihayetinde çalışanların özerklik, insan onuru ve mahremiyet gibi temel haklarını koruyan güvenli ve kapsayıcı bir çalışma ortamı yaratılmalıdır (Yüksel, 2022).

Sanayinin gezegenin sınırlarına saygı göstermesi için *sürdürülebilir* olması gerekmektedir. Doğal kaynakları yeniden kullanan ve geri dönüştüren, atıkları ve çevresel etkileri azaltan ve nihayetinde daha iyi kaynak verimliliği ve etkinliği ile döngüsel bir ekonomiye yol açan döngüsel süreçler geliştirilmelidir (Rüßmann vd., 2015).

Dayanıklılık, endüstriyel üretimde daha yüksek düzeyde bir sağlamlık geliştirme, kesintilere karşı daha dayanıklı hale getirme ve kriz zamanlarında kritik altyapıyı sağlayıp destekleyebilmesini sağlama ihtiyacını ifade eder. Geleceğin endüstrisi (jeo)politik değişimler ve doğal afetlerle hızlı bir şekilde başa çıkabilecek kadar dayanıklı olmalıdır (Rüßmann vd., 2015).

Üretim faaliyetlerinin çevresel etkileri nedeniyle, üretimin genel performansını vurgularken çevre dostu üretim süreçlerini de içeren sürdürülebilir üretim konusunda kamu, sanayi ve akademi dünyasında giderek artan bir farkındalık söz konusudur (Chandrashekar, 2024). Beşinci Sanayi Devrimi 2017 yılından bu yana akademik çabalarla desteklenmektedir (Yüksel, 2022: 26-29). Journal of Manufacturing Systems, International Journal of Production Research ve IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021 yılında Endüstri 5.0 ile ilgili araştırmaları teşvik etmek için ilgili özel sayılar hazırlamıştır. IEEE Robotik ve Otomasyon Topluluğu (RAS, Robotics and Automation Society) Dijital Üretim ve İnsan Merkezli Otomasyon Teknik Komitesi (DÜİMOTK) de Endüstri 5.0 ile olan ilgisini vurgulamıştır (Yüksel, 2022).

Endüstri 5.0'ın başarılı olması için devlet kurumlarının önemli yatırımlar yapması gerekecektir. Bu durum, Paris Anlaşması (Agreement, 2015), Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, Gelecek Nesillerin Refahı Yasası (Government, 2015), Gerçek İlerleme Göstergesi 2.0 (Talberth, 2012-2014), Refah Ekonomisi (Llena-Nozal vd., 2019), Ulusal Performans Çerçevesi (National Performance Framework, 2021) ve OECD Daha İyi Yaşam Endeksi (OECD Better Life Index, 2020) gibi ulusal politikalara yerleştirme konusunda hükümetler tarafından yakın zamanda kaydedilen ilerlemede görülebilir.

1.1.1.6. Altıncı Sanayi Devrimi

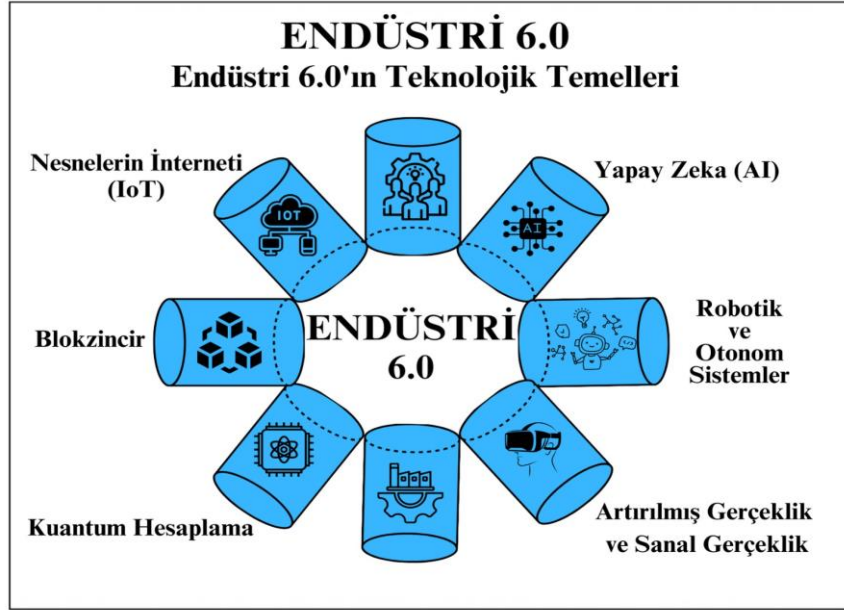
Dünyanın birçok yerinde devletler ve şirketleri hala Endüstri 4.0 çalışmalarının geçiş aşamasında bulunmaktadır. Ancak Endüstri 4.0'a hazırlanırken buna paralel olarak ı ışık hızıyla yayılan ve gelişen Endüstri 5.0'a da odaklanmak büyük önem taşır. Tüm paradigma değişimleri doğru uygulandığında Endüstri 6.0 konuları başarıyla yürütülebilir (Oktay Fırat, 2023).

Finlandiya sanayisinin “Endüstri 6.0 ”ın tanımlanmasında stratejik bir lider ve itici güç olmak için izleyebileceği potansiyel yollara rehberlik etmek amacıyla 2021 yılında bir rapor yayımlanmıştır. Bu rapora göre Endüstri 6.0, sanallaştırılmış ve kırılmaya dirençli ve müşteri merkezli üretim olarak tanımlanmaktadır (Oktay Fırat, 2023).

Apilioğulları’na göre (2022) aşağıda yer alan ve dört evreden oluşan dijitalleşme çalışmaları YZ ve diğer Endüstri 6.0 çalışmalarına yol açacaktır. Bunlar (Apilioğulları 2022a);

1. IoT (Nesnelerin İnterneti) veri toplamanın yeni yoludur
2. CPS (Siber Fiziksel Sistemler) veri taşımanın yeni yoludur. CPS, bağlantı katmanı aracılığıyla siber (IT) ve fiziksel dünyayı (OT) entegre eder ve Endüstri 4.0'ın bel kemiğini oluşturur.
3. Büyük Veri, verileri depolamanın ve anlamlandırmanın yeni yoludur.
4. Bu üç aşamanın sonucunda YZ çalışmaları, yani Endüstri 6.0 konuları ele alınabilir.

Japonya, Endüstri 6.0'dan ilk bahseden ülke olup teknolojide hızla ilerleyerek bu devrime kolayca uyum sağlayacaktır. Endüstri 6.0, verilerin sınırlar ötesine serbestçe aktığı, endüstrilerin hiper-bağılantılı olduğu ve hizmet ve malların kitlesel olarak özelleştirilmesi ve kişiselleştirilmesinin önemli bir rol oynadığı bir gelecek öngörmektedir. Ayrıca dinamik tedarik zinciri yönetimi ve parti büyüklüğünü 1'de gören son derece özelleştirilmiş düşünceye odaklanan endüstri devrimi olarak tanımlanmaktadır (Chandrashekar, 2024).



Şekil 6: Endüstri 6.0 Bileşenleri (Collidu, 2024)

Endüstri 5.0 üzerine inşa edilen Endüstri 6.0, AEC (Architectural Engineering and Construction), yani mühendislik ve mimarlık endüstrisinde 2014 yılında başlamıştır (Leng, 2022). Bulut bilişim, nanoteknoloji, YZ ve kuantum bilişim, tasarım, inşaat ve bakım çalışmalarının verimliliğini, doğruluğunu ve çevre dostu olmasını geliştiren uyumlaştırma bu endüstri devriminin ön sıralarında yer almaktadır. Endüstri 6.0, insan beyninin her süreci izlemesi ve otomatikleştirmesiyle tüm dünyayı kapsayacaktır. Yapay Zekanın insan zekası, bulut bilişim gücü, devasa veri setleri üzerinde insan-robot işbirliği, kuantum bilişim ve benzeri fikirlerle birleşimi her şeyin özüdür (Java point, 2021). Müşteriler, YZ, bulut bilişim gücü, insan-robot işbirliği ve büyük veriyi kullanarak, YZ ile donatılmış endüstriyel robotlar ve uydular ile bir dizi üretim faaliyeti ve hizmeti sağlayabilmektedir (Atwell, 2017).

Dinamik tedarik zincirleri, otomatik esneklik, müşteri odaklı ahlak, sanallaştırılmış kırılgan olmayan üretim ve hizmetlere sahip süper bağlantılı endüstriler bu devrimin merkezinde yer almaktadır. İç değer ağları, farklı uluslar ve idari alanlar arasında kuruluş içinde ve dışında uygun etkileşimleri kolaylaştırmaktadır. Hâlihazırda makine öğrenimi tekniklerinde ve YZ modellerinde kullanılan zor ve geniş algoritmaları çözmek için kuantum bilişimin kullanımı artacaktır. Ayrıca bu değişim, programlama ve YZ algoritmaları için yeni olanaklar yaratarak insan emeğini daha erişilebilir ve

pratik hale getirecektir. Bunun hayata geçirilmesi yaklaşık on ila on beş yıl alıp imalat endüstrisi bundan büyük fayda sağlayabilecektir (Leng, 2022).

Gelecekte insanlar tüm faaliyetlerini dijital ortamlarda ve bulut teknolojisinin yardımıyla gerçekleştireceğinden dijital zekâya sahip bir toplum olan Toplum 6.0'ın yaratılması, Endüstri 6.0 aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

Bu bölümde sanayi devrimleri temelinde dijitalleşmenin tarihsel gelişimi kısaca tanıtıldıktan sonra bir sonraki başlıkta dijitalleşmenin bileşenleri özetlenecektir.

1.2. Dijitalleşmenin Bileşenleri

Özellikle imalat şirketleri, hammaddelerin teslim alınmasından son ürüne kadar olan üretim süreçlerini çeşitli otomasyon sistemleri kullanarak kontrol etmelidir. Endüstriyel süreçleri kontrol etmek ve kullanılan ekipmanları doğrudan izlemek için kullanılan bu sistemler Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleri (EOKS) olarak bilinmektedir (Türkmen, 2022).

Dijitalleşme sürecinde endüstriyel alanların teknolojik altyapı ile birbirine bağlanması, iş akışlarının ve üretim süreçlerinin otonomlaştırılması, sensör ve donanımların kullanılması Endüstri 4.0 kavramının temelini oluşturmaktadır. IoT kavramının yaygınlaşmasıyla birlikte endüstriyel alanlardan verilerin anlamlı bir şekilde toplanması, depolanması ve kullanılması mümkün olmaktadır.

Endüstri 4.0 ile akıllı fabrikalarda PLC' ler, SCADA sistemleri ve diğer donanım bileşenleri kullanılarak makinelerden toplanan verilerin anlık olarak merkezi bir bulut sistemine aktarılmaktadır. Aktarılan verilerin veri madenciliği, makine öğrenmesi ve YZ teknikleri kullanılarak bir önceki veri seti ile birlikte yorumlanarak karar destek sistemi oluşturulması ve oluşturulan raporların web, mobil cihazlar (telefon/ tablet/ akıllı saat/ kulaklık) ve IoT sistemleri üzerinden son kullanıcıya sunulması gerekmektedir (Apilioğulları, 2022a).

Bunları başarabilecek dijitalleşme bileşenleri aşağıdaki şekilde gösterilmekte ve her biri ilerleyen başlıklarda kısaca sunulmaktadır.

Verilerin işlenmesi ve komutlara dönüştürülmesi için işletim sistemlerinin ve yazılımların olması gereklidir. Veriler tanımlı algoritmalar ile karşılaştırılarak mevcut duruma uygun bir çözüm üretilerek komut yanıtı oluşturulur (Sunyaev, 2020).

Sonuç olarak, imalat şirketleri otomasyon ve esnekliği hızlandırmak için Endüstriyel Nesnelerin İnternetini ilk benimseyenler arasında yer almıştır (Daugherty vd. 2015). Akıllı bir fabrika, bir ağda birbirine bağlanan sensörler ve akıllı nesnelerle doludur (Lucke vd., 2008). Bu sensörler ve akıllı nesneler, malların (örneğin RFID etiketleri aracılığıyla), üretim süreçlerinin algılanmasını ve izlenmesini ve ek bilgilerin sağlanmasını mümkün kılar.

Akıllı fabrikalar, verimliliği artırmak ve hatta makinelerin belirli ürünleri tamamen otonom olarak üretmesine izin vermek için üretim sürecinde hem insanlara hem de makinelere yardımcı olma yeteneğine sahiptir. Ayrıca, toplanan veriler üretim süreçlerini analiz etmek ve iyileştirmek ve envanteri yönetmek için kullanılabilir. Sensörler ve büyük veri analitiği ile donatılmış makineler arızaları önceden tahmin edebilir ve şirketlerin gereksiz duruş sürelerini veya tüm üretim tesislerinin kapanmasını önlemek için öngörücü bakım yapmalarını sağlayabilmektedir (Daugherty vd. 2015).

1.2.2. Büyük Veri

Geleneksel veritabanı sistemleri büyük veriyi işleyememektedir. Büyük ve hızlı veri hareketinden dolayı geleneksel veri tabanlarının sınırlamaları yeterli olmamaktadır (Wang ve Alexander, 2015: 60).

Büyük veri, sektörlerin veya şirketlerin yüksek hız ve rekabet avantajı elde etmeleri için etkili bir stratejik fırsat sunmaktadır. Bu veriler arasındaki bağlantıyı anlamlandırabilmek, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesi için geleceğe yönelik stratejiler oluşturmalarına yardımcı olacaktır.

1.2.3. Siber Fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistemler, gelişmiş sensör ve bilgisayar teknolojilerini ve bileşenleri verimli olarak entegre edebilen sistemlerdir (Zeadally ve Jabeur, 2016; Ghazani vd., 2012). CPS, insan müdahalesine gerek kalmadan özerklik, güvenilirlik,

sistemleştirme ve kontrol ile sonuçlanan teknoloji ve bilgi kombinasyonunu ifade eden 'Endüstri 4.0' kavramı ile ilişkilidir (Zeng vd., 2020).

CPS'in altında yatan ana teknolojik trendler arasında Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri, akıllı teknolojiler, bulut bilişim vb. yer almaktadır. Akıllı üretim, tıp, binalar ve altyapılar, şehirler, araçlar, giyilebilir cihazlar, mobil sistemler, savunma sistemleri, meteoroloji vb. alanların gelişimi CPS'e dayanmaktadır.

1.2.4. Otonom Robotlar

Otonom robot, insan kontrolü veya etkisi olmadan görevleri yerine getiren akıllı bir makinedir. Otomotiv endüstrisinde sürücüsüz otomobillerin ortaya çıkışı, YZ ve robot teknolojisinin birleşiminin bir sonucudur (Savela vd., 2018). Sağlık hizmetlerinde, otonom robotlar örneğin yaşlıların bakımı için kullanılmaktadır (Kachouie vd., 2014; Savela vd., 2018). Otonom robotlar, özellikle tehlikeli görevlerde kullanılmaktadır (Carlsen vd., 2014). General Electric, Amazon ve Alibaba, dünya çapında otonom robotlara giderek daha fazla güvenen şirketler arasındadır (Hofmann vd., 2019).

1.2.5. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayarda oluşturulup 3 boyutlu olarak üretilen modellerin hızlı bir şekilde üretilmesini sağlayan cihazlardır. Üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretim maliyetleri düşürülüp üretim hızı artırılabilir. Bu yazıcılar ürün tasarımı, kalıp maliyetinin azaltılması, tıbbi uygulamalar, protezler, plastik yamalar, kişiselleştirilmiş hediyeler, model yapımı ve robot tasarımı gibi alanlarda kullanılabilir. Kısacası, eklemeli üretim olarak da bilinen 3 boyutlu yazıcılar terimi, üç boyutlu bir nesne oluşturmaya yönelik yardımcı olmaktadır (Ulas, 2019).

1.2.6. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik, görüntü, audio veya GPS verilerini bilgisayarla oluşturulan unsurların fiziksel olarak temsil edilmesini ifade eder (Oğuz ve Perçin, 2022).

1.2.7. Bulut Bilişim Sistemleri

Bilgisayarların ve diğer cihazların bilgisayar kaynaklarını talep üzerine kullanmasına veya kullanıcılarla paylaşmasına izin veren internet tabanlı bilgi hizmetidir. Bu teknik, bilgisayar dosyalarına internet üzerinden herhangi bir yerden ve herhangi bir bilgisayardan erişilmesini sağlamaktadır (Ulas, 2019).

1.2.8. Entegre Sistemler

Endüstri 4.0 paradigmasını oluşturan üç entegrasyon boyutu vardır (Pelletier ve Cloutier, 2019).

1. Yatay entegrasyon
2. Dikey entegrasyon
3. Uçtan uca entegrasyon (tüm ürün yaşam döngüsünü içerir).

Özellikle standartlaştırılmış süreçler boyunca iletişim ve işbirliğinin otomasyonu, iş süreçlerinin hem dikey hem de yatay olarak tamamen entegre edilmesi, dijital bir ekosisteminin oluşturulmasını sağlamaktadır (Büyüközkan ve Göçer, 2018).

Bu entegrasyon boyutları aşağıdaki alt başlıklarda daha detaylı tanıtılmıştır.

1.2.8.1. Yatay Entegrasyon

Yatay entegrasyon, fabrika içindeki tüm makine, ekipman ve sistemlerin birbirine bağlı olmasıdır. Nesnelerin İnterneti, siber-fiziksel ağlar ve bulut sistemleri, tüm sistemin entegre edilmesini, anlık olarak izlenmesini ve sürekli iyileştirme için uyarlanmasını mümkün kılar (Oğuz ve Perçin, 2022). Bu nedenle yatay entegrasyon, üretim ve otomasyon sistemlerinde farklı hiyerarşik seviyelerdeki bilgi teknolojilerinin entegrasyonu olarak anlaşılabilir (Chukalov, 2017).

Yatay entegrasyon aynı zamanda şirketlerin dışarıdan işbirliği yaptığı tüm ekosistemi kapsamaktadır. Bunlar tedarikçiler, yan sanayiler, sigortacılar, lojistik şirketleri ve müşteriler gibi oyuncularını kapsamaktadır. Yatay entegrasyonda bulut bilişim ve siber-fiziksel sistemlerin kullanılması, şirketlerin aralarında bilgi paylaşmasına, değer ağları oluşturmaya ve işbirliğine olanak sağlamaktadır (Oğuz ve Perçin, 2022).

1.2.8.2. Dikey Entegrasyon

Dikey entegrasyon kavramı, işletmelerdeki operasyonel teknoloji (OT) ve bilgi teknolojilerini (IT) birleştirmeyi ve ayrıca süreçleri ve diğer sistemleri farklı departmanlar ve iş birimleri arasında entegre etmeyi içerir. Doğru yapıldığında, fabrika sahasını ve süreçlerini, tüm yazılımları ve daha fazlası dahil olmak üzere işletmenin tüm yönlerini kapsar (McLaughlin, 2024).

1.2.8.3. Uçtan Uca Entegrasyon

Dijital mühendislik entegrasyonu olarak bilinen uçtan uca entegrasyon, ürün yaşam döngüsünü ifade eder. Bu süreç müşteri talebinin belirlenmesiyle başlar ve ürün tasarımı, üretim planlaması, hizmetler ve müşteri geri dönüşümü dahil olmak üzere tüm faaliyetlerin entegrasyonunu içermektedir.

Endüstri 4.0, tüm değer zinciri boyunca optimizasyonun elde edilmesiyle ilgilidir. Bu entegrasyon şekli tedarik zincirinin tümünü kontrol etmeyi kolaylaştırmıştır. Son tüketiciye ulaştırılan ürün kişiselleştirilmiş, uygun maliyetli ve takip edilip değerlendirilmesi kolaylaştırılmıştır (Oğuz ve Perçin, 2022).

1.2.9. Siber Güvenlik

Elde edilen verilerin güvenlik ve gizliliğini sağlamak son derece önemlidir. Garanti edilmediği takdirde, tüm Endüstri 4.0 bağlamları işlevini yitirecektir. Siber güvenlik, sistemin yetkisiz kullanımını önlemek ve ağın ve içindeki tüm donanımın genel güvenliğini sağlamakla görevlidir (Oğuz ve Perçin, 2022).

1.2.10. Akıllı Fabrikalar

Park'a (2016) göre akıllı fabrika, üretim ekipmanı hakkındaki tüm bilgileri internet aracılığıyla gerçek zamanlı olarak toplayan hiper bağlantılı ve entegre bir üretim sistemidir. Bir üretim yöntemini, hammaddeleri değiştirme ve nihayetinde optimize edilmiş dinamik bir üretim sistemi sunma yeteneğine sahiptir.

Wang, Wan, Zhang ve meslektaşlarına (2016) göre akıllı fabrika, üretim için bir CPS olarak kabul edilmektedir. Chen ve diğerleri (2017) akıllı fabrikayı, endüstrinin

taleplerini karşılamak için imalat ve hizmet sektörlerindeki iletişim, veri işleme ve kontrol süreçlerini birleştiren bir üretim sistemi olarak tanımlamaktadır.

1.2.11. Yapay Zeka

Yapay Zeka (YZ), problemleri çözmek için yazılımlardan faydalanmaktadır. YZ kendi kendine öğrenme, kavrama ve değerlendirme yeteneğine sahiptir. Böylece yapay zekâya sahip robotlar, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan üretim gerçekleştirirler. Bu yazılım sistemleri akıllı olup, görevleri yerine getirebilir ve sürekli olarak öğrenir ve gelişir (UİB, 2017).

Muazzam işlem kapasitesine sahip bir süper bilgisayar olan YZ, insanlarla etkileşimini geliştiren sensörlerin ve diğer yeteneklerin dahil edilmesi yoluyla insana benzeyen bilişsel ve işlevsel becerilere sahip olmasına yardımcı olan uyarlanabilir davranışlara sahiptir (Chen vd., 2020).

Bu bölümde dijitalleşmenin bileşenleri kısaca özetlendikten sonra bir sonraki başlıkta dijitalleşmenin amacı, dijitalleşme sürecinin faydaları ve zorluklarına yer verilmiştir.

1.3. Dijitalleşmenin Faydaları ve Zorlukları

Kaliteli üretim ve sürdürülebilirlik için çabalayan tüm şirketler artık hayatta kalmanın ve sürdürülebilirliğin en önemli ve temel bileşeni olarak dijital dönüşüme odaklanmaktadır (Feroz vd., 2021). Dijitalleşmenin amacı, ürünlerin değer zincirlerini tüm yaşam döngüleri boyunca organize etmek ve yönetmektir (Markus ve Meuche, 2022). Dijital dönüşüme adapte olabilen, bunu bir iş stratejisi olarak benimseyen ve dönüştürücü teknolojilerden yararlanabilen şirketler hayatta kalıp rekabet edebilecektir. Bu dönüşüme uyum sağlayamayan şirketlerse yavaş yavaş yok olup dijital Darwinizmin kurbanı olacaklardır (Khoshroo ve Talari, 2023).

1.3.1. Dijitalleşme Sürecinin Faydaları

Dijitalleşmenin etkilediği en kritik sahalardan bir tanesi de hiç şüphesiz üretimin süreçleri olmaktadır. Dijitalleşme, ortaya çıkan dijital teknolojilere dayalı olarak

ürünlerin, hizmetlerin, süreçlerin ve insanların entegrasyonu yoluyla yeni iş modelleri geliştirmeye yönelik bir yaklaşımı temsil etmektedir (Scheer, 2019; Maurer vd., 2014).

Yeni teknolojilerin süreçlere entegre edilmesi özellikle Oslo kılavuzuna (2005) ve Henard ve Szymanski (2001) göre süreç yeniliği veya inovasyonu yaratıp bir kuruluşun rekabetçi kalmasını ve müşteri taleplerinin karşılanmasını sağlar. Bu nedenle şirketin rekabetçi bir strateji oluşturmaya fayda sağlayıp üst düzey yönetimin desteği ile yüksek düzeyde kültürel ve yapısal değişimleri de gerektirir.

Sadece dijital verilerin analizi ve görselleştirilmesi temelinde, standart veya beklenen süreç akışından herhangi bir sapmayı hemen fark etmek mümkündür (Klimecka-Tatar ve Ingaldi, 2022). Bu bakımda dijital teknolojilere yatırım yaparak şirketlerin gelişimi kolaylaştırılabilir. Şirketlerin kârlılığı, yatırımların büyümesi ve maliyet azaltma üzerindeki etkisiyle artar. Dijitalleşme ayrıca, tüketicilere yeni bir değer önerisi sunma potansiyeline sahiptir. Dijitalleşme ile yeni üretim ve iş süreçleri, pazarlama teknikleri ve dağıtım kanalları oluşturularak müşteri odaklı iyileştirmeler yoluyla satış büyümesi kolaylaşır. Daha yüksek müşteri memnuniyeti ve sadakati, bu iyileştirme ve geliştirmelerin doğrudan sonucudur. Şirketler bu adımları uygulayarak daha kârlı bir değer zinciri oluşturulabilirler. Dijital teknolojiler sadece geliri artırmakla kalmaz, tedarik zinciri ile şirketin ilgili departmanları arasında bilgi alışverişini de kolaylaştırır (Oğuz ve Perçin, 2022).

Endüstri 4.0'ın olumlu yönleri arasında artan esneklik, daha kısa teslim süreleri, küçük parti boyutları ve özelleştirme yer almaktadır. Endüstri 4.0'ın vaat ettiği faydalar arasında rekabet gücünün, üretkenliğin, gelirin, istihdam olanaklarının en üst düzeye çıkarılması, insan ve bilgi teknolojisi kaynaklarının daha iyi yönetilmesi, üretim süreçlerinin optimize edilmesi, üstel teknolojilerin geliştirilmesi, daha iyi müşteri hizmetleri ve daha yüksek memnuniyet yer almaktadır (Gilchrist, 2016: 205-206).

Özellikle atölyede makinelerin durumları tahmin edilerek, makine duruş süreleri azaltılabilir. Tahmini faaliyet bilgileri yardımıyla üretim yönetimini, bakım planlamasını ve makine güvenliği optimize edebilir (Llopis-Albert vd., 2021).

Dijitalleşme, yukarıda verilmiş tüm bu bilgilere ek olarak aşağıda belirtilmiş faydaları da sağlamaktadır (Markus ve Meuche, 2022; Thales, 2024; Schwab, 2016: 62):

Daha fazla müşteri memnuniyeti: Dijitalleşme bağlamında, müşteriye anlama becerisi başarı için temel bir yapı taşıdır. Müşteriler, bireysel ihtiyaçlarına göre uyarlanmış kişiselleştirilmiş ürünler ister. Başarılı şirketler, dijital süreçlerini müşterilerinin istekleriyle uyumlu hale getirmeleri gerektiğini de bilirler.

Veri tabanlı bilgi yönetimi: Geleceğin şirketleri, karlı faaliyetlerini sürdürebilmek için veriyi toplayıp, analiz edip, çıktıları eyleme dönüştürülebilir olmalıdırlar. Güçlü veri yakalama, merkezi veri depolama ve verileri analiz edip bilinçli iş kararlarını destekleyen bilgilere dönüştürme becerisi, dijital dönüşüm tarafından sağlanmaktadır.

Yazılımla para kazanma: Microsoft CEO'su Satya Nadella'ya göre şirketler birer yazılım şirkettir. Doğru yazılım yapısı ile dijital dönüşümü ileriye taşıyacak dijital bir çerçeve oluşturulur.

Daha fazla işbirliği ve daha iyi iletişim: Şirketlerin iç iletişim kabiliyeti dijitalleştirildiğinde üretkenlik, sorumluluk ve yaratıcılık artar ve rakiplere karşı gerekli rekabet avantajları elde edilir.

Daha fazla çeviklik: Dijital dönüşüm, şirketlerin sorunlarını önceden görmelerini, önleyici çözümler geliştirmelerini ve böylece uzun yıllar boyunca ayakta kalmalarını sağlar.

Manuel işlemleri azaltmak: Dijitalleşmenin yadsınamaz bir avantajı, zaman alan manuel veri girişinden kaynaklanan insan hatalarının ortadan kaldırılmasıdır. Gereksiz ve kafa karıştırıcı manuel süreçleri azaltarak şirketler maliyetlerini düşürebilir ve zamandan tasarruf ederek daha verimli iş ve operasyonlar sağlayabilirler.

Çalışanların en iyi performanslarını gösterebilecekleri bir ortam: Çalışanların yetkinliğini artırmak için şirketler eğitim fırsatlarına daha fazla yatırım yapmalı ve çalışanlarına profesyonel eğitimler yoluyla dijital okuryazarlık kazandırmalıdır.

Inovatif düşüncelere yer vermek: Yenilikçi düşüncelere yer vererek eski işlevsel çalışma modellerinin yerini alacak yeni dijital kurumsal değerlerin yaratılmasına yol açılır.

Dijitalleşme, rutin görevleri otomatikleştirerek çalışanların iş memnuniyetini artırabilir. Bu durum, çalışanlara yeni beceriler geliştirmelerine yardımcı olup yeni

edinilen beceriler ve dijitalleşmenin faydaları sayesinde çalışanlara yenilikçi dijitalleşme fikirleri geliştirme fırsatı verilir (Breinich, 2021).

Sonuç olarak, giderek artan sayıda şirket sürdürebilir değerler yaratmak için bir Dijital Dönüşüm Stratejisi (DTS) benimsemiştir çünkü Endüstri 4.0 geleceğin zorluklarının üstesinden gelme potansiyeline sahiptir (Correani vd., 2020).

1.3.2. Dijitalleşme Sürecinin Zorlukları

Dijitalleşmenin faydaları olduğu gibi bazı zorlukları da bulunmaktadır. Dijitalleşme sürecine ait birtakım zorluklar uzmanlar tarafından aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Dahm ve Thode, 2019: 335; Schmidt vd., 2016; Oruç, 2021):

Kuşaklar arası çekinceler: Genç genel müdürlerin ve çalışanların dijitalleşmeye açık olmalarına rağmen, yaşı daha büyük çalışanlar genellikle operasyonların ve süreçlerin dönüşümünü engelleyen çekincelere sahiptir. Uzmanlar, uygulama sırasında farklı nesillere ait çalışanlarının birlikte çalışmasının önemini vurgulamaktadır. Bu sayede Y ve Z kuşakların çalışanları, dijitalleşmeye olan yakınlıklarını uzun süredir hizmet veren çalışanların deneyimleriyle harmanlayabilirler.

Personel kapasiteleri: Dijitalleşme stratejisini hayata geçirmek için belirli projelerin uygulanması personel kapasitesi gerektirmektedir. Küçük ve orta ölçekli şirketler bu kaynakları serbest bırakmakta zorlanmaktadır.

Motivasyon: Operasyonel değişiklikler başlangıçta daha fazla iş anlamına geldiğinden motivasyonu sağlamak için ikna gücü gereklidir. Birçok çalışan, özellikle bağlılıklarına değer verildiğinde ve teşvik edildiğinde, iş basitleştirme ve süreç optimizasyonunu bir teşvik olarak görmektedir.

Çalışan sayısı: Dijitalleşme genellikle çalışan sayısında azalma ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle yaşı daha büyük olan çalışanlar işlerini kaybetmekten korkmaktadır.

Çalışan kalitesi: Çalışanların kendisini dijital anlamda mümkün olduğunca geliştirmelidirler. Bunun için dijital okuryazarlık düzeyini artıracak eğitim reformları hızla düzenlenmelidir.

Gelecekteki dijital büyüme: Dijital dönüşüme yatırım yapmadan bir şirket ilerlemeye ayak uyduramaz. Şirketler dijitalleşme araçlarına yatırım yaparak dijital

dönüşümden faydalanabilir ve uzun yıllar boyunca daha güçlü ve daha kârlı hale gelebilirler.

Güvenlik: Endüstri 4.0'ın zorlukları arasında veri güvenliğini sağlamak büyük bir çaba gerektirir. Verileri koruyamama ve merkezi olmayan üretim sistemlerinin kolay manipülasyonu belki de Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamanın en zor yönüdür.

Bu bölümde dijitalleşme sürecinin faydaları ve zorluklarına yer verildikten sonra bir sonraki başlıkta dünyadaki dijitalleşme gelişmeleri ve özellikle Türkiye'nin dijitalleşme sürecindeki konumu, gelişimi ve dijital yol haritası tanıtılacaktır.

1.4. Dünyada Dijitalleşme

Dijitalleşme küreselleşmenin itici gücüdür. Entegre değer zincirleri, Endüstri 4.0, dijital ticaret, sosyal ağlar ve platformlar dünyayı birbirine daha da yakınlaştırmaktadır. Dolayısıyla dijitalleşme, küresel ekonomide güçlü, sürdürülebilir, dengeli ve kapsayıcı bir büyüme için önemli bir unsurdur. Dijitalleşmenin tüm insanlar için sunduğu fırsatlardan mümkün olan en iyi şekilde faydalanabilmek için ortak bir uluslararası eylem çerçevesine ihtiyaç vardır (IMD, 2024).

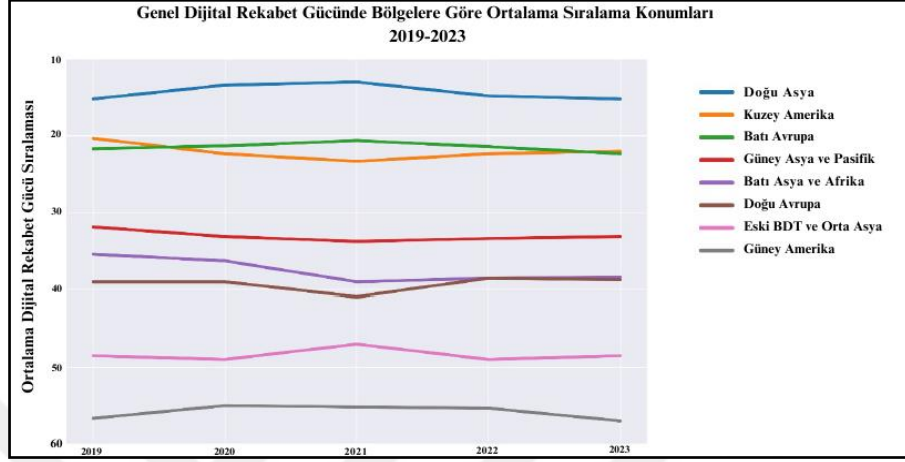
Uluslararası Yönetim Geliştirme Enstitüsü (IMD, International Institute for Management Development), Dünya Rekabet Gücü Yıllığı'nda (WCY, World Competitiveness Yearbook) Dünya Dijital Rekabet Gücü Sıralaması'nda yer alan 64 ekonomi için 2023 genel sıralamasını sunmaktadır. Sıralama, değerlendirilen 54 kriter temelinde hesaplanmıştır. Ülkeler, dijital rekabet gücü en yüksekte en düşüğe doğru sıralanmaktadır. Son sütun bir önceki yıla kıyasla iyileşme veya kötüleşmeyi göstermektedir. Her ülke için endeks değeri veya puanı da verilmektedir (IMD, 2024).

Ekonomilerin dijitalleşme seviyesini ölçmek için üç dijital rekabet gücü faktörü ve bunların alt faktörleri kullanılmaktadır (IMD, 2024):

1. *Bilgi faktörü*, yeni teknolojilerin keşfedilmesini, anlaşılması ve öğrenilmesini ifade eder. Bir ülkede mevcut olan beşeri sermayenin kalitesinin yanı sıra eğitim ve araştırmaya yapılan yatırım düzeyini ve bunların sonuçlarını ölçen göstergeler tarafından yakalanmaktadır.

2. *Teknoloji faktörü*, dijital teknolojilerin gelişmesini sağlayan altyapıyı değerlendirir.

3. *Geleceğe hazırlık faktörü*, teknolojinin hükümetler, toplum ve şirketlerde ne kadar kabul gördüğünü analiz eder.



Şekil 8: 2019-2023, Genel Dijital Rekabetçilikte Bölgelerin Ortalama Sıralaması (IMD, 2024)

Ekonomilerin dijital rekabet düzeyi, birkaç istisna dışında, 2023 yılında büyük ölçüde değişmemiştir. Şekil 8, 2019-2023 yılları arasında dijital rekabet gücünün genel bölgesel sıralamasındaki eğilimi göstermektedir. Geçtiğimiz yıl, Kuzey Amerika, eski Bağımsız Devletler Topluluğu Ülkeleri (BDT), Azerbeycan, Ermenistan, Gürcistan, Beyaz Rusya, Kazakistan, Kırgızistan, Rusya, Moldova, Türkmenistan, Tacikistan, Özbekistan, Ukrayna ve Orta Asya dijitalleşme düzeyleri biraz iyileştirirken, Doğu Asya, Batı Avrupa ve Güney Amerika 2022'ye kıyasla dijital rekabet düzeyinde düşüşler yaşamıştır.

Güney Asya ve Pasifik, Doğu Avrupa, Batı Asya ve Afrika'nın dijital rekabet düzeyleri nispeten sabit kalmıştır.

Kuzey Amerika'da dijital rekabet gücü seviyesi, ABD ve Meksika'daki iyileşmelerin Kanada'nın bir sıra gerilemesini telafi etmesiyle ortalama 23. sıradan 22. sıraya yükselmiştir. Benzer şekilde, Eski BDT ve Orta Asya bölgesinin ortalama dijital rekabet gücü 48. sıraya yükselmiştir (2022'ye kıyasla bir puanlık bir iyileşme gerçekleşmiştir). Doğu Asya, dünyanın dijital açıdan en rekabetçi bölgesi olmaya devam etmektedir.

Bununla birlikte, bölgedeki ekonomilerin Çin, Hong Kong SAR (Special Administrative Region of China yani Çin Özel İdari Bölgesi), Japonya, Güney Kore ve Tayvan ortalama dijital rekabet gücü sıralaması son bir yılda 14'ten 15'e düşerek 2021'de başlayan düşüş eğilimini devam etmiştir. Batı Avrupa da çok benzer bir yol izleyip bölgedeki ortalama dijital rekabet gücü seviyesi son iki yılda 22. sıraya düşmüştür.

Ortalama olarak, Güney Amerika ekonomileri dijitalleşme açısından dünyanın gerisinde kalmaya devam edip 2023 senesinde 57. sıraya düşmüştür. Son olarak, Doğu Avrupa, Güney Asya ve Pasifik, Batı Asya ve Afrika ekonomileri 2022 ve 2023 yılları arasında ortalama dijital rekabet gücü performanslarını sabit tutmaktadır.

2023 yılında Doğu Asya tüm dijital faktörlerde en yüksek skorları elde edip hem teknoloji hem de sürdürülebilirlik alt faktörlerinde Kuzey Amerika ve Batı Avrupa'yı geride bırakmıştır. Batı Avrupa ve Kuzey Amerika teknoloji ve geleceğe hazırlık faktörlerinde benzer performans gösterirken, bilgi faktöründe Doğu Asya ve Kuzey Amerika'nın 2017'den bu yana dijital inovasyon için en önemli bölgeler olmaya devam ettiğini göstermektedir. Güney Asya ve Pasifik, Batı Asya ve Afrika'nın dijital açıdan en rekabetçi bölgelerle aralarındaki farkı hızla kapatmaktadır. Bu iki bölge için teknoloji faktörüne ilişkin ortalama sıralamalar, bu ekonomilerde dijital teknolojilerin benimsenmesi ve yayılmasının hızla ilerlediğini göstermektedir.

Aşağıda, 2022 ve 2023 yılları için 64 ekonomi arasında en güçlü on ekonominin sıralaması gösterilmektedir (IMD, 2024):

2022 REKABETÇİLİK SIRALAMASI				
			Score	
01	Danimarka		100.00	↗ 3
02	Amerika Birleşik Devletleri		99.81	↘ 1
03	İsveç		99.81	-
04	Singapur		99.48	↗ 1
05	İsviçre		98.23	↗ 1
06	Hollanda		97.85	↗ 1
07	Finlandiya		96.60	↗ 4
08	Kore Cumhuriyeti		95.20	↗ 4
09	Hong Kong ÖİB		94.36	↘ 7
10	Kanada		94.15	↗ 3

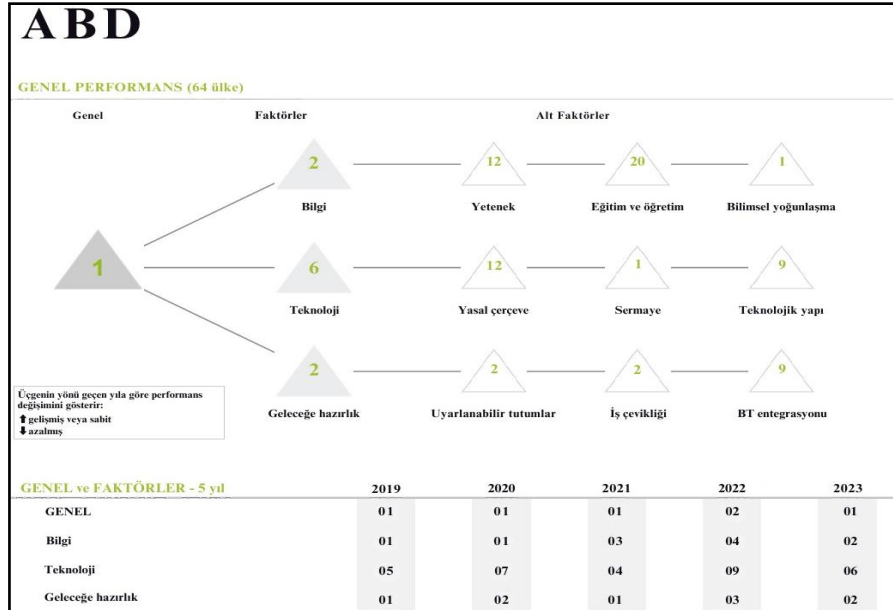
Şekil 9: 2022, Dijital Rekabetçilikte ilk 10 Ekonomi (IMD, 2024)

2023 REKABETÇİLİK SIRALAMASI				
			Score	
01	Amerika Birleşik Devletleri		100.00	↗ 1
02	Hollanda		98.10	↗ 4
03	Singapur		97.40	↗ 1
04	Danimarka		96.93	↘ 3
05	İsviçre		96.24	-
06	Kore Cumhuriyeti		94.80	↗ 2
07	İsveç		94.12	↘ 4
08	Finlandiya		94.05	↘ 1
09	Tayvan, Çin		93.73	↗ 2
10	Hong Kong ÖİB		93.64	↘ 1

Şekil 10: 2023, Dijital Rekabetçilikte ilk 10 Ekonomi (IMD, 2024)

ABD, 2023 senesinde IMD Dünya Dijital Rekabetçilik Sıralamasında yeniden zirveye yerleşmeyi başarmıştır. Hollanda ikinci sıraya (altıncı sıradan) ve Singapur üçüncü sıraya (dördüncü sıradan) yükselmiştir. Danimarka birincilikten dördüncülüğe düşerken, İsviçre beşinci sırada kalmaya devam etmektedir. Kore Cumhuriyeti altıncı sıraya yükselmiştir. Buna karşılık İsveç dört sıra gerileyerek yedinci sıraya, Finlandiya ise bir sıra gerileyerek sekizinci sıraya düşmüştür. Tayvan dokuzuncu sıraya yükselip böylece ilk 10 ekonominin arasına girmeyi başarmıştır. Hong Kong Özel İdari Bölgesi bir sıra gerileyerek sıralamayı tamamlamaktadır.

Bu bilgilere dayanarak, 2023 yılı için Amerika Birleşik Devletleri'ne yönelik rekabet faktörleri ve alt faktörlerinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir:



Şekil 11: 2023, ABD'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024)

Dünya Dijital Rekabetçilik Sıralamasında, ABD, analiz edilen 64 ekonomi arasında birinci sırada yer almaktadır. Faktör düzeyinde ABD, gelecekteki hazırlık veya uygulanabilirlik açısından ikinci, bilgi açısından ikinci ve teknoloji açısından altıncı sırada yer almaktadır. Dijital faktörlerdeki bu güçlü performans sayesinde ülke, sıralamanın birinciliğini geri almayı başarmıştır.

Alt faktörler düzeyinde, ABD bilimsel yoğunlaşma ve sermayede birinci, uyarlanabilir tutumlar ve iş çevikliğinde ise ikinci sırada yer almaktadır. Ancak yetenek alt faktöründe 12. sırada yer alırken, eğitim ve öğretim alt faktöründe ancak 20. sıraya ulaşabilmiştir.

Bu başlık altında dünyada dijitalleşmeye ilişkin en dijital ülkelerin tanıtımından sonra bir sonraki başlıkta Türkiye'nin dijitalleşme sürecindeki konumu ele alınacaktır.

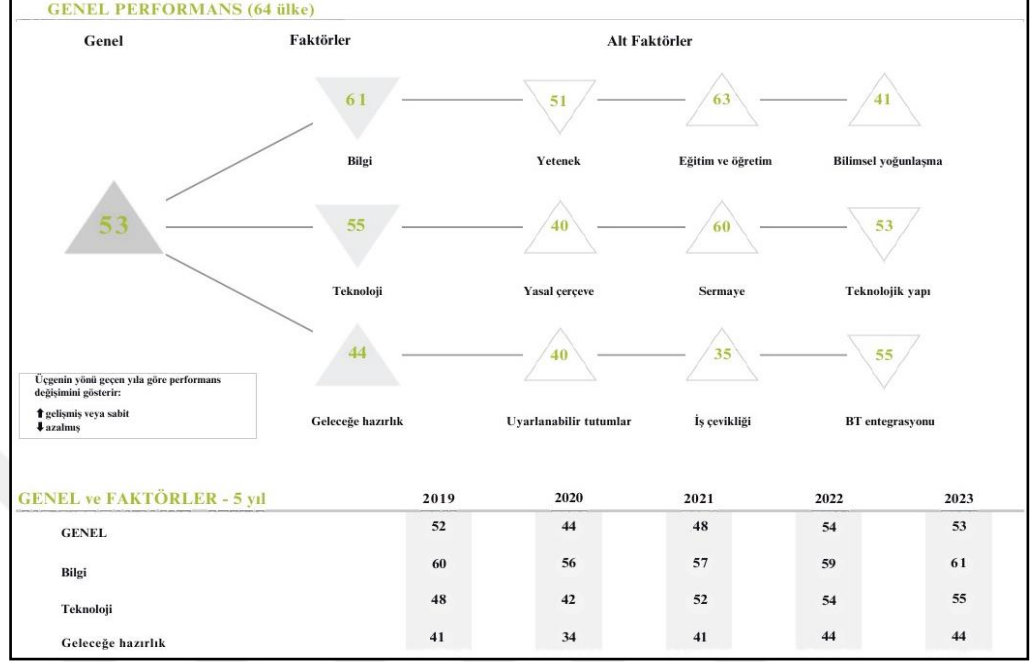
1.4.1. Türkiye'nin Dijitalleşme Sürecindeki Konumu

Bu bölümde, Türkiye'nin dijital performansı ve dijital rekabet gücünün üç faktörü olan bilgi, teknoloji ve geleceğe hazırlığın her biri için gelişmeler sunulmaktadır. Türkiye'nin son yıllardaki dijital performansı ve gelişimi küresel ölçekte diğer ülkelerle karşılaştırmalı olarak da yer almaktadır (IMD, 2024).

49	Hindistan	57.74	↙	5
50	Ürdün	56.88	↗	3
51	Kıbrıs	54.77	↙	6
52	Yunanistan	54.70	↙	2
53	Türkiye	54.27	↗	1
54	Meksika	51.26	↗	1
55	Bulgaristan	50.66	↙	7
56	Peru	50.17	↗	1
57	Brezilya	49.70	↙	5
58	Güney Afrika	48.61	-	-
59	Filipinler	48.31	↙	3
60	Botsvana	47.51	↗	1
61	Arjantin	46.33	↙	2
62	Kolombiya	45.09	↙	2
63	Moğolistan	43.03	↙	1
64	Venezuela	22.55	↙	1

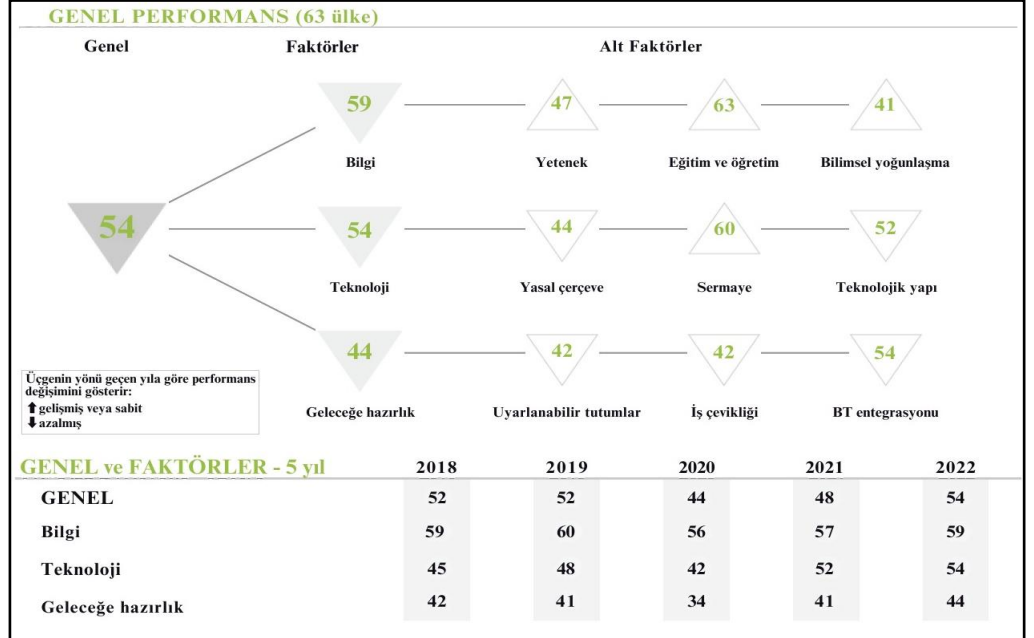
Şekil 12: 2023, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı (IMD, 2024)

Şekil 12'ye göre, Türkiye 2023 yılında dijital sıralamada 64 ekonomi arasında 53. sırada yer almaktadır.



Şekil 13:2023, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet Gücü Performansı(IMD, 2024)

Şekil 13 Türkiye'nin genel dijital rekabet gücü performansını üç boyuta göre detaylıca özetlemektedir.



Şekil 14: 2022, Türkiye'nin Genel Dijital Rekabet gücü Performansı(IMD, 2024)

Şekil 14'te gösterildiği üzere, Türkiye 2022 yılında 63 ekonomi arasında 54. sırada yer almış. Şekil 13 ve Şekil 14' teki bilgiler 2022 ve 2023 yılları için analiz edildiğinde Türkiye'nin dijital konumu bazı faktör ve alt faktörlerde düşüş ve artışlar göstermektedir.

Türkiye 2022'den 2023'e 54. sıradan 53. sıraya yükselmiştir. Ancak 2023 yılında başka bir ülke daha değerlendirmeye dahil edilmiştir. Türkiye bilgi kategorisinde iki puan, teknoloji kategorisinde ise bir puan gerilemiştir. Geleceğe hazırlık kategorisinde 44. sıradaki yeri değişmemiştir.

Bilgi'nin yetenek alt kategorisinde Türkiye dört puanlık bir düşüşle 51. sıraya gerilerken, teknolojinin alt kategorisi olan yasal çerçeve de dört puanlık bir artışla 44. sıradan 40. sıraya yükselmiştir. Geleceğe hazırlık alt kategorisine ait uyarlanabilir tutumlarda ise iki puanlık düşüşle 42. sıradan 40. sıraya gerilemiştir. Bilginin alt kategorisi olan eğitim ve öğretim kategorisinde ve teknolojinin alt kategorisi olan sermaye alt kategorisinde sırasıyla 63. ve 60. sıralarda değişmeden yerini korumaktadır. Türkiye ancak geleceğe hazırlık alt kategorisinde yedi puanlık bir artışla 41. sıradan 35. sıraya yükselmiştir.

Bilimsel yoğunlaşma olarak adlandırılan bilgi alt kategorisi değişmeyerek 41. sırada kalırken, teknolojinin teknolojik çerçeve alt kategorisi ve geleceğe hazırlık IT entegrasyonu alt kategorisi birer puan gerilemiştir.

Bu değerlendirmeye bakacak olursak, sadece yasal çerçeve ve iş çevikliği alt kategorilerindeki keskin artışın Türkiye'nin genel sıralamasının bir puan yükselmesine yol açtığını görebiliriz. Diğer tüm ana ve alt kategorilerde bir ila dört puan arasında düşüşler gerçekleşmiştir.

Türkiye'nin dijitalleşme sürecindeki konumu özetlendikten sonra bu çalışmanın bir sonraki başlığında Türkiye'deki dijitalleşme sürecinin gelişimi daha ayrıntılı olarak sunulmuştur.

1.4.2. Türkiye’de Dijitalleşme Sürecinin Gelişimi

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na göre ülkemiz 2023 hedefleri kapsamında dünyanın en büyük on ekonomisinden biri olmayı hedeflemektedir. TÜBİTAK tarafından yapılan bir araştırmada, Türkiye'deki şirketlerin çok azı akıllı üretim sistemleri hakkında kapsamlı bir anlayışa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Yeni Sanayi Devrimi bağlamında şirketlerin yüzde 59'u genel bilgiye sahipken, yüzde ondokuzunun bilgisi çok düşüktür. Bu konularda en fazla bilgiye sahip olan üç sektör elektronik, yazılım ve malzeme sektörleridir. Aynı zamanda ankete katılan şirketlerin yüzde 50'si önümüzdeki üç ila beş yıl içinde ilgili teknolojileri bünyelerine katacaklarını belirtmişlerdir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).

Türkiye'de endüstriyel devrimlerinin etkileri diğer Avrupa ülkelerine kıyasla çok daha geç ortaya çıkmıştır. TÜBİTAK tarafından 2016 yılında yayınlanan Türkiye'nin Endüstriyel Teknoloji Haritası'na göre, Türkiye endüstrisinin dijital olgunluk seviyesi 2.0 ile 3.0 arasındadır. En yüksek olgunluğa sahip üç sektörün %30'u üretimlerinin bir kısmında endüstriyel robot kullanmaktadır. Bu sektörlerdeki şirketlerin yalnızca çok küçük bir yüzdesi üretimlerinin tamamında endüstriyel robotlar kullanmaktadır. Benzer şekilde, otomasyon sistemleri üretimin %40'ından biraz fazlasında kullanılırken, akıllı otomasyon sistemleri ve siber-fiziksel sistemler üretimin yaklaşık %20'sinde kullanılmaktadır. Bu sistemleri tüm üretimlerinde kullanan şirketlerin oranı çok düşüktür (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).

Türkiye projesi kapsamında 2016 da neredeyse 10.000 firma ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, şirketlerin 4. endüstri devriminin bileşenleri ile ilgili farkındalıkları ortaya çıkarılmıştır. En yüksek farkındalık düzeyi üç boyutlu baskı teknolojilerine (eklemeli üretim) yönelikken büyük veri ve nesnelerin internetine ilişkin farkındalık ise düşük çıkmış büyük veri ve nesnelerin interneti konusunda bir anlayış eksikliği söz konusu olduğu anlaşılmıştır. Endüstri 4.0 henüz hala yeniliğini koruduğu için çok az şirkette uygulanmaktadır. Özellikle Türkiye'de bu konuda daha fazla ve derinlemesine araştırma yapılması gerektiği söylenebilir (Yılmaz ve Arslantaş, 2022). Rekabet avantajı elde etmek için daha fazla devlet, sanayi ve üniversite üçgeni işbirliği yapılmalıdır. Bu üçgenin işbirliği yapması halinde ülkemiz, Endüstri 4.0 gelişmelerine hızlıca uyum sağlayabilecektir (Taş, 2018: 1825-1826).

TBV, TÜBİSAD, TESİD ve Klynveld Peat Marwick Goerdeler (KPMG) Türkiye işbirliğiyle kurulan Dijital Türkiye Platformu (DTP), dijitalleşme eğilimlerini analiz eden ve Türkiye'nin yol haritası ve hedefleri için önerilerde bulunan raporunu Ocak 2021'de yayınlamıştır. Bu konu 1.4.3. “Türkiye'nin Dijital Yol Haritası” başlığı altında ele alınmaktadır. Raporda da belirtildiği üzere, Türkiye'nin dijital dönüşüm konusunda kaybedecek zamanı yoktur. Yeni gerçeklikte başarılı olmak ve pandemi gibi küresel tehditlere karşı koymak için dijitalleşme devlet kurumları, özel sektör ve vatandaşlar için elzemdir (Dijital Türkiye Platformu, 2021).

Öncelikle OSB'ler, teknoloji geliştirme bölgeleri ve yetkinlik ve dijital dönüşüm merkezleri olan model fabrikalarda, teknoloji sağlayıcıları ile kullanıcıları bir araya getirilmelidir (Dijital Türkiye Platformu, 2021).

Sanayi şirketlerinde uçtan uca siber güvenliği sağlamak için gereken asgari güvenlik önlemlerini tanımlayan bir rehber belge aracılığıyla sanayi şirketlerinin siber güvenlik konusundaki farkındalığı ve becerileri artırılmalıdır. Ayrıca imalat sanayinde küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijitalleşme projeleri desteklenmelidir. Öncelikli sektörler için endüstriyel bulut platformlarının oluşturulmasına destek verilmeli. Şirketlere dijital altyapı ve hizmetler sağlayan endüstriyel bulut platformunun kurulmasından öncelikle otomotiv sektörü faydalanmalıdır. Daha sonra bu iş modelinin diğer öncelikli sektörlerle yaygınlaştırılması, edinilen deneyimlere göre belirlenmelidir (Dijital Türkiye Platformu, 2021).

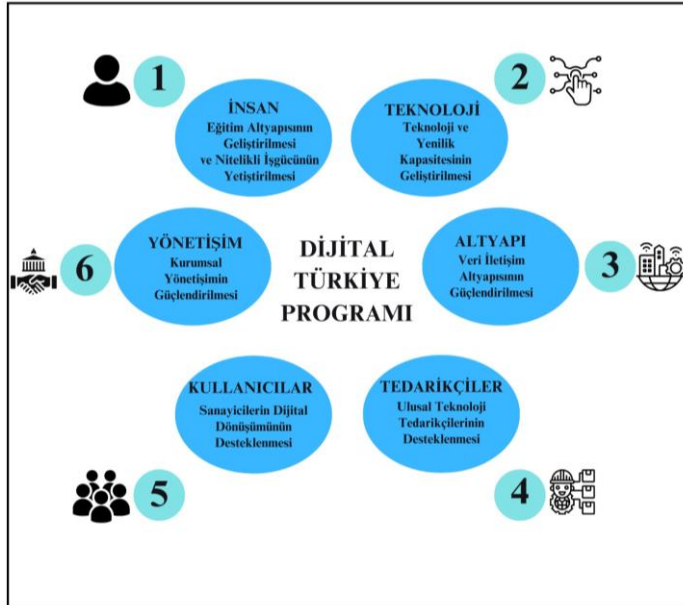
Dijital Türkiye Platformu tarafından açıklanan raporda, Türkiye'nin rekabetçi kalabilmesi için yeni bir zihniyete ihtiyacı olduğu ve şirketlerin dijitalleşmenin en önemli konusu olan veri toplamaya yatırım yapması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışmalar Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Türkiye'deki diğer tüm bakanlıklarla ortaklaşa yürütülüp 2021 yılındaki çalışmalar sonunda Türkiye'nin Dijital Yol Haritası sunulmuştur. Aşağıdaki başlıkta Türkiye'nin dijital yol haritasına ilişkin tüm önemli bilgiler yer almaktadır (Dijital Türkiye Platformu, 2021).

1.4.3. Türkiye'nin Dijital Yol Haritası

İmalat sanayinin, ülkemizin rekabetçi konumunu güçlendirmek ve küresel ihracattaki payını artırmak için yapısal değişikliklere ihtiyacı vardır. Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK), Türkiye'nin içinde bulunduğu durumu göz önünde bulundurarak Şubat 2016'da imalat sanayinde dijital dönüşüm süreci için çalışmalara başlama kararı almıştır. 28 Şubat 2017 tarihinde Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü dahilinde endüstri sanayinin dijital dönüşümü ile ilgilenen ve aynı zamanda platformun çalışmalarını kolaylaştırma ve koordine etme görevini üstlenen Dördüncü Sanayi Devrimi Dairesi kurulmuştur (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).

Platformun çalışma grupları, ülkemizdeki mevcut durumu analiz etmek, dünyadaki gelişmeleri incelemek ve eylem önerileri geliştirmek üzere toplantılar, çalıştaylar ve etkinlikler gerçekleştirerek ilgili raporları hazırlamış ve ayrıca “Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” ilişkin anket çalışmaları çıktılarının da raporları yazılmıştır (TÜBİTAK, 2016).

Türkiye'nin dijitalleşme çerçevesindeki dijital değer zinciri, yapı ve kültür ile ekosistem başlıkları altında önce süreçlerin dijitalleştirilmesi, ardından dijital dönüşümü destekleyen yapı ve kültür boyutları ile bunların başarılı bir şekilde uygulanarak dijital bir ekosistem oluşturulması hedeflenmektedir (T.C. Bilim, San. ve Tek. Bak., 2017):



Şekil 15: Türkiye'nin Dijital Yol Haritası Bileşenleri (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).

Şekil 15’te yer alan dijital Türkiye programı kapsamında Türkiye’nin yol haritasının bileşenleri aşağıdaki şekilde özetlenmiştir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017):

1. İnsan: Üretim şirketleri dijital teknolojiler ve uygulamaları hakkında daha fazla bilgiye sahip olmalıdır. İmalat sektörünün dijitalleşmesi için farklı niteliklere ve becerilere sahip bir işgücü gereklidir.

İlköğretim, mesleki eğitim ve yükseköğretimin tüm seviyelerinde dijital becerilerin geliştirilmesine odaklanan eğitim, ilkokuldan başlamalıdır. İş dünyasında nitelikli işgücünün yetiştirilmesine ve mevcut işgücünün becerilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

2. Teknoloji: Dijital teknolojilerde güçlü araştırma yetkinliklerine sahip bir teknolojik altyapı oluşturmak ve küresel ve ulusal işbirlikleri geliştirmek hedeflenmektedir.

3. Altyapı: Türkiye’de dijital dönüşümün gerçekleştirilmesi adına kuvvetli bir iletişim altyapısı lazımdır. Bunun için yatırımlar yapıp veri güvenliğinin geliştirilmesi gereklidir.

4. Tedarikçiler: Dijital dönüşümün devam etmesi için dijital teknoloji üreten şirketlerin hem niteliğinde hem de niceliğinde artış olması gerekmektedir.

5. Kullanıcılar: Teknoloji kullanıcılarının dijital dönüşüm sürecinin desteklenmesi, imalat sanayinde dijital dönüşümün gerçekleştirilmesi için gereklidir.

6. Yönetişim: Amaç, üretim sanayinin dijital dönüşümünü denetleyen ve koordine eden verimli ve etkili bir yönetim sistemi oluşturmaktır.

Sanayimizin dijital dönüşümü hedeflerine ulaşması yukarıda sıralanan “Dijital Türkiye” programının bileşenleri kapsamında atılacak somut adımlarla gerçekleştirilebilir.

1.5. Şirketlerin Yalın Ve Dijital Olgunluk Değerlendirmeleri

Endüstri 4.0 paradigması, bir fabrikadaki tüm birimleri ve sınıfları etkileyen tamamen dijitalleştirilmiş bir sistemi varsayar. Mevcut bir fabrikanın Endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayabilmesi için dijital dönüşüm, yeniden yapılanma ve yatırım gerektirmektedir. Dönüşümün derecesi fabrikanın gelişmişlik düzeyine bağlıdır.

Fabrikanın mevcut durumu etkin bir şekilde belirlenebilir ve tedarik yolu boyunca küçük iyileştirmeler yapılabilirse, yatırım maliyetleri zamana yayılırken verimlilik artışı yoluyla faydalar elde edilir (Jaskó, 2020).

Bir şirketin yalın ve dijital dönüşüm gelişim durumunu belirlemek için, her şirket kendi ihtiyaçlarına göre literatürden uygun değerlendirme ölçeklerini seçmelidir. Bu çalışmada, şirketle yapılan detaylı ve uzun ön görüşmelerin ardından aşağıdaki yalın ve dijital olgunluk ölçeklerinin kullanılması uygun bulunmuştur:

1) Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ve yalın dönüşüm desteği kapsamında işletmelere uygulanan KOSGEB, İşletme Geliştirme Programı - Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA) işletmenin yalın olgunluk seviyesini ölçmektedir (Kosgeb, 2023).

2. Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilen Dijital Dönüşüm Seviye Analizi, Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A), şirketlerin dijital olgunluk seviyesini ölçmektedir. Ölçek, TÜBİTAK ve TÜSSİDE kapsamında Dijital Dönüşüm Danışmanı Eğitim Programı, DDX Danışmanlık Modeli Teması, Dijital Dönüşüm Olgunluk Değerlendirme ve Yol Haritası Eğitimi kapsamında şirketlerin dijital dönüşüm seviyesini ölçmek için kullanılır (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020; Selcen, 2023).

3. Alman Mühendislik Federasyonu (VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) tarafından geliştirilen “Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check”, şirketlerin dijital dönüşüm olgunluk seviyesini ölçmektedir (Impuls, 2015 a).

4. Doç. Dr. Lütfi Apillioğulları ve meslektaşı Sadi Etkeser tarafından geliştirilen Endüstri 4.0 olgunluk modeli, şirketlerin dijital dönüşüm olgunluk seviyesini ölçmektedir (Etkeser, 2019).

Bu çalışma için seçilen ölçekler şirketlerin yalın ve dijital olgunluk konusundaki yetkinliğini ortaya koymaktır. Ölçeklerin detaylı bilgisi aşağıdaki başlıklarda yer almaktadır.

1.5.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA)

Yalın yönetim, Endüstri 4.0 yanında son yılların en baskın üretim paradigmasıdır. Yalın yönetim, karmaşıklığı azaltarak, akışı kolaylaştırarak, görsel kontrol ve standardizasyon sağlayarak süreç inovasyonunun önemini vurgulamaktadır. Yalın yönetim felsefesine göre, bir ürüne değer katmayan her şey israf olarak kabul edilir. Yalın yönetimin sekiz israf biçimi aşağıdaki gibidir (Lorenz vd., 2019; Lean Project Management Foundation, 2023):

- Hatalı Üretim
- Fazla/ Gereksiz Bekleme
- Fazla Üretim
- Fazla Stok
- Gereksiz Hareket
- Fazla İşlem
- Gereksiz Taşıma
- Çalışanların yetkinliklerinden yeterince/ doğru yararlanmamak

Yalın yönetim felsefesine göre “daha iyisi için değişim” anlamına gelen Japonca “Kaizen” terimi, tüm çalışanların mevcut standartları sürekli olarak sorgulamasını ve üretim sistemini nasıl iyileştirebileceklerini düşünmelerini gerektirir (Jbair vd., 2018; Rodič, 2017).

Literatürde yalın yönetim ve dijitalleşme arasındaki ilişki üzerine bir tartışma vardır. Geleneksel olarak, yalın yönetim literatürü, yalın yönetim ile IT sistemleri gibi modern teknolojiler arasında bir çatışma görmektedir çünkü bu teknolojiler genellikle yüksek düzeyde karmaşıklık içermektedir (Almada-Lobo, 2015). Literatür, aynı zamanda dijitalleşmenin temeli olarak yalın yönetime işaret etmektedir. Yalın yönetim süreçleri şeffaf, sağlam ve standartlaştırılmıştır ve bazı araştırmalara göre bu temel, dijital teknolojilerin başarılı bir şekilde benimsenmesi için çok önemlidir (Mantravadi ve Møller, 2019). Tartışma daha çok süreç ve ürün karmaşıklığını azaltan yalın düşüncenin dijitalleşmenin verimliliğini kolaylaştırdığı yönündedir. Endüstri 4.0'ın dijital teknolojilerinin benimsenmesi, yüksek derecede yalın uygulamaya sahip şirketler arasında daha olasıdır. Kolberg ve Zühlke (2015), bu konu ile ilgili yalın yönetim ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin birlikte uygulanması için kullanım örnekleri belirlemiştir.

Lorenz vd. (2019) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre iki paradigma arasında pozitif bir korelasyon olduğu savunulmaktadır. Bu ilişki, şirketlerin yalın yönetim ve dijital teknolojileri aynı anda uyguladığını göstermektedir. Bu çalışmaya göre dijitalleşme, üretimdeki operatörler için karmaşıklığı yönetme ve azaltma fırsatları sunduğundan yalın yönetimin uygulanmasını destekleyebilir. Ayrıca dijitalleşme, yalın ilkelerin uygulanmasına da yardımcı olur.

Bu bilgilere ek olarak bu iki felsefenin arasındaki etkileşime ilişkin bilimsel literatür azdır. Araştırmalar iki paradigma arasında olumlu bir bağlantı olduğunu öne sürse de, şu anda bu ilişkiyi test edecek yeterince ampirik çalışmalar bulunmamaktadır (Tortorella ve Fettermann, 2018).

Özetle, dijitalleşme ile güncel, yüksek kaliteli verilerin bulunması şeffaflığı artırır ve israfın tespit edilmesini kolaylaştırır ve yalın yönetim faaliyetlerini destekler. Dijitalleşme ile ürün özelleştirmesini veya son dakika sipariş değişikliklerini yerine getirebilme kabiliyeti, müşteri gereksinimlerine hızlıca cevap verebilir (Knoll, 2019; Davenport ve Spanyi, 2019).

Benzer şekilde, yalın yönetim de dijitalleşmeyi destekleyebilir. Yalın süreçler kullanılarak, dijital projeler için veri toplama yalın ilkelerle basitleştirilebilir ve bu da dijital çözümleri entegre etmek için gereken sürenin kısaltılmasına yardımcı olur (Mayr vd., 2018).

Yalın yönetim konsepti, müşteri faydasına ve israfın önlenmesine sürekli odaklanılmasını sağlayarak bu hedefleri destekleyen teknolojilerin belirlenmesini kolaylaştırır. Bu bilgilere bakıldığında başarılı bir dijitalleşme için temel olarak yalın yönetime ihtiyaç olduğu söylenebilir. Sonuçlar, müşteri odaklılık ve israfın ortadan kaldırılmasına yönelik yalın ilkelerin verimli üretimin temeli olmaya devam ederken, yalın düşünce ve dijital teknolojilerin birleşiminin, yalın veya dijital teknolojilerin tek başına uygulanmasından daha iyi performans sağladığını göstermektedir (Tortorella ve Fettermann, 2018).

Bu bilgilere ek olarak bir şirket dikey ve yatay iş süreçlerinde birçok iş sürecine sahiptir. Bu süreçlerin ürettiği verileri değere dönüştürmek için genellikle sipariş, planlama, talep tahmini gibi iş süreçlerine dijital teknoloji bileşenleri eklemeyen önce iş süreçlerinin yeniden yapılandırılması (BPR, Business Process Reengineering) gerekir.

Bu süreçler teknoloji yoğun hale geldiğinde süreç inovasyonu sağlanabilir. Sonuç olarak yalın ve şeffaf organizasyon yapılarının iş süreçlerine eklenen teknoloji ve yazılımlar gerekli verimliliği sağlamaya ve değer üretmeye başlar. Süreçlerden elde edilen doğru veriler yardımıyla şirketler çevik bir karar destek mekanizması oluşturacak ve değişimlere hızla uyum sağlama becerisini geliştirecektir. Yalın ve şeffaf olmayan iş süreçlerine teknolojik bileşenlerin eklenmesinin süreçlerden beklenen verimliliği sağlamayacağı ortadadır. Dijital dönüşüm faaliyetleri, yalın ve şeffaf süreçler üzerinde dijital kurumsallaşmayı destekleyen yetkin bir işgücü ile birlikte beklenen faydayı sağlamaktadır. Tüm bu dijital dönüşüm faaliyetlerinin stratejisi şirketin genel kurumsal stratejisi ile uyumlu hale getirildiğinde, şirket genel kurumsal hedeflerine hızlı bir şekilde ulaşabilecektir (Soyuer, 2024).

Bu bilgilere göre yalın yönetim ve dijitalleşme çelişkili değil birbirini tamamlayıcıdır. Dijitalleşme, yalın yönetimi destekleyebildiği gibi yalın yönetim de dijitalleşmeyi destekleyebilir. Bu bilgiler ışığında, şirketlerin dijitalleşme faaliyetlerinde ne derece yalın oldukları da ölçülmelidir (Krijnen, 2007).

KOSGEB İşletme Geliştirme Programı - Yalın Dönüşüm Desteği kapsamında işletmelere uygulanmak üzere T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA) şirketin yalın olgunluğunu ölçmektedir. YODA, işletmelerin yalın uygulamalar açısından mevcut durumlarının tespitine katkı sağlamayı amaçlayıp işletmelerin sorun ve ihtiyaçlarını tespit etmeyi, onlara yol haritaları oluşturmayı ve bu yol haritaları doğrultusunda beceri ve kabiliyetlerini artırmayı hedeflemektedir. YODA ölçeği altı farklı boyutu toplam 31 soru ile ölçmektedir. Üst yönetim farkındalığı, standardizasyon, değer akışı, üretim akışı, çekme sistemi ve sürekli iyileştirme boyutlarına dair sorular EK 1’de yer almaktadır. YODA sonuçlarına göre şirketin yalın olgunluk seviyesi 50'nin altında çıkarsa, hizmet sağlayıcı model fabrikalardan eğitim ve danışmanlık için konular önerir. Puan 50'nin üzerinde çıkarsa, şirket Model Fabrika Öğrenme Geri Dönüş Programı hizmetinden doğrudan yararlanır (Kosgeb, 2023).

Yalın olgunluk seviyesi ölçüldükten sonra, şirketlerin dijital dönüşüm olgunluk seviyesi, ihtiyaçlarına göre seçilen ölçekler kullanılarak değerlendirilmelidir.

1.5.2. D3A Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı

Başarılı bir dijital dönüşüm için şirketlerin dijital bir yol haritası oluşturması ve süreci etkin bir şekilde yönetmesi gerekir. Dijital olgunluk modeli, şirketlerin mevcut dijital durumlarını değerlendirmelerine ve hedefleriyle uyumlu yol haritaları oluşturmalarına olanak tanıdığı için kritik bir başarı faktörüdür. Akademisyenler ve danışmanlar tarafından önerilen olgunluk modellerine ilişkin kapsamlı ve sistematik bir literatür taraması bulmak oldukça zordur. Buna ek olarak, mevcut modeller kuruluş odaklı değil sektör odaklıdır ve dönüşüm yolculuğuna bütünsel olarak bakmamakta, daha çok model boyutlarına odaklanmaktadır (Aras ve Büyüközkan, 2023).

Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilen ve aynı zamanda TÜBİTAK VE TÜSSİDE'nin dijital dönüşüm çalışmalarında da kullanılan dijital dönüşüm seviye analizi, "Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı" (D3A) şirketlerin dijital dönüşüm olgunluk seviyesini farklı boyutlarda ölçmektedir. Bu amaçla Kurumsal Yönetim (12 soru), Müşteri Yönetimi (10 soru), Ürün ve Ar-Ge Yönetimi (11 soru), Satın Alma Yönetimi (15 soru) ve Üretim Yönetimi (15 soru) boyutları için toplam 63 soruluk bir ölçek oluşturulmuştur. Bu ölçeğe ait sorular çalışmanın üçüncü bölümünde detaylı olarak cevaplandırılmıştır.

1.5.3. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check

Dijital dönüşüm olgunluk seviyesinin 2.1.2 kapsamında analiz edilmesine yönelik ölçeğe ek olarak, Industry 4.0 Readiness Self-Check, şirketlerin dijital olgunluk seviyesinin ölçülmesine yönelik yaygın bir analiz yöntemidir.

IMPULS ve VDMA (2015) tarafından geliştirilen makine, model ve tesis mühendisliği sektöründe faaliyet gösteren şirketlere yöneliktir. Bu şirketler, üretimden mamul taşıma, otomasyondan tekstil makineleri imalatına kadar birçok sektörü kapsamaktadır (Etkeser, 2019). Literatürde Endüstri 4.0 olgunluk modelleri ile ilgili yapılan çalışmalar analiz edildiğinde IMPULS modelinin çok kullanıldığı görülmektedir (Baki ve Serdar, 2020: 782). Bu amaçla geliştirilen bu ölçek, şirketlere altı boyutta kendi Endüstri 4.0 hazırlıklarını kontrol etme fırsatı sunmaktadır ve toplam 37 soru içermektedir (Impuls, 2015 b).

Her seviyeye 0 ila 5 arasında tanımlanmış bir puan verilmiştir. Seviye 0, henüz Endüstri 4.0 tedbirlerini planlamamış veya uygulamamış ya da sadece sınırlı ölçüde uygulamış şirketler tarafından seçilirken seviye 5, mükemmelliğe ulaşmış, yani tüm Endüstri 4.0 faaliyetlerini başarıyla uygulamış şirketler tarafından seçilmelidir (Impuls, 2015 a).

Sonuçlara göre şirketler “yeni gelenler”, “öğrenenler” veya “liderler” olarak kategorize edilir (Impuls, 2015 b).

1.5.4. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli, şirketlerin dijital dönüşüm olgunluğunu ölçmek için tasarlanmış bir ölçek olup 9 boyut ve 33 sorudan oluşmakta, tüm sorular Ek 2’de, ölçeğin seviyeleri ise Ek 3’te yer almaktadır.

Şirketler bu ölçeği kullanarak Endüstri 4.0’a geçişte nerede olduklarını görebilir ve zayıf yönlerinde ilerleme kaydetmeleri için kendilerine uygun bir dijital yol haritası belirleyebilirler (Etkeser, 2019). Ölçeğin boyutları ve olgunluk noktaları Ek 4’te yer almaktadır.

Bu ölçeği oluşturmak için Saaty (1978) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) tekniği kullanılmıştır. AHP yöntemi, karmaşık senaryoları yönetebilmek adına ikili karşılaştırma yöntemini kullanır. İkili karşılaştırma yöntemi, Saaty’nin bireysel unsurların birbirlerine göre önem derecesini ölçen karşılaştırma ölçeğine dayanmaktadır. Bu şekilde maddelerin ölçeğin 9 farklı boyutu içindeki ağırlıkları ve boyutların birbirleri arasındaki ağırlıkları hesaplanmış, AHP uygulanmış ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Boyut ve Öğe Ağırlıkları Ek 5’te gösterilmektedir.

Her bir boyutun unsurlarının ağırlıkları belirlendikten sonra, şirketler tarafından unsurlar için verilen puanlar ve bunların toplamaları, her bir boyut için Endüstri 4.0 olgunluk endeksleri ile sonuçlanır. Her bir unsurun puanı S_{ij} , boyutun puanı ise MD_i olarak ifade edilir. Kullanılan kısaltmalara göre i ait olduğu boyutu, j ise boyuttaki unsuru ifade etmektedir. MD_i denklemi buna göre aşağıdaki gibi hesaplanır (Etkeser, 2019).

$$M_{Di} = \sum_{j=1}^n (W_{ij} * S_{ij}), \quad (n, \text{boyuta ait toplam öge sayısıdır})$$

Şekil 16: MDi Denklemi (Etkeser, 2019)

Bir şirketin her bir boyuttaki toplam puanlarının toplamı, Endüstri 4.0 endeksini veya seviyesini verir. Buna göre MT denklemi aşağıdaki gibidir:

$$D_i = \sum_{j=1}^n (t_{ij} * S_{ij}), \quad (n, \text{boyuta ait toplam öge sayısıdır})$$

$$M_T = \sum_{i=1}^9 (D_i)$$

Şekil 17: MT Denklemi (Etkeser, 2019)

Endüstri 4.0 endeksindeki her bir boyut farklı bir ağırlığa sahip olduğundan, boyutların toplam puana katkısı D_i olarak verilmiştir. Her bir unsurun toplam ağırlığı, t_{ij} , boyutun ağırlığı ile unsurun kendi ağırlığının çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Etkeser, 2019).

Ölçeğin olgunluk seviyeleri belirlenirken literatür yardımıyla 5 seviye tanımlanmıştır. Bu seviyelerin ayrıntılı bir açıklaması Ek 3'te verilmiştir. Aşağıdaki tablo 3, her seviyenin alt ve üst limitlerini gösterir (Etkeser, 2019):

Olgunluk Seviyesi	Alt Limit	Üst Limit
Seviye 0	0	0,79
Seviye 1	0,80	1,59
Seviye 2	1,60	2,39
Seviye 3	2,40	3,19
Seviye 4	3,20	4,00

Tablo 1: Seviyelerin Limitleri (Etkeser, 2019)

Bu bölümde, şirketlerin yalın ve dijital dönüşüm olgunluk seviyelerini ölçmek için uygun ölçekler tanıtılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde şirketlerin dijitalleşme

faaliyetleri için uluslararası bir standardı temsil eden ISA-95 standardı genişletilmiş versiyonu ve bileşenleri tanıtılmaktadır.



İKİNCİ BÖLÜM

GENİŞLETİLMİŞ ISA-95 MODELİ

2.1. ISA-95 Standardı

Günümüzde şirketler fark yaratmak, rekabet avantajı elde etmek, maliyetleri en aza indirmek ve kârı en üst düzeye çıkarmak için bilgiye erişmek zorundadır. Bu bilginin kurum içinde zamanında ve uygun bir şekilde dağıtılması ve değere dönüştürülmesi için süreçlerin dijitalleştirilmesi akıllı fabrika kavramını yaratmaktadır. Teknolojideki ilerlemeler, bilgiye erişim, bilgi üretimi ve değişimi, yeni teknolojilere uyum, şirket verimliliği ve rekabet avantajı açısından hem şirketler hem de çalışanlar için önemli avantajlar sağlamaktadır. Yenilikler ve teknolojik gelişmeler nedeniyle şirketler ve çalışanlar önemli değişimler geçirmektedir. Bu da değişime uyum sağlama konusunu gündeme getirir. Şirketler rekabetçi kalabilmek ve avantaj elde edebilmek için teknolojik değişime uyum sağlamalı ve dijitalleşme sürecini doğru yönetmelidir (Üzmez ve Büyükbeşe, 2021).

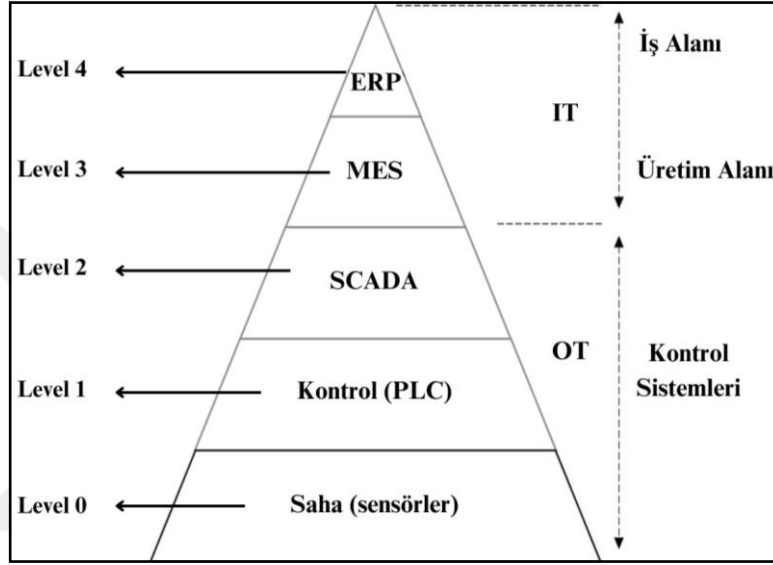
Bilginin bu kadar önemli olduğu günümüz dünyasında bilginin üretim, tüketim, satış ve pazarlama gibi her alanda kullanılması bilgi yönetimini vazgeçilmez hale getirmiştir. Bilgi yönetimi sistemlerinin şirketlerde kullanılması, birçok yeni teknolojinin, uygulamanın, yeni iş tanımlarının, yatırım kararlarının, çalışan eğitimlerinin, nitelikli işgücünün ve kurum kültürünün değişiminin hayata geçirilmesini gerektirmektedir (Üzmez ve Büyükbeşe, 2021).

Geleneksel üretim paradigmaları artık modern pazar taleplerini karşılayamamaktadır. Modern toplumsal koşulların artan öngörülemezliği ile başa çıkabilmek için üretim teknolojilerinin evrim geçirmesi gerekmektedir. Çoğu kuruluş tarafından kullanılan geleneksel bilgi sistemleri, üretim sisteminin yeniden yapılandırmasını destekleyecek kadar esnek ve çevik değildir (Türkmen, 2022).

İmalat sanayinde farklı yazılım sistemleri kullanıldığından, bunların entegrasyonu zorlayan bir görev haline gelmiştir (Chen ve Voigt, 2020).

ISA-95, kurumsal ve kontrol sistemlerinin entegrasyonu için modeller ve terminoloji içeren uluslararası bir standarttır. Resmi adı ANSI/ ISA-95 Enterprise-Control System Integration olup, uluslararası alanda IEC/ ISO 62264 olarak da bilinmektedir (Barber, 2023).

2000 ve 2013 yılları arasında, endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemleri için standartlar tanımlayan kar amacı gütmeyen bir kuruluş olan International Society for Automation (ISA) Türkçe açılımı Uluslararası Otomasyon Derneği'dir. ISA kurumsal kontrol sistemlerinin entegrasyonu için ISA-95 standardının beş bölümünü yayınlamış (ISA, 2000, 2001, 2012, 2013a, 2013b) ve ISA 95 standardı için dört temel kontrol seviyesi tanımlanmıştır (Barber, 2023).



Şekil 18: ISA-95 Standardı, Apilioğulları (2022a)'dan uyarlanmıştır

ISA-95, iş ve kontrol sistemleri arasındaki ilişkiyi hiyerarşik olarak tanımlayan bir standarttır. Modelin amacı, iş ve üretim süreçlerini entegre etmek için tutarlı bir çerçeve oluşturmak ve üretimdeki iş ve kontrol sistemleri arasında kesintisiz bilgi alışverişini kolaylaştırmaktır (Barber, 2023).

Bu nedenle bu standart, bir yandan işletme ve ERP arasındaki faaliyetleri, diğer yandan da MES (Manufacturing Execution Systems), Türkçesi ÜYS (Üretim Yönetim Sistemleri) ve MOM (Manufacturing Operations Management), Türkçesi ÜOY (Üretim Operasyonları Yönetimi) arasındaki faaliyetleri tanımlamayı ve entegre etmeyi amaçlamaktadır. Standart ayrıca aşağıda gösterildiği gibi sensörlerin ve fiziksel süreçlerin ayrıntılı seviyesini de kapsamaktadır (Siemens, 2024; Rossit vd., 2019).

Level 0: Üretim katındaki sensörlerle ilişkili gerçek fiziksel süreçleri tanımlar.

Level 1: PLC (Programmable Logic Controller), Türkçesi Programlanabilir Mantıksal Denetleyici kontrol sistemleri aracılığıyla fiziksel süreçlerin algılanması ve yönetilmesi ile ilgili faaliyetleri tanımlar.

Level 2: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Türkçe açılımı Merkezi Kontrol ve Veri Toplama aracıdır. Bununla fiziksel süreçleri izleme ve kontrol etme faaliyeti açıklanmaktadır. SCADA sistemlerinin amacı geniş bir alana yayılmış tesislerin cep telefonu, tablet veya bilgisayar gibi cihazlar kullanılarak tek bir merkezden izlenmesidir ve özünde bir yazılımdır.

Level 3: MES istenen ürünleri üretmek için gerekli iş akışı faaliyetlerini oluşturur. MES üretim, kalite ve bakım sistemleri alanlarında kullanılır.

Level 4: ERP, satış, finans ve lojistik dahil olmak üzere bir üretim operasyonunu yönetmek için gerekli olan işle ilgili faaliyetleri tanımlamak için kullanılır.

Tüm bu katmanlar iletişim kurarak verilerin fabrikadaki farklı sistemler arasında akmasını sağlar. Aşağıda ISA-95 standardının sağlayabileceği faydaların kısa bir listesi yer almaktadır (Barber, 2023; Chen ve Voigt, 2020):

- Kurumsal sistemleri ile üretim sistemlerinin entegrasyonunun maliyet ve karmaşıklığının azaltılması,
- Üretim operasyonları için en iyi uygulamalar arasında karşılaştırmalar yapılabilmesi,
- Ortak terimlerle tartışmaları kolaylaştırması.

ISA-95 standardının ana katkısı, bir MES sisteminin farklı bileşenleri arasındaki temel etkileşimleri ve bunların işletmedeki diğer sistemlerle olan arayüzlerini netleştirmesidir.

Bu model, ERP ve MES ana yazılım sistemleri ve bileşenleri (ERP'de kullanılan satış, finans ve lojistik ile MES'de kullanılan bakım, kalite ve üretim) arasında hangi bilgilerin alışverişinin yapılması gerektiğini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu konu hakkında aşağıdaki başlıklar altında daha ayrıntılı bilgi verilmektedir (Siemens, 2024).

2.1.1. ERP Sistemi

MRP1 (Material Resource Planning) Türkçe açılımı Malzeme Kaynak Planlaması yazılımı ERP sisteminin başlangıç noktası olarak görülebilir. Daha sonra geliştirilen ve MRP2 (Manufacturing Resource Planning) olarak adlandırılan sistem bu kez Üretim Kaynak Planlaması olarak tanımlanmıştır. Önceleri sadece malzeme ihtiyaç planlaması için kullanılan sistem, üretim kaynak planlaması yönünde gelişmiştir ve bu nedenle tüm üretim sürecinin planlanmasını kapsar (Apilioğulları, 2022 c).

MRP2'den sonra geliştirilen sistem ERP olarak adlandırılmıştır. Açılımı Kurumsal Kaynak Planlamasıdır. MRP1 ve MRP2 sadece şirket sınırları içindeki faktörleri değerlendirebilen sistemlerdir. ERP sistemlerinin geliştirilmesinde şirketin yapısını etkileyen faktörler hesaplanırken müşteriler, tedarikçiler ve satın alma süreci gibi dış faktörler de dahil edilmiştir (Apilioğulları, 2022 c; van der Ploeg, 2016).

Kurumlar ve şirketler, kapasitelerini yönetmek ve planlamak, varlık kullanımlarını en üst düzeye çıkarabilmek için ERP kullanmaktadırlar. ERP yazılımı, arz ve talebin dengelenmesi, üretim süreçlerinin kontrol edilmesi, kapasite ve hedeflerin koordine edilmesi ve tüm süreçlerin ihtiyaçlara uygun olarak kayıt altına alınması ve izlenmesi sürecini kolaylaştırır (Apilioğulları, 2022 c).

ERP, malzeme ana verileri, satış, malzeme faturaları, envanter, lojistik ve muhasebe/ finans gibi temel süreçlerin yönetilmesine odaklanır. Bunun için iki önemli öge vardır (Apilioğulları, 2022 c):

- 1) doğru bir ürün ağacı ve
- 2) gerçek zamanlı (işlemsel) bilgi girişi.

Ürün ağacı hatalı olduğunda, ERP sisteminde yapılan üretim sonu kayıtları düzgün çalışmayacaktır, satın alma ve üretim için doğru iş emirleri elde edilemeyecek, planlar yanlış ve üretim eksik olacak, teslimatlar gecikecekti vb. (Apilioğulları, 2022 c).

ERP yazılımı, şirketlerin bilgi ihtiyaçlarını çeşitli alanlar ve işlevler arasında entegre ederek kurumsal karmaşıklığı basitleştirebilir. ERP'nin temel özelliği, kuruluş içindeki tüm departmanların ve iş birimlerinin entegrasyonudur, böylece operasyonlar, gelişmiş veritabanları ve birleşik bir kullanıcı arayüzü sağlanır (Seethamraju ve Sundar, 2013: 138; Chofreh vd., 2020: 4).

Üretim, satış, finans, muhasebe, insan kaynakları, envanter yönetimi, bakım ve lojistik, proje yönetimi gibi iş süreçlerinin entegrasyonu, ERP sistemlerinde malzeme ihtiyaç planlama teknolojisinin kullanılmasıyla sağlanır. Bu entegrasyon sayesinde şirket genelinde tekdüzelik, erişilebilirlik ve şeffaflık elde edilir. Etkili bir ERP uygulaması, iş süreci verimliliğini artırma, daha akıllı kararlar alma, iş çevikliğini geliştirme ve veri güvenliğini artırma gibi kurum için birçok fayda sağlayabilir (Sadrzadehrafiei vd., 2013: 223). ERP'nin amacı, entegre bir sistem oluşturarak iş süreçlerini ve operasyonları uyumlu hale getirmektir. Bu sayede şirketler, özellikle tedarik zincirinde çevreci olabilirler (Chang vd., 2008: 929; Rodríguez vd., 2020: 230).

Kısaca ERP, kuruluş genelinde tüm iş süreçlerini entegre eden ve kontrol eden şirket çapında bir bilgi sistemidir. Entegre bir kurumsal bilgi sistemi için pratik bir çözüm olarak şirketler ve kuruluşlar tarafından yaygın olarak kabul gören, endüstri tarafından geliştirilmiş bir kavram ve sistemdir. ERP sistemleri iş kaynaklarını (örn. nakit, hammadde, üretim kapasitesi) ve iş taahhütlerinin durumunu (örn. siparişler, satın alma emirleri ve bordro) takip eder. Tüm işletme fonksiyonları arasındaki bilgi akışını kolaylaştırır ve dış paydaşlarla olan bağlantıları yönetir (Avvaru vd., 2020).

ERP yazılımının en önemli faydaları ve görevleri aşağıdaki gibidir (Avvaru vd., 2020):

Üretim: Yönetim araçları planlama ve çizelgeleme, bütçeleme, tahmin, tedarik ve malzemeleri içerir.

Muhasebe: Alacak hesapları, borç hesapları ve defteri kebir işlevlerini destekleyerek finans yönetimine yardımcı olur.

Müşteri ilişkileri yönetimi: Şirketlerin kampanyaları takip etmesine, potansiyel müşterileri korumasına ve müşteri bilgilerini edinmesine yardımcı olur.

Envanter yönetimi: Üretim, dağıtım, satış ve müşteri verileriyle işbirliği yapar. Kullanıcılar, tedarik zincirine daha iyi bir genel bakış elde ederek düşük stok seviyeleri nedeniyle geç teslimatlar gibi sorunları daha doğru bir şekilde tahmin edebilirler.

Dağıtım: Malları bir şirketin deposundan son varış noktasına taşıyan süreçleri kapsar. Satın alma, sipariş işleme, sipariş takibi ve müşteri hizmetleri gibi işlevlerin yönetilmesinden sorumludur.

Bu başlıkta ERP sistemi hakkında bilgi verildikten sonra MES sistemi ile ilgili en önemli bilgiler ilerleyen başlıklarda yer almaktadır.

2.1.2. MES Sistemi

MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association International), MES sistemlerinin tesis faaliyetlerini kontrol etmek, tetiklemek ve raporlamak için doğru verileri uygulayan bilgi sistemleri olduğunu belirtmektedir (Parlak, 2022).

MESA'nın amacı, şirketlere bilgi teknolojisi ve en iyi yönetim uygulamalarını kullanarak iş ve üretim süreçlerini geliştirmelerinde yardımcı olmaktır (Sarp vd., 2022).

MES, siparişin verilmesinden ürünün teslim edilmesine kadar tüm üretim operasyonlarını denetlemekten sorumludur. MES, organizasyon ve tedarik zincirinde üretimle ilgili sistemlere imalat operasyonları hakkında önemli verileri sağlar. Kısacası MES, operasyon sistemlerini tesis kontrol sistemleriyle birleştiren katmandır ve saha katından üst kata entegrasyon olarak bilinir (Sarkis ve Sundarraj, 2006).

MES'in yöneticiler için (özellikle üretim katında) bir karar destek sistemi olduğu ve işlevselliğin üretimin üç yönüne ilişkin veri toplama ve analizi içerdiği anlamına gelmektedir (Naedele vd., 2015):

1. Geçmiş veriler: Geçmiş süreç akışlarının geçmiş verilerinin depolanması ve analizi,
2. Günümüzdeki veriler: Dijital üretim yoluyla, sürecin gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi ve düzenlenmesi ve
3. Gelecekteki veriler: Endüstri 4.0 kapsamında gelecekteki süreç akışlarının tahmini, planlaması ve süreç veya kalite sapmalarının erken uyarısıdır.

MES, varlık geri dönüşlerini ve teslimat güvenilirliğini, envanter devir hızını, kar marjını ve nakit akışın performansını artırır. MES'in organizasyon ve tedarik zincirinde imalat faaliyetleri ile ilgili görev açısından önemli bilgilerin sağlanmasına olanak tanır (Vogel-Heuser, 2013).

Günümüzün rekabetçi ve küresel pazarlarında üretimin karmaşıklığı ve zorluğu giderek artıyor. Gerçek zamanlı veriler ve PI (Production Intelligence) Türkçe açılımı üretim zekası ile PLM (Product Lifecycle Management) Türkçe açılımı ürün yaşam döngüsünün yönetilmesinde uyumluluk ve görünürlük için daha fazla kontrole ihtiyaç

duyulmaktadır. Şirketler üretim programlarını karşılayamıyorsa, malzemelerin izlenebilirliği ile ilgili sorunlar yaşıyorsa, manuel işlemler nedeniyle çok fazla hata yapıyorsa, verimlilik elde edemiyorsa ve analiz için gereken verilere çok geç erişiyorsa, bir MES sistemi kullanmak zorundalardır (Sarp vd., 2022).

Akıllı fabrikalar, Endüstri 4.0'ın temel bileşenleridir ve MES gibi dijital üretim araçlarını kullanarak hem insanların hem de makinelerin görevlerini yerine getirmelerine yardımcı olur (Kagermann vd., 2013).

MES, çeşitli ve son derece özelleştirilmiş yazılım uygulamalarını kullanarak şirketin organizasyonel seviyesi ile atölye kontrol sistemleri arasındaki iletişimi kolaylaştıran bir IT aracıdır (Meyer, 2009).

Kısaca MES, işletmenin bilgi merkezi olarak hizmet veren ve üretim şeffaflığını artıran bir üretim yönetim sistemidir. Hem atölyedeki üretim sürecini hem de ERP seviyesindeki iş sürecini birbirine bağlayan bu sistem, tüm sistemin orta katmanı olarak da bilinir. MES, kaba üretim planlarının atölyede ayrıntılı operasyonlara dönüştürülmesine rehberlik etmekten sorumludur. Diğer taraftan, şirkete ticari kararları mümkün kılan önemli anahtar performans göstergeleri (KPI'lar) sağlar. MES tarafından sağlanan üretim planlama, performans analizi ve ürün takibi gibi destekler, üreticilerin daha verimli olmalarına ve küresel pazarda daha fazla rekabet gücü kazanmalarına yardımcı olabilir (Chen ve Voigt, 2020).

Dolayısıyla MES, bir fabrika veya atölyedeki (fiziksel bir ortamda OT) üretim sistemlerini ve veri akışlarını birbirine bağlayan bir bilgi sistemidir. PEM (Planning, Execution, Monitoring) yani Planlama, Yürütme, İzleme MES'in ana işlevi olarak kabul edilir. MES'in temel amacı, ERP'den alınan iş emirlerini üretime aktarmak ve ERP envanter verilerinin gerçek zamanlı bilgi girişini bünyesine katarak sürekli güncellenmesini sağlamaktır. Birincil hedefleri arasında, üretim süreçlerinin verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayıp üretim performansını artırmak ve ürün yaşam döngüsü boyunca verileri gerçek zamanlı izlemektir (Apilioğulları, 2022c).

2.1.2.1. MES Sisteminin İşlevselliği

MES'in on iki işlevselliği farklı imalat yerlerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır (Chen ve Voigt, 2020; Avvaru, 2020). Bunlar;

1. Kaynakların kontrolü ve tahsisi: Üretim ve kontrol ile doğrudan bağlantılı olan kaynakların yönetilmesi (gerekli olan makineler, aletler, işgücü becerileri, malzemeler, diğer ekipmanlar, belgeler ve diğer varlıklar).
2. Üretimin sevk edilmesi: Üretimi kontrol etmek için belirli personel ve ekipmanı yönlendirmek.
3. Veri edinme: Operasyonel imalat ve parametrik verilerin elde edilmesi.
4. Kalite yönetimi: Kalite ve süreç sorunlarını belirlemek için üretim ve analiz sırasında toplanan gerçek zamanlı ölçümlerdir.
5. Süreç yönetimi: İmalatın izlenerek otomatik olarak düzeltilmesi ve süreçlerin düzeltilmesi veya iyileştirilmesidir.
6. Üretim takibi: İmalat durumu ve iş dağılımı hakkında bilgi sağlanması.
7. Performans analizi: Fiili üretim operasyonları sonuçlarının gerçek zamanlı olarak, geçmiş tarih ve beklenen sonuçlarla karşılaştırılarak raporlanması.
8. Operasyonlar ve detaylı programlama: Operasyonların sırasına göre hızlı bir şekilde işlenmesidir.
9. Belge kontrolü: Üretim biriminin kayıtlarının ve formlarının yönetilmesi.
10. İşgücü yönetimi: Personel durumu hakkında her türlü raporlamayı içerir.
11. Bakım yönetimi: Araç ve ekipmanların iyi çalışır durumda tutulması.
12. Mamullerin taşıyıp depolanması ve izlenmesi: Mamullerin, üretim halindeki mamullerin ve nihai ürünlerin taşınıp depolanmasının yanı sıra tüm tesisler arası transferlerin denetlenip izlenmesidir.

MESA, farklı sektörlerden MESA üyeleriyle birlikte, üretim sahasında on iki MES fonksiyonunun uygulanmasının getirebileceği faydaları analiz etmek için anketler geliştirilmiştir. Bu anketlerin sonuçlarına göre MES sistemini kullanan şirketlerde üretim döngü süresinde, veri giriş ve teslim süresinde, ürün kusurlarında, vardiyalar arasındaki evrak işlerinde, üretim maliyetlerinde, enerji tüketiminde ve çevrim süresinde önemli derecede düşüşler ölçülmüştür (MESA, 1997 a; Fraser, 2004; Strategic Direction, 2004).

Endüstri 4.0, MES olmadan var olamaz (Vogel-Heuser vd., 2013). Yeni endüstriyel otomasyon ortamı, iş süreçleri için ERP sistemi ile üretim süreçleri için kontrol sistemleri arasında çok önemli bir bilgi işleme ve sağlama katmanı gerektirmektedir. Yeni nesil dijital endüstriyel teknolojiler, Rüßmann ve diğerleri (2015) tarafından üretim verimliliğini artırmanın ve gelir ve istihdam artışını sağlamanın yeni bir yolu olarak rapor edilmiştir. Ayrıca, tüm ürün yaşam döngüsündeki şeffaflığın optimizasyonu, kendi kendini yapılandıran ve kendi kendini organize eden üretim tesisleri aracılığıyla üretim süreçlerinin esnekleştirilmesi, kilit üretim makinelerinin bakım aralığının verimli bir şekilde planlanması ve kişiselleştirilebilir ürünlerin üretilmesi gibi yenilikçi üretim paradigmaları Endüstri 4.0'ın imalat endüstrileri için getirdiği faydalar olarak değerlendirilmektedir (Pötter vd., 2017). Arica ve Powell (2017) Endüstri 4.0'dan doğan teknolojileri incelemiş ve MES'in gelişen imalat sanayinde sürdürülebilirliğini doğrulamıştır.

MES sisteminin akıllı üretim tesisleri için önemi vurgulandıktan sonra bir sonraki başlıkta MES ve MOM'un arasındaki fark açıklık kazanacaktır.

2.1.2.2. MES ile MOM

MOM (Manufacturing Operations Management) Türkçe açılımı ise Üretim Operasyonları Yönetimi anlamına gelmektedir (Sarp vd., 2022).

MOM, MES'in bir uzantısıdır; tüm temel MES işlevlerinin yanı sıra lojistik (depo yönetimi), kalite, işgücü takibi, bakım, makine entegrasyonu ve tedarik zinciri alanlarında gelişmiş işlevleri içerir. MOM böylece üretimi destekleyen tüm faaliyetleri içerir ve şirket çapında üretim süreçlerini yönetmesine ve yürütmesine olanak tanır. MOM daha kapsamlıdır ve mimarisinde daha fazla veriye erişimi vardır, bu da karar vericileri daha iyi desteklemek için daha fazla bilgi sağladığı anlamına gelir. Daha iyi izleme ve raporlama yoluyla sürekli iyileştirme sağlar ve süreç değişiklikleri daha kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabildiği için operasyonel esnekliği destekler (Dassault Systemes, 2024).

MES, doğru zamanda doğru bilgiyi sağlamak için işgücü, kaynak ve malzeme faaliyetlerini kontrol eden bir üretim uygulamasıdır. MES, gerçekleştirilecek üretim görevlerinde operatöre rehberlik eder, ürünlerin üretiminde soyağacı verilerini yakalar ve üretim verilerini gerçek zamanlı olarak toplar. Bu veriler, şirketlerin ürün yaratımından

nihai üretime kadar üretim faaliyetlerini optimize etmelerini sağlar. Bu nedenle MES, MOM'un bir bileşeni olarak görülebilir. Temel amacı, verileri kullanarak tesis içindeki günlük süreçleri izlemek, yönetmek ve optimize etmektir. Buna örneğin üretim takibi, iş talimatları ve makine bağlantıları dahildir. MES, operasyonlar üzerinde tam kontrol ve gelişmiş üretim görünürlüğü sağlayarak üretim dönüşümünü mümkün kılar. Başka bir deyişle, MES sistemleri genellikle tesis tabanlı uygulamalardan oluşur. MOM ise ister bir tesis ister tüm bir şirket için olsun, üretimin daha geniş kapsamını yönetmeye yönelik kurumsal bir çözümdür (Dassault Systemes, 2024).

Yukarıdaki bilgiler ışığında, MEM (Manufacturing Enterprise Management) Türkçe karşılığı Üretim İşletmesi Yönetimi olup belki de gelecekte yeni kısaltma olarak MOM'un yerini alabilir (Sarp vd, 2022).

IEC, The International Electrotechnical Commission, yani Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun tanımına göre MOM, bir üretim tesisinin, tesisin kaynaklarını (ekipman, malzeme ve personel) koordine eden, yönlendiren, yöneten ve izleyen faaliyetleridir. IEC 62264-3 standardına göre MOM'un unsurları üretim, bakım, kalite, envanter ve diğer imalat faaliyetlerinin operasyonel yönetimidir. İş akışları veya üretim gereksinimleri için üretim verilerini toplama ve yönetim faaliyetidir. Geleceğin fabrikaları, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için gerçek zamanlı üretim verilerini etkin bir şekilde kullanmalıdır (Mantravadi ve Møller, 2019).

Bu aşamaya kadar bilgilerin hepsi göz önünde tutulduğunda MES ve MOM sistemlerinin üretim tesislerine dijitalleşme faaliyetlerinde birçok fayda sağladığı anlaşılmaktadır. Bu faydalar bir sonraki başlıkta özetlemektedir.

2.1.2.3. MES Sisteminin Sağladığı Faydalar

MES, sipariş başlangıcından ürünün tamamlanmasına kadar üretim faaliyetlerinin optimize edilmesini sağlayan bilgiler sağlar. MES, güncel ve doğru verileri kullanarak tesisteki faaliyetleri meydana geldikleri anda kontrol eder, tepki verir ve raporlar. Değişen koşullara verilen hızlı yanıtla, etkili operasyonlar ve süreçler ortaya çıkar. MES, teslimat güvenilirliğini, envanter devir hızını, brüt kar marjını ve nakit akışını düzeltir. MES, organizasyon ve tedarik zinciri boyunca imalat faaliyetleri ile ilgili görev açısından önemli bilgiler sağlar. Endüstriyel otomasyonda bir bilgi merkezi

olarak MES, süreç şeffaflığı, verimlilik artışı, programlara bağlılık ve üretim planlarına uyum sağlanmasına yardımcı olur (MESA, 1997 a).

Aynı zamanda MES'de bulunan gerçek zamanlı analitik değerlendirme gücü, şirketlere yalın yönetim uygulamalarını kolaylaştırma ve hızlandırma fırsatı sunar (Sarp vd, 2022).

Peter F. Ducker'ın dediği gibi: “Ölçemediğiniz şeyi yönetemezsiniz”, süreçlerin uçtan uca izlenebilirliği, sorunlara ve iyileştirilebilecek yapılara daha geniş bir perspektiften bakılmasını sağlar (Drucker, 2006). Hammadde, ürün, makine ve personelin takibi üretim yönetimini kolaylaştırır. Ölçümler sayesinde, tahminlere dayalı büyük kayıplar yerine, aksamalara yol açan küçük kayıplar bile hızlı bir şekilde tespit edilebilir. Bu amaçla MES, herhangi bir ürünün üretiminde kullanılan tüm yöntemlerin aktif bir veri akışını sağlar. Kısacası MES sistemi, hammaddeden bitmiş ürüne kadar olan süreci izlemek, raporlamak ve kontrol etmek için kullanılan bir bilgisayar sistemidir (MESA, 1997 a).

MES'in uygulanmasından kaynaklanan faydalar şöyle özetlenebilir (Kletti, 2015; Qu vd., 2014; Tao vd., 2014):

- MES üretim sırasında denetim yapılmasını, önemli üretim verilerinin sürekli izlenmesini ve iş talimatlarının dijital formda bulunmasını sağlar;
- MES'in tüm sipariş dizisi üzerinde şeffaflığı, bir üretim siparişinin operasyonlarının daha iyi senkronizasyonunu ve dahili malzeme taşımacılığı için destek sunar;
- MES işyerinde manuel bilgi sağlanmasını, manuel veri toplanmasını, değerlendirilmesini ve gereksiz planlama çabalarını önlemeye yardımcı olur;
- MES aracılığıyla yalnızca tek tek makineler için değil, tüm üretim hattı için enerji tüketimini azaltabilir.
- MES sisteminde toplanan veriler, üretim birimi başına detaylı planlama ve yürütme ve daha yüksek derecede izlenebilirlik oluşturmak için kullanılabilir ve öngörüler üretebilir.
- Tüm tedarik zinciri ve operasyon akışlarını kontrol edip iyileştirilerek asyönizasyon sağlar.
- Süreçleri ve ürünleri değerlendirmek için iyileştirilmiş veri kalitesi sağlar.

- Tüm imalat süreci şeffaflığından dolayı sapmalar analiz edilir ve süreçlerin incelenmesi gereksizleşir.
- Daha kısa üretim süreleri, mevcut malzemeler için depolama maliyetlerinin azalmasına yardımcı olur (Fırsat maliyeti).
- Üretim kayıtlarının tutulması için gereken idari iş miktarında azalma sağlar.
- Yüksek derecede entegrasyon sayesinde işletme maliyetlerini azaltır.
- Mevcut veri ve bilgilere kolay erişim, tüm kritik iş durumlarında daha iyi karar alınmasını sağlar.

Tüm bu bilgilere bakıldığında MES sistemi: Süreç şeffaflığı, geliştirilmiş verimlilik, zamanında performans, makine duruş sürelerinde düşüş, teslimat sürelerinde iyileştirme, üretkenlikte optimizasyon ve çalışanların performansında verimliliğe neden olur.

MES tarafından sağlanan bilgiler, siparişin verilmesinden bitmiş ürünlere kadar üretim faaliyetlerinin optimize edilmesini sağlar. MES, doğru ve güncel verileri kullanıp tesis faaliyetlerini yönetir, başlatır, yanıt verir ve raporlar. Etkili tesis operasyonları ve süreçleri, değişen koşullara göre cevap verilmesi ve katma değer yaratmayan faaliyetlerin düşürülmesine dikkat ederek sağlanır. MES sayesinde envanter dönüşleri, teslimat, nakit akış ve brüt kar marjı ile birlikte operasyonel varlıkların getirisi de artar. Çift yönlü iletişim, MES'in tesis ve tedarik zinciri genelinde imalat faaliyetlerinde görev açısından önemli bilgiler sağlamasına olanak tanır (MESA, 1997 a; Chen ve Voigt, 2020).

2.1.2.4. MES ile ERP Arası Bağlantı

1960'larda MES'in geliştirilmesiyle birlikte, üretim kuruluşları finansal alanlarını otomatikleştirmek için yazılım çözümleri uygulamaya başlamıştır. Üretim stratejileri yüksek hacimli üretim ve maliyet minimizasyona dayanmaktaydı çünkü birincil rekabet faktörü maliyetti (Chen ve Voigt, 2020).

1970 yıllarının sonlarına doğru üretim sanayileri pazarlama faaliyetlerine odaklanmış, bu da daha verimli imalat planlaması ve entegrasyonuna odaklanan hedef pazar stratejilerinin benimsenmesiyle sonuçlanmıştır (Jacobs, 2007). Talebin

karşılanmasını sağlamak için tahmin, ana çizelgeleme ve tedariki birleştiren MRP sistemi kullanılmaya başlanmıştır (Orlicki, 1974).

1980'lerdeki üretim stratejisi, küresel pazardan gelen rekabet baskısına yanıt olarak ayrıntılı süreç kontrolü, dünya standartlarında üretim ve maliyet azaltmaya odaklanacak şekilde değişmiştir. MRP II bu arka plan altında ortaya çıkıp üç ana özelliği beraberinde getirmiş: malzeme planlama, malzeme kontrolü ve üretim emri tanımı (Jacobs, 2007; Sum ve Yang, 1993).

Jacobs'a (2007) göre, erken MRP'den MRP II'ye, bilgisayarla entegre üretime ve son olarak Kurumsal Kaynak Planlamasına (ERP) geçiş yolu oluşturulmuştur. ERP sistemlerinin amacı, gelişmiş planlama ve müşteri desteği için organizasyonel faaliyetleri birleştirmektir ve gelişmiş planlama, tahmin, muhasebe işlevleri ve envanter yönetimi sağlamada başarılı olmuşlardır (Younus vd., 2010). Ancak ERP uygulamaları, saha faaliyetleri için gereken ayrıntı ve hızdan yoksun oldukları için atölye faaliyetlerini yönetemezler (Schleipen vd., 2011).

ERP sistemlerinin bu yetersizliği, gerçek zamanlı ve doğru veri toplama yazılım uygulamalarının gelişimini hızlandırmış ve sonunda bugün sahip olduğumuz MES sistemini ortaya çıkarmıştır. MES'in en belirgin katkısı, imalat ile müşteri ihtiyaçlarını ve talebini karşılamaya odaklanan bir değer sisteminin entegrasyonudur (Marks, 1997).

Maliyet verimliliği, şeffaflık ve yanıt verebilirlik MES'in önemli özelliklerindendir (Zhong vd., 2017). Daha çok şeffaflık sağlamak için organizasyonların sistem entegrasyonunu geliştirmeleri önemlidir. Bunun sonucunda imalat ve finans birimleri arasında daha iyi iletişim sağlanır. Sorunların ve beklenmedik olayların daha hızlı tespit edilmesi, sorunların yayılmadan önce bulunmasına ve düzeltilmesine yardımcı olan ERP ve MES arasındaki sistem entegrasyonu zamandan tasarruf sağlayıp gereksiz maliyetlerin azalmasına yol açar Chryssolouris vd., 2009; MESA, 1997 b).

2.1.2.5. MES ile OEE Arası Bağlantı

Nakajima (1988) tarafından tanıtılan OEE (Overall Equipment Effectiveness) Türkçe açılımı Genel Ekipman Etkinliği kavramı, endüstride giderek daha fazla kullanılmaktadır. Analiz, ekipman kullanılabilirliği ve performansının yanı sıra yeniden işleme ve verim kayıplarından kaynaklanan verimlilik düşüşleri de dahil olmak üzere

üretimin tüm yönlerini kapsamaktadır. Tajiri (1992)'ye göre, OEE ve kayıplar arasındaki ilişki ekipmanın kullanılabilirliğine, performans oranlarına ve ürünün kalitesine bağlıdır. Bir makinenin gerçek performansı, optimum üretim koşulları altındaki performans yetenekleriyle ilişkili olarak OEE tarafından izlenir. Golda vd. (2016) göre, üretim hattı verimliliği üç faktöre bağlı olan OEE metriği kullanılarak ifade edilebilir. Bunlar;

$$OEE = (\text{Kullanılabilirlik}) \times (\text{Performans}) \times (\text{Kalite}).$$

Kullanılabilirlik, bir görevi tamamlamak için harcanan zamanın planlanan zamana oranıdır. Kullanılabilirlik, iş kesintileri ve makine arızaları nedeniyle azalır. Golda vd. (2016) kullanılabilirlik kavramı, planlanan çalışma süresini ve işteki aksaklıklar ve rastgele makine arızaları gibi planlanmamış olayları içerir. Ekipmanın kullanılamamasına neden olan planlanmamış herhangi bir olay, verimliliğin azalmasına neden olur. Sensörler, robotlar ve konveyörler gibi sistemlerin veya cihazların güvenilirliği, belirli çalışma koşulları altında belirli bir süre boyunca doğru çalışma olasılıkları ile ölçülür (Ruane, 2022).

MES sisteminin uygulaması OEE olmadan tamamlanamaz. Temel performans göstergelerini (KPI'lar) ölçmek için üreticiler bunları öncelikle tanımlamalı ve veri toplama sistemlerini buna göre uygulamalıdır. MES sistemi, gerçek zamanlı verileri yakalamak için sensörler, PLC'ler, SCADA sistemleri ve diğer veri toplama araçlarıyla entegre edilmiştir (Pro Manage, 2024). MES sistemi verileri toplayıp işledikten sonra analiz edilir ve önceden belirlenmiş KPI değerleriyle karşılaştırılır. Ortaya çıkan sapmalar, uygun önlemler alınarak ve ekipman bakımı, süreç optimizasyonu veya işgücü eğitimi gibi iyileştirme alanları belirlenerek azaltılmalıdır. MES tarafından sağlanan gerçek zamanlı veriler, üreticilerin bilinçli kararlar almasını ve sürekli iyileştirme yapmasını sağlar (Pro Manage, 2024).

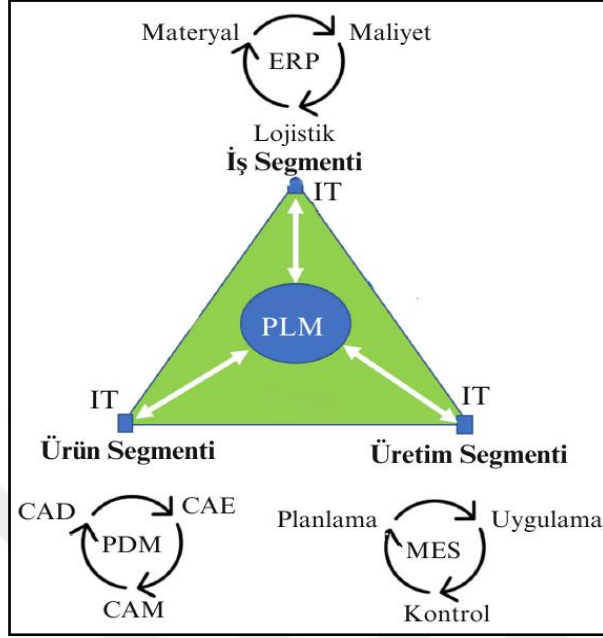
OEE ve MES uygulama süreci sürekli olarak gelişmekte ve optimizasyon gerektirmektedir. Üreticilerin performans değerlendirmelerini düzenli olarak gözden geçirmeleri, iyileştirme için yeni fırsatlar belirlemeleri ve stratejilerini yinelenmeleri önemlidir. Operasyonel mükemmelliğe ulaşmak için üreticiler, OEE ve MES'in tam potansiyelini ortaya çıkarmak üzere sürekli iyileştirme kültürünü benimsemelidir (Pro Manage, 2024).

OEE, operasyonel mükemmellik hedeflerine ulaşmak için çok önemli bir araçtır. OEE değerleri işletmelere performanslarını değerlendirme, kaynak kaybını belirleme ve iyileştirme fırsatlarını tanıma konusunda yardımcı olabilir. İşletmeler OEE'yi doğru bir şekilde uygulayarak verimliliklerini artırabilir ve rekabet avantajı elde edebilirler. Sürekli iyileştirme ve geliştirme, OEE ile operasyonel mükemmelliğe giden yolculukta yardımcı olur (Pro Manage, 2024).

2.1.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli

ISA-95 standardı OT (Operation Technology), yani operasyon teknolojisi ve IT (Information Technology) bilgi teknolojisi sistemleri arasındaki hiyerarşik ilişkiyi gösteren katmanları ile tanımlanmaktadır. Zippel (2018)'e göre, üretim endüstrisinin ISA-95'in önemini kavraması ve üretim ve yazılım süreçlerinin dijitalleştirilmesi için bunu bir referans model olarak kullanması gerektiğini ileri sürmüştür. Ancak NIST (1998)'e göre üretim operasyonları, iş (ERP), üretim (MES) ve ürün (PDM) Product Data Management, yani Ürün Bilgi Yönetimi alanlarının bir karışımı olarak kabul edilmelidir. ISA-95 standardında bulunmayan PDM sistemi, ürünlerin tasarlanmasından sorumludur ve ERP ve MES ile bağlantılı olmalıdır. Teknik çizimler, ürün dokümantasyonu ve BOM (Bill of Material), yani Malzeme Listesi gibi ürün verileri, özellikle proje bazlı üretimde üretim ve iş alanları tarafından süreçlerini yönetmek için kullanılır (Lu vd., 2016; Li vd., 2018).

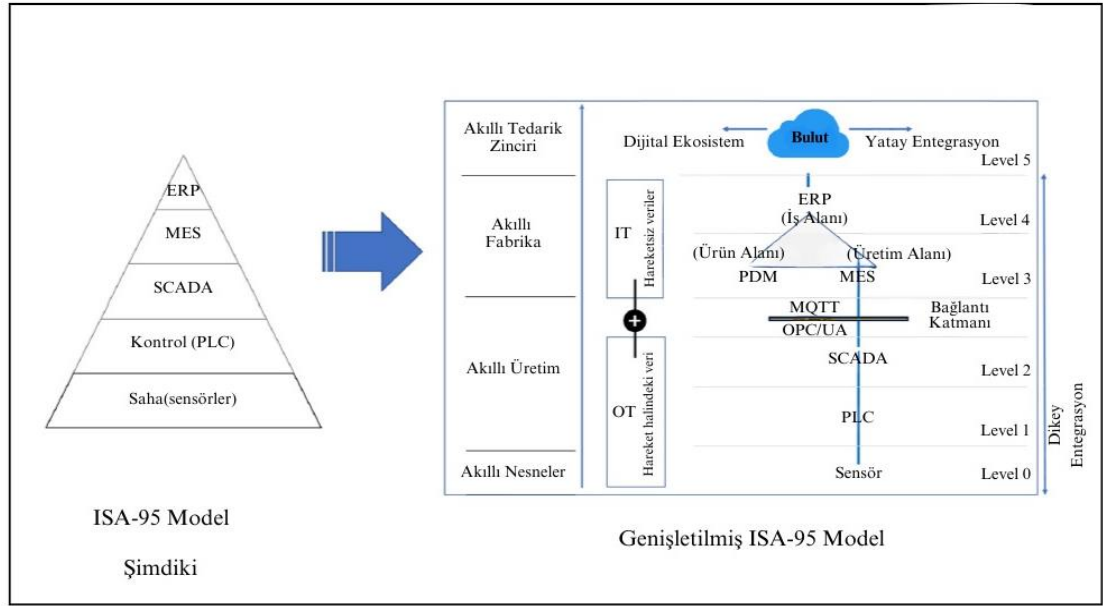
Bu üç IT bileşeni ERP, MES ve PDM, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminin (PLM) yapısını oluşturur. PDM ürün bilgilerini yönetir, MES üretim sürecinin atölyede yürütülmesini izler ve kontrol eder, ERP ise iş verilerini izler. PLM, endüstriyel üretim ürünlerini ve ilgili bilgileri yönetmek ve geliştirmek için sistematik ve kontrollü bir yöntemdir. PLM, ilk fikirden hurdalığa kadar ürün yaşam döngüsü boyunca ürünle ilgili verileri kontrol ederek ürün sürecinin ve sipariş teslim sürecinin yönetimini ve kontrolünü sağlar. Endüstri 4.0'ın en büyük zorluğu, üreticiden müşteriye kadar olan uçtan uca süreci yeni, gelişmiş iş modelleriyle birbirine bağlamak için merkezi IT yönetim sistemlerinin entegrasyonudur (Saaksvuori ve Immonen, 2008).



Şekil 19: IT Yapısı ve Bileşenleri (Apilioğulları, 2022a)

Bu nedenle PDM yazılımı, üretim ortamındaki üretim ve iş etki alanlarının temel bir bileşenidir. PDM yazılımı mevcut ISA-95 standardında bulunmamakta ve bu da onu yetersiz kılmaktadır. Böylece ISA-95 standardının tüm IT bileşenlerini içerecek şekilde genişletilmesi gerekmektedir çünkü mevcut yapısı gereği dikey entegrasyon tam olarak sağlanamamaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın iletişim omurgası olan Cyber Physical Systems (CPS), yani Siber Fiziksel Sistemler de (Zhong vd., 2017) mevcut modelde eksiktir, bu nedenle siber (IT) ve fiziksel dünya (OT) katmanlar birbirine yeterince bağlanamamaktadır (Aaldering ve Song, 2021). CPS, tüm IoT cihazları arasındaki etkileşimi kolaylaştırıp fabrikanın dikey entegrasyon yapısını oluşturmaktadır. Bu nedenle CPS, üretimde dijitalleşmenin temel unsurudur. CPS, birbirine bağlı sistemlerden gelen verilerin dönüştürülmesinde önemli bir rol oynar ve tüm sistemin etkileşime girebilmesi için bir ön koşuldur (Alc'acer ve Cruz-Machado, 2019).

Genişletilmiş ISA-95 yapısında OT ve IT katmanlarına eklenen yeni bileşenler sayesinde seviyeler arası iletişim kısıtlamaları ortadan kalkmakta ve tüm sistemler birbirleriyle uçtan uca iletişim kurabilmektedir (Apilioğulları, 2022a).



Şekil 20: Mevcut ve Genişletilmiş ISA-95 Modeli, (Apilioğulları, 2022a)

Şekil 20'de sunulan genişletilmiş ISA-95 modelinde altı katman ve bir alt katman bulunmaktadır. En alttaki üç katmanda (Seviye 0-1-2) bulunan Fiziksel Bileşenler OT kısmında yer alır. Bu bileşenler sensörler, PLC ve SCADA'dan oluşmaktadır. OT kısmında tüm üretim işlemlerini yürütmek için akıllı cihazlar kullanılmaktadır. Nesnelerin, CPS omurgasına bağlanabilirliği, birlikte çalışabilirliği, verilerin depolanması ve OT kısmında toplanan verilerin işlenmesi akıllı üretimin ana odak noktalarıdır. İletişim kurabilmek için akıllı nesnelerin bir iletişim özelliğine sahip olması gerekir. Kısaca, nesnelerin OT entegrasyonu ile elde edilen CPS omurga ağı içerisinde iletişim kurabilmesi için IoT uyumlu olması gerekmektedir (Porter ve Heppelmann, 2014).

Genişletilmiş modele, farklı iletişim protokollerine sahip akıllı cihazlardan veri toplayan ve bunları tek bir protokole dönüştüren bir bağlantı katmanı eklenmiştir. Bu bağlantı katmanı yardımıyla OT ve IT katmanları entegre edilir. Veriler, bağlantı katmanı aracılığıyla farklı formatlarda farklı konumlardan akabilir. IT sistemleri, hareketsiz veri olarak bilinen, zamana duyarlı olmayan büyük statik veriler üretirken (Mourtzis vd., 2016) OT sistemleri tarafından üretilen hareket halindeki veriler küçük

boyutlu dinamik veriler olup milisaniyeler içinde okunmalı ve analiz edilmelidir (Ren vd., 2019).

IT kısmı en üst katmanlarda (Seviye 3-4) bulunan siber bileşenleri göstermektedir. Modele, MES ve ERP ile aynı katmana PDM yazılımı eklenerek ve Bulut Bilişimi modelin en üstüne konumlandırılarak genişletilmiştir. Bu, Akıllı Fabrika için gerekli olan CPS aracılığıyla OT ve IT ağlarının dikey ve yatay entegrasyonuna izin verilir. CPS ve Bulut entegrasyonu, CPS ağını Bulut üzerinde yatay olarak genişleterek Akıllı Tedarik Zinciri ortamı oluşturmak için temel gerekliliklerdir. Bu yapı, CPS'e dayalı dijital bir ekosistemin inşasına olanak sağlar. Mevcut ISA-95 standardı ile genişletilmiş ISA-95 modeli arasındaki farklar Şekil 20'de gösterilmektedir.

Ancak CPS yapısı ile IT entegrasyonunun nasıl işleyeceği konusunda çok kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Bazı çalışmalar IT entegrasyonunu PDM ve PLM çerçevesinde incelemiş olsa da PDM, CPS, Bulut ve Bağlantı Katmanı bileşenlerini bir arada bulunduran ve ISA-95 standardını temel alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bunun bir açıklaması, dijitalleşmenin öncelikle OT entegrasyonu olarak görülmesi veya IT tarafındaki tüm iş yazılımlarının ISA-95 standardına dahil edilmemiş olmasıdır (Apilioğulları, 2022a).

Bunun nedeni, IoT/ CPS'nin üretimde kullanımının henüz başlangıç aşamasında olmasıdır. Şirketlerin odak noktası hala uzaktan izleme amacıyla sensörlerden tek yönlü veri toplamaktır. Aynı zamanda, şirketler otomasyonun fiziksel yönlerini göz ardı etme eğilimindedirler, bu da CPS yapısına yeterince dikkat göstermedikleri anlamına gelir (Soldatos vd., 2022).

Proje bazlı imalat endüstrileri, proses endüstrisine göre çok daha düşük bir dijitalleşme seviyesine sahiptir. Bu durumun nedeni, IT sistemlerinin olmaması, birlikte çalışmayan geniş ve eski ekipman parkları ve kaynak ve montaj gibi aşırı emek yoğun süreçler olarak gösterilebilir. Proje bazlı endüstrilerdeki dijital dönüşümü IT kısmındaki üç bileşeni birlikte ele alarak inceleyen bir literatür çalışması bulunmamaktadır. Çalışmalar ayrıca CPS, Bulut ve bağlantı katmanlarını da dahil etmemektedir (Apilioğulları, 2022a).

Dijitalleşen çağımızda mevcut teknolojileri kullanmak kaçınılmazdır. Dijital dönüşümü kaçırmamak adına proje bazlı imalatçılar için dijital dönüşüme nasıl ve

nereden başlanacağına dair çalışmalara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır (Khan ve Turowski, 2016).

Proje bazlı üretim süreçlerinde standart bir üretim söz konusu değildir ve her yeni siparişte ürünün tasarım bileşenlerinin ve üretim için gerekli tüm bilgilerin PDM'de (Product Data Management) doğru, güncel ve eksiksiz olması gerekir. Bunu anlayan firmalar, üretim süreçlerindeki hata oranını azaltarak daha etkin üretim süreçlerine ve yüksek kaliteli ürünlere ulaşabilir. Ürün tasarımından üretimine, ürün sevkiyatından müşteri memnuniyetine kadar tüm süreçleri güvence altına alarak şirkete sayısız fayda sağlayabilirler (Apilioğulları, 2022a). Bu nedenle, PDM-ERP sistemleri entegrasyonu, ETO (Engineering To Order) veya proje bazlı tabanlı üreticiler için en önemli konulardan biridir (Kutin vd. 2018).

ETO tabanlı üretim sistemlerinde üretilen ürün tasarım süreci verileri, diğer sistemler tarafından kullanılmak üzere ERP'ye gönderilmelidir. Malzeme listeleri, teknik çizimler ve kalite planları, MRP/MES modüllerinde satın alma ve üretim işlemlerini yürütmek için kullanılır (Zhou vd., 2018). PDM ve ERP arasında bir bağlantı olmaması durumunda, verilerin ERP'ye manuel olarak girilmesi gerekir. Bu durumda, göz önünde bulundurulması gereken iki önemli faktör vardır:

1. Bu bilgilerin manuel olarak girilmesi daha fazla zaman ve çaba gerektirir. Mühendisler, değer yaratan tasarım işlevleri yerine veri girişine zaman harcayarak daha etkili ve yenilikçi ürünler geliştirmekten engellenmektedir (Pulkkinen vd., 2017).

2. Mühendislerin bu işlem sırasında hata yapmaları yanlış veya yetersiz veri girişi, malzeme tedarikinde ve üretim süreçlerinde kayıplara neden olabilir. Yanlış tedarikçilerden satın alma veya hatalı belgeler üretme gibi sorunlar nedeniyle teslimat, kalite ve verimlilik zarar görebilir (Mleczko, 2015).

Şirketlerin hedefi kolay, etkili ve düşük maliyetli yazılım entegrasyonuna odaklanarak hataları azaltmaktır. Entegrasyon, tasarım süreci boyunca daha iyi kararlar almalarına yardımcı olmak için tasarımcının ekranına alternatif parçalar, teslim süresi, satın alma veya üretim maliyetleri gibi değerli bilgiler sağlamalıdır. Singh ve meslektaşları (2020), Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi'nin veri eksikliği nedeniyle oluşturulamayacağına da dikkat çekmiştir.

ETO tabanlı üretim süreçlerinde çeviklik çok önemli bir husustur (Kul'ga vd., 2018). Karar verme süreçlerinde entegrasyondan elde edilen bilgilerin kullanılması, daha kesin ve hızlı karar verilmesine olumlu katkı sağlamaktadır (Christopher, 2000). Tasarım mühendisinin alternatif bileşenleri görüntüleyebilmesi, teslimat süresi ve fiyat hakkında bilgi edinebilmesi ve üretim maliyetleri hakkında gerçek zamanlı bilgilere erişebilmesi, şirketin çevikliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Özetle;

- Tek bir doğruluk kaynağını garanti etmek için tüm sistem (PDM-ERP-MES) senkronize edilmelidir (Feng vd., 2015).
- PDM tarafından oluşturulan tüm mühendislik veriler otomatik olarak ERP'ye aktarılmalıdır, böylece satın alma, planlama ve üretim ekipleri yapılandırılmış verilere mümkün olan en kısa sürede erişebilir (Zhou vd., 2018; McKendry vd., 2022)
- Tasarım aşamasında, tasarım mühendisi karar verme sürecini geliştirmek için parça fiyatı, teslim süresi ve alternatif çözümler gibi gerçek zamanlı bilgilere erişebilmelidir (Mleczko, 2015; Camba vd., 2017; Singh vd., 2020; Wang vd. 2021).

Tüm bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, özellikle proje bazlı üretim yapan şirketlerde dijital teknolojilerin kullanılması kaçınılmazdır (Khan ve Turowski, 2016).

Genişletilmiş ISA-95 modeli, tüm eksik bileşenleri bir araya getirerek şirketlerin dijital dönüşüm faaliyetlerini basitleştirme potansiyeline sahiptir. Modele eklenen bileşenlerin görevleri ve önemi aşağıdaki başlıklarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1.3.1. Ürün Bilgi Yönetimi- PDM

Ürün verilerinin ve belgelerinin yönetimi, PLM' nin bir bileşeni olan PDM' in odak noktasıdır. Ürün Bilgi Yönetimi (PDM) sistemleri, ürünün içinde bulunduğu iş akışını ve ürünle ilgili tüm bilgileri kontrol etmeye yarayan sistemlerdir. Tüm paydaşların en yeni ve doğru ürün bilgilerine erişimini sağlamak için tüm gerekli veri paylaşım araçları dahil edilmiştir. Böylece PDM, ürün geliştirme sürecinin hızlı bir şekilde yapılandırılmasında çok önemli bir bileşendir (Kul'ga ve Gil'fanov, 2008).

PDM ve ERP alanları arasında entegrasyon olmadan, BoM aktarımı manuel olarak gerçekleştirilir ve yanlış veya eksik bilgi aktarımı nedeniyle istenen sonuçlar elde edilemez (Prashanth ve Venkataram, 2017).

PDM ve ERP sistemlerinin entegre edilmesiyle ürün ve iş alanı verileri doğrudan ve otomatik olarak paylaşılabilir (Prashanth ve Venkataram, 2017). Bu iki alanın senkronizasyonu sayesinde, Ar-Ge biriminin mühendislik ekipleri ERP sisteminden iş düzeyindeki verilere erişebilirken, satın alma ekibi de BoM verilerine erişebilir. Benzer şekilde, PDM ve MES arasındaki bağlantı, ürün alanında geliştirilen belgelerin üretim alanıyla doğrudan paylaşılmasını sağlar. Teknik çizimler ve NC programları gibi ürünle ilgili verilere üretim ekipleri tarafından PDM sistemi üzerinden erişilebilir (Enríquez vd., 2019). İş emirlerinin ve üretim durumunun paylaşılması ERP ve MES arasındaki bağlantı sayesinde mümkün olmaktadır. Bu iki alanın senkronize edilmesi, planlama ekiplerinin üretim durumuna gerçek zamanlı olarak erişmesine ve geleceğe hazırlanmasına olanak tanır. Bu nedenle, PDM- ERP ve MES entegrasyonu en önemli konular arasında yer almaktadır (Lu vd., 2016).

Enríquez ve diğerlerine (2015) göre PLM, ERP ve MES sistemlerini PDM yazılımına dahil eden yapıdadır. PLM, ürünün oluşturulmasından kullanımdan kaldırılmasına kadar, ürünün oluşturulmasında yer alan alanlar arasındaki tüm etkileşimleri ele alır. Dolayısıyla, PLM tek bir program değil, birçok programın bir araya gelmesinden oluşur (Feng, 2015).

Birçok endüstriyel şirket, yazılımlar arasında entegrasyon gerektirmeyecek platformlar oluşturmaktadır. SAP, Oracle ve IFS gibi ERP şirketleri ERP ve MES segmentlerini bir arada sunabilmektedir. SolidWorks ve Autodesk'e benzer şekilde PDM Manage ve Fusion gibi şirketler de ürün alanında veri, süreç ve proje yönetimini yöneten tek platformlar sunarak entegrasyonu ortadan kaldırmaya çalışırlar. Siemens ve PTC gibi bazı şirketler ise ERP, PDM ve MES olmak üzere üç yazılımı da kapsayan PLM platformları geliştirmekle daha fazla ilgilenmektedir. Bu çalışmalar entegrasyon sorunlarını ortadan kaldırarak esneklik sunmaktadır. Mühendisler, PLM ile iletişimin hızını ve kalitesini artırarak zamanlarının ortalama yüzde altmışını alan iletişim kayıplarını en aza indirebilirler. Bu sayede anlamlı bilgiler hızla toplanıp doğru kararlar

zamanında alınabilir. CPS ile merkezde yer alan IT altyapısı sayesinde çevik bir organizasyon oluşturulabilir (Apilioğulları, 2022a).

PLM sadece bir bilgisayar sistemi veya teknoloji değildir; bir ürünün yaşam döngüsünü kontrol etmek ve yönlendirmek için teknolojiye dayanan bir kavram ve stratejidir. PLM'nin en önemli işlevi, ürün ve üretim süreci tasarımıyla ilgili verileri yönetmektir ve bu nedenle PDM yazılımı olmadan bu işlevini yerine getiremez (Chang, T.C. Wysk, 1985).

2.1.3.2. Siber Fiziksel Sistemler ve Nesnelerin İnterneti

Günümüzde kısa ürün teslim süreleri, küçük miktarlı parti üretimi, tüketici ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve düzensiz talep dalgalanmaları nedeniyle imalat şirketleri, tipik bir imalat yöntemi olan seri üretimin aksine esnek ve öngörülü üretim gibi yenilikleri gerçekleştirmeye çalışmaktadır (Svensson ve Barfod, 2002; Bruno vd., 2018). Otomatik fabrikalar, kurumsal kaynak planlaması, üretim yürütme sistemleri (MES) ve programlanabilir mantık denetleyicileri dahil olmak üzere üretim inovasyonunu destekleyen teknolojiler, verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır. Şirketler en iyi çabalarına rağmen, üretim teslim sürelerini kısaltmak ve küçük ve özelleştirilmiş ürünler üretmek gibi mevcut üretim ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden yoksundurlar (Wortmann vd., 1996). Bu nedenle, dördüncü sanayi devrimi Nesnelerin İnterneti (IoT), Büyük Veri (BV) ve YZ üzerine odaklanmaktadır.

Endüstri 4.0, büyük ölçüde veriye dayanmaktadır (Porter ve Heppelmann, 2014). Akıllı sistemler, Endüstri 4.0 kapsamında yaptığımız her şey için hayati önem taşıyan verileri üretmekte, iletmekte, depolamakta ve analiz etmektedir (Zhang vd., 2019). Akıllı sistemler, verilerden anlamlı sonuçlar elde etmek için tek bir omurga üzerinde birlikte çalışmalıdır (Napoleone vd., 2020; Thoben vd., 2017). Tüm alanlardaki çeşitli sistemler arasında veri alışverişi, OT ve IT'nin CPS ile entegre edilmesiyle sağlanabilir (Napoleone vd., 2020).

Dördüncü sanayi devrimi, akıllı sistemler geliştirmek için siber-fiziksel sistemlerin (CPS), Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) ve bulut bilişim paradigmalarının entegrasyonunu içermektedir (Chen vd., 2019; Ding vd., 2018; Schwab, 2017). Endüstri 4.0'ın temel amacı, çeşitli BİT (Bilgi ve İletişim Teknolojileri) araçlarını geleneksel

Üretim yöntemleriyle birleştirerek gelişmiş akıllı fabrikalar inşa etmektir. Akıllı fabrikalar, kablosuz veya akıllı sensör/ akıllı aktüatörler gibi IoT teknolojilerine dayalı akıllı ağlar oluşturma, büyük veriye dayalı fabrika durumlarının belirsizliğini ve tüketicici ihtiyaçlarının esnekliğini çözme ile karakterize edilir (Monostori, 2014). Akıllı fabrikalar, fabrika bileşenlerini ve bilgi sistemlerini gerçek zamanlı olarak senkronize ederek önemli miktarda fabrika içi verinin toplanmasını sağlar. Bir tesiste meydana gelebilecek anormal durumlara akıllı ve esnek bir şekilde yanıt vermeleri sayesinde kalite ve üretkenlik artmaktadır (Jazdi, 2014; Lee vd., 2013).

Akıllı fabrikaların inşa edilmesi için bir dizi teknoloji gerekmektedir. Siber-fiziksel sistem (CPS), Endüstri 4.0 için oldukça umut verici bir teknolojidir ve akıllı fabrikanın önemli bir parçasıdır. Siber dünya ve çevresindeki fiziksel ortamlar veya süreçler, CPS'nin bileşimi olan bir internet ortamında veri erişimi yoluyla birbirine bağlanır (Jazdi, 2014). Siber-fiziksel sistemler basitçe, sanal ve gerçek dünyaları internet gibi büyük bir ağ üzerinden birbirine bağlama olgusunu içeren sistemlerdir. Nesnelerin birbirleriyle etkileşimini içeren bu kavram, sensörler tarafından toplanan veriler kullanılarak gerçek dünyadaki hareketlerin sanallaştırılmasını içerir (Geisberger ve Broy, 2012).

Bilgi ve İletişim Teknolojilerini retim ile birleştiren bir CPS yapısı, siber-fiziksel üretim sistemi (CPPS) olarak bilinir. Akıllı fabrikalar, geçmiş ve mevcut durumlara dayanarak geleēi tahmin ederek çeşitli karar verme süreçlerine yardımcı olmak için bir CPPS kullanılarak inşa edilebilir (Lee vd., 2013).

Nesnelerin İnterneti (IoT), sensörleri ve bilgi işlem sistemini entegre eden ve internet aracılığıyla benzersiz şekilde tanımlanabilen nesnelerle ilgili verilerin toplanmasına olanak tanıyan kablosuz bir iletişim yeteneğidir. Büyük veri olarak adlandırılan yeni bir bilgi işlem paradigması, hızlı, çeşitli ve büyük miktarlarda verinin toplanmasına, işlenmesine ve analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Fabrikaların fiziksel sistemleriyle ilgili büyük miktarda yapılandırılmış ve yapılandırılmamış veri, Nesnelerin İnterneti aracılığıyla işlenmekte ve depolanmaktadır. Böylece, mevcut YZ algoritmaları için paralel işleme desteği kullanılarak daha hızlı ve daha doğru kalite ve verimlilik tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Bu sayede CPPS, hem ürünlerin

kalitesini hem de fabrikanın üretkenliğini önemli ölçüde artırabilmektedir (Ning ve Liu, 2012; Bagheri vd., 2015).

CPS, gelişmiş IoT teknolojileri aracılığıyla hesaplama, ağ oluşturma/ iletişim, kontrol ve fiziksel süreçlerle entegre edilebilir (Hui vd., 2020; Wu vd., 2016; Yong vd., 2015). Ding ve diğerlerine (2018) göre, CPS'ler, aktüatörler ve sensörler gibi gömülü cihazların fiziksel dünyayı algılamak, izlemek ve kontrol etmek adına ağa bağlandığı büyük ölçekli, coğrafi olarak dağınık ama birbirine bağlı, çeşitli ve hayat kurtaran sistemlerdir. Dolayısıyla, CPS, gerçek zamanlı algılama ile uzaktan izleme, kontrol ve çalıştırma yeteneğine sahip, birbirine bağlı fiziksel bir sistemdir.

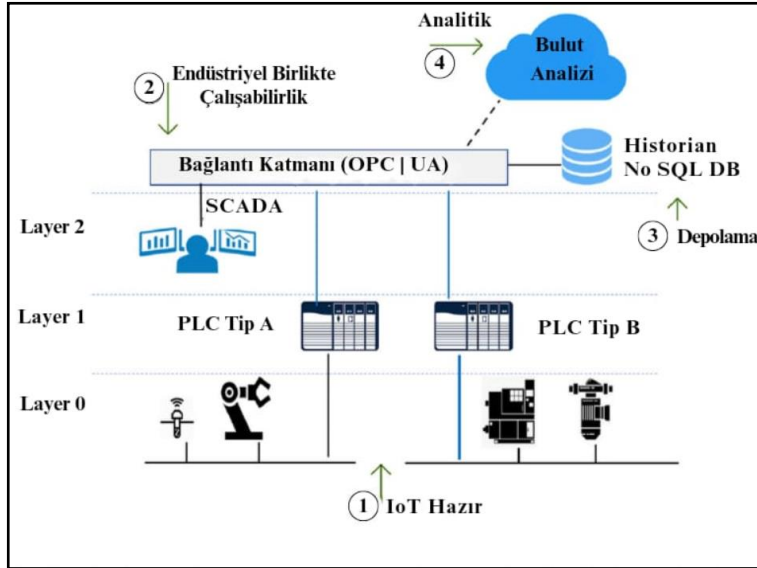
CPS'ler, sensörler, aktüatörler ve işleme düğümlerinin yanı sıra, paylaşılan iletişim ağları aracılığıyla yakından bağlantılı bilgi işlem ve iletişim cihazları gibi siber bileşenlerden oluşan ağları kullanır. Hem kablolu hem de kablosuz CPS sistemleri verilerin algılanması, toplanması, işlenmesi ve iletilmesinden sorumludur (Ding vd., 2018).

Siber fiziksel ağlar içerisinde IoT yapısını gerekli kılan Dijital İkiz teknolojisi makine, araç veya cihaz gibi fiziksel bir varlığın sanal bir temsildir. Verileri, süreçleri, operasyon durumlarını ve varlığın yaşam döngüsünü dijital olarak temsil eden dijital bir kopya oluşturmak için IoT, yazılım simülasyonu ve veri analitiğini kullanır (Jaribion vd., 2020). Fiziksel nesneyi sanal bir alana haritalama süreci, hem fiziksel hem de sanal unsurların etkileşime girmesine ve bu işlevleri yerine getirmesine olanak tanır. Fiziksel muadilin davranışı ve performansı, bu dijital temsili ayarlamak ve ince ayar yapmak için gerçek zamanlı veriler kullanılarak simüle edilebilir. Dijital İkiz, fiziksel nesneye paralel olarak çalışmak için makine öğrenimi ve büyük veri gibi YZ tekniklerinden yararlanan veri odaklı bir model olarak hizmet eder ve teşhis, tahmin ve sistem optimizasyonu hakkında iç görüler sağlar. Dijital ikiz, doğruluğu sağlamak ve karar verme ve performansı optimize etme yeteneğini geliştirmek için sürekli güncellemelere tabi tutulur (Wang vd., 2019).

Kurumların siber-fiziksel sistemlerin hem fiziksel altyapı saldırıları hem de veri yönetimi ve iletişim katmanlarına yönelik siber saldırılar açısından risk altında olduğunu bilmesi önemlidir. CPS'lere yönelik saldırıların geçmişi bunu hatırlatmaktadır (Pascalletti vd., 2013).

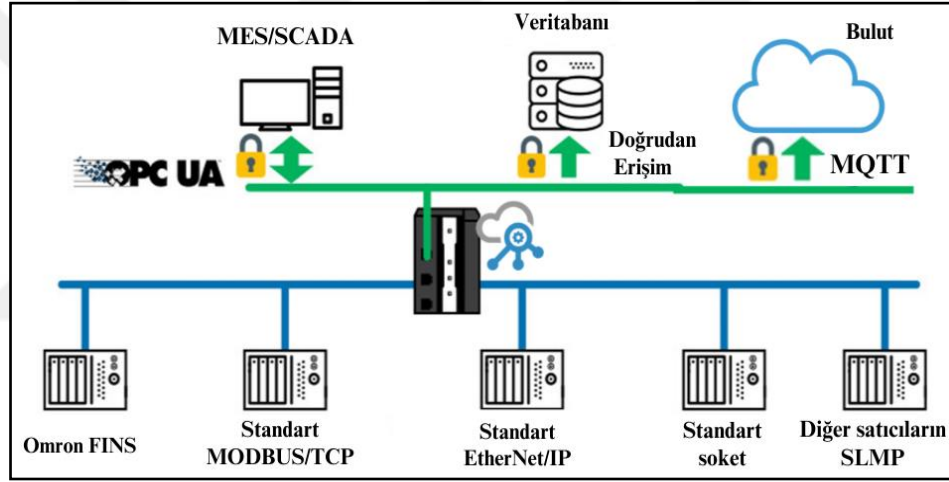
2.1.3.3. Bağlantı Katmanı

Endüstri 3.0 zamanında nesneler arasında yalnızca sınırlı bir bağlantı kurabiliyordu. Farklı protokollere sahip nesnelerin birlikte çalışabilirlik (interoperability) sorunları bunun ana nedeniydi. ISA-95 standardında bulunmayan endüstriyel bağlantı katmanı, IT ve OT katmanlarında farklı iletişim protokolleri kullanan cihazlar için bağlantı sorunlarını ortadan kaldırmaktadır (Aaldering ve Song, 2021; Napoleone vd., 2020). Farklı iletişim protokollerine sahip çeşitli akıllı nesnelerden toplanan tüm veriler, herhangi bir ara yüz yazılımı olmadan bağlantı katmanı aracılığıyla küçük adımlarla OPC|UA standardına dönüştürülebilir (Inductive, 2024). Bağlantı katmanı, iletişim omurgası üzerinde üretilen verilerin toplanması, iletilmesi, depolanması ve analiz edilmesini sağlar. Yukarıda bahsedilenleri gerçekleştirmek için kullandığı araçlar bağlantı portları (OPC|UA, MQTT, REST), veri tabanları ve algoritmalar. Bağlantı katmanı OT entegrasyonu için çok önemlidir. Nesneler arasında bilgi kullanımının birlikte çalışabilirlik sorununu ele almak için, bağlantı katmanı genişletilmiş ISA-95 modeline bir ara katman olarak dahil edilmiştir. Bu sayede farklı protokollerde veri üreten PLC ve SCADA sistemleri arasındaki iletişim artık entegrasyona gerek kalmadan OPC|UA standardı üzerinden yapılabilmektedir (Tamas ve Murar, 2019).



Şekil 21: OT Katmanları ve Bileşenleri/ OT Entegrasyonu (Tesla, 2024)

2008 yılında Open Platform Communications Unified Architecture (OPC|UA) OPC (Open Platform Communication) Vakfı tarafından yayınlanmıştır. Endüstriyel alanlarda kullanılan tüm cihazlar arasında güvenli veri alışverişi OPC|UA sistemi ile sağlanmaktadır. OPC|UA sistemi, çeşitli tesislerdeki makineler, cihazlar ve sistemler arasında veri aktarımına izin verip farklı sistemler arasında bağlantı kurup birbirlerine ortak bir dilde veri aktarılmasına izin verir. Basitçe ifade etmek gerekirse OPC|UA, PLC, SCADA ve ERP gibi donanım ve yazılım platformları arasında tek bir dil kullanılarak iletişim kurulmasını sağlayan bir protokoldür. Bu iletişim yönteminin kullanımı zahmetsiz ve güvenlidir ve veriler kaybetmeden aktarır. OPC|UA 'yı bulut ve gömülü sistemlerde uygulamak da mümkündür (Tesla, 2024).



Şekil 22: OPC|UA Bağlantı Katmanı (Tesla, 2024)

Bağlantı katmanının temel avantajlarından biri, farklı sistemler arasındaki iletişim için standartlaştırılmış bir dil sağlamasıdır. Bu ortak dil, farklı sistemler arasındaki iletişimi kolaylaştırır ve birbirlerini yanlış anlama riskini azaltır. Bu sistem, farklı seviyeler ve sistemler arasında veri alışverişini kolaylaştıran, manuel veri girişi ihtiyacını azaltan ve veri doğruluğunu artıran standartlaştırılmış bir veri alışverişi çerçevesini oluşturmaktadır (Barber, 2023).

Özetle, bağlantı katmanı, verilerin çeşitli konumlardan farklı formatlarda akmasını sağlayarak OT ve IT entegrasyonu içerisinde toplanan verilerin büyük veri analitiği algoritmaları tarafından anlamlı sonuçlara dönüştürülmesini sağlar. İşletmeler böylece doğru kararları hızla alarak karar verme mekanizmalarının çevikliğini artırabilir (Abburu vd., 2020).

2.1.3.4. Bulut Bilişim

Cloud veya diğer adıyla Bulut Bilişim'in birden fazla tanımı ve açıklaması bulunmaktadır (Marston vd. 2011; Leimeister vd. 2010; Lins vd. 2016). NIST tarafından önerilen tanım, uzmanlar arasında Bulut Bilişim'in en yaygın kabul gören tanımı haline gelmiştir. American National Institute of Standards and Technology (NIST), yani Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü Bulut Bilişim'i "Talep üzerine yapılandırılabilen, kolay erişilebilir, kullanıma hazır, yapılandırılabilir bilgisayar kaynakları havuzuna ağ bağlantısı sağlamaya yönelik bir model" olarak tanımlamaktadır (NIST, 2011).

Bu sistem, Bulut Bilişimi'nde yer alan verilere sunuculara, her yerden erişilebilirlik sağlayıp uzaktan çalışmayı mümkün kılar. Bulut hizmetleri, minimum yönetim çabası ile hızla tüm ekosistemin ihtiyaçlarını karşılamak üzere özelleştirilebilir (Sunyaev, 2020).

Bulut Bilişim, IT yapısına kaynak sunumu için baskın bir iş modeli haline gelmiştir ve bilgi teknolojisinde bir evrimi temsil etmektedir. Bireyler ve kuruluşlar, Bulut Bilişim aracılığıyla talep üzerine IT kaynaklarının paylaşılan bir havuzuna erişebilirler. Mobil Bilişim, Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti ve YZ gibi temel dijital trendler, Bulut Bilişim tarafından sağlanan altyapıdan güç almaktadır. Bulut Bilişim'in faydaları ve fırsatları çoktur, ancak müşterilerin verilerinin korunması gibi zorluklar ve endişeleri de içerir (Sunyaev, 2020).

Günümüzde Bulut Bilişim, bulut sistemlerinde büyük miktarlarda verinin üretildiği IoE (Internet of Everything), yani Her Şeyin İnterneti çağına girmektedir. Ancak veri güvenilirliği ve izlenebilirliğinin sağlanması önemli bir zorluk haline gelmiştir. IoT depolama platformunun güvenliğini artırmak için blok zinciri teknolojisine dayalı dağıtılmış bir veri depolama modeli sunmuştur. Bulut Bilişim, günlük yaşamın neredeyse her yönü için temel bir IT altyapısı haline gelmiştir ve içinde yaşadığımız dünyada birçok düzeyde ve çeşitli şekillerde devrim yaratmaya devam edecektir (Yu vd., 2018).

Genişletilmiş ISA-95 modeline eklenen bileşenlerin detaylı tanıtımından sonra, bir sonraki başlıkta bunların ISA-95 modelinin dikey ve yatay entegrasyonunu nasıl oluşturdukları açıklanmaktadır.

2.1.4. Genişletilmiş ISA-95 Modeli içinde Dikey ve Yatay Entegrasyon

1. Yatay entegrasyon,
2. Dikey entegrasyon ve
3. Uçtan uca veya dijital mühendislik entegrasyonu olarak da bilinen, ürün yaşam döngüsünü ifade eden entegrasyondur.

Özellikle standartlaştırılmış süreçler boyunca iletişim ve işbirliğinin otomasyonu, üretim süreçlerinin hem dikey hem de yatay olarak tam dijital entegrasyonu ve otomasyonu için gereklidir (Almada-Lobo, 2015).

Yatay entegrasyon, fabrika içindeki tüm makine, ekipman ve sistemlerin birbirine bağlanması ve birbirlerinden haberdar olması anlamına gelir. Nesnelerin İnterneti, bulut sistemleri, CPS ve bağlantı katmanı tüm sistemin entegrasyonuna, anlık izlenmesine ve sürekli iyileştirilmesine olanak tanır (Oğuz ve Perçin, 2022).

Yatay entegrasyon, işletmenin bir ekosistem oluşturmak için dışarıdan işbirliği yaptığı tedarikçiler, yan sanayiler, lojistik şirketleri, sigortacılar ve diğerleri gibi paydaşlarla bütünleşmesini içerir. Değer ağları aracılığıyla işletmeler arasında işbirliği yatay entegrasyon sayesinde mümkün olmaktadır. Yatay entegrasyonun kullanımı, bulut bilişim aracılığıyla bilgi paylaşımı veya siber fiziksel sistemler aracılığıyla mevcut stok durumunun tedarikçiye aktarılmasıyla yapılabilir (Oğuz ve Perçin, 2022).

Dikey entegrasyon kavramı, işletmelerdeki operasyonel teknoloji (OT) ve bilgi teknolojisini (IT) birleştirmeyi ve ayrıca süreçleri ve diğer sistemleri farklı departmanlar ve iş birimleri arasında entegre etmeyi içerir. Doğru yapıldığında, fabrika sahasını ve süreçlerini, tüm yazılımları ve daha fazlası dahil olmak üzere işletmenin tüm yönlerini kapsar (McLaughlin, 2024).

Ürün yaşam döngüsünün yapısı, dikey ve yatay entegrasyonun uçtan uca bütünleşmesi sayesinde elde edilir. Süreç, müşteri talebinin belirlenmesiyle başlar ve ürün tasarımı, üretim planlaması, üretim, hizmetler ve geri dönüşüm dahil olmak üzere ürün değer zincirindeki tüm iç ve dış faaliyetleri entegre eder. Dijital bir ekosistemin oluşturulması bu yapı sayesinde mümkün olmaktadır (Oğuz ve Perçin, 2022).

Endüstri 4.0'ın odak noktası, müşteriden tedarikçiye kadar sürecin tüm yönlerinin entegre edilmesi ve optimizasyonun tüm değer zinciri boyunca gerçekleştirilmesidir. Bu gelişmelerin yardımı ile imalat süreci ve tedarik zinciri kolaylıkla yönetilebilmektedir. Bu şekilde son tüketiciye ulaştırılan ürün özelleştirilmiş, uygun maliyetli ve geri bildirimi kolaylıkla yapılabilir (Zhou, 2018).

Şekil 20'de gösterilen genişletilmiş ISA-95 modelinde belirtildiği gibi OT katmanı sensörler, PLC'ler ve SCADA'lar gibi fiziksel bileşenlerden oluşur. Farklı iletişim protokollerine sahip *Akıllı Nesneler* (Smart Things), OT segmentinde tüm üretim operasyonlarını yürütmek için kullanılır. Akıllı cihazların iletişim kurabilmesi için bağlantı gereklidir. Başka bir deyişle, IoT uyumluluğu, nesnelerin OT entegrasyonu ile elde edilen omurga ağı içinde CPS iki yönlü iletişim kurması için bir gerekliliktir (Porter ve Heppelmann, 2014). Bağlantı katmanı (Inductive, 2024) aracılığıyla atılan küçük adımlar, farklı iletişim protokollerine sahip çeşitli akıllı cihazlardan toplanan verilerin ara yüz yazılımına ihtiyaç duyulmadan OPC|UA standardına dönüştürülmesini sağlar (Tesla, 2024). İletişim omurgasının verileri bağlantı katmanı tarafından toplanır, iletilir, depolanır ve analiz edilir. Bu görevi yerine getirmek için, bağlantı portları (OPC/UA, MQTT, REST), bir veritabanı ve algoritmalar gerektirir. OT entegrasyonu büyük ölçüde IIoT (Industrial Internet of Everything) platformu olarak da bilinen bağlantı katmanına bağlıdır (Ray, 2016). Genişletilmiş ISA-95 modeline daha açık hale getirmek için bağlantı katmanı bir ara katman olarak eklenmiştir.

Akıllı Üretim (Smart Manufacturing) sıfır, birinci ve ikinci katmanları, ara katmanı olan bağlantı katmanı ve CPS yardımı ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulur. Atölyede akıllı bağlantılı nesneler kullanılarak, bakım ve kalite işlevleri de dahil olmak üzere tüm üretim operasyonunun akıllı yönetimi yoluyla yenilikçi ürünler üretilebilir. OT entegrasyonu, Şekil 20'de gösterildiği gibi tüm bunları gerçekleştirebilir.

IT katmanları arasındaki bağlantı (3 ve 4), ERP, PDM ve MES arasındaki iletişimin yanı sıra CPS, bağlantı katmanı ve bulut sistemi yardımıyla kurulduktan sonra *Akıllı Fabrika* (Smart Factory) ortamı inşa edilir. Akıllı Fabrika, OT ile gerçekleşen CPS omurgası üzerinden yenilikçi ürünlerin en hızlı ve verimli şekilde üretilmesi adına tüm etki alanları dahil olmak üzere tüm iş operasyonlarının akıllıca yönetilmesidir.

Bulut ve CPS sisteminin yatay entegrasyon yapısı 5. katman içinde kullanılabilir olması da *Akıllı Tedarik Zinciri* (Smart Supply Chain) yapısını oluşturur.

Tüm katmanların birbirleriyle uçtan uca (dikey ve yatay entegrasyon) entegre olması şirket genelinde bir *dijital ekosistem yaratmaktadır*.

Akıllı tedarik zinciri yapısı, CPS ve bulut yardımıyla oluşturulan dijital ekosistem, Bulut aracılığıyla diğer akıllı sistemlerle yatay olarak iletişim kurmaya olanak tanır (Larsson ve Wallin, 2020). Eş zamanlı mühendislik faaliyetleri için tedarikçi sistemlerine bağlanmak, tüketici davranışlarını ve ürün performansını izlemek veya Bulut üzerinden trafik ve hava durumunu raporlayan harici sistemlere bağlanmak dijital ekosistem ile daha kolay hale gelmektedir. Sistemin diğer sistemlere bağlantı kapasitesi, ağı genişleten dijital bir ekosistem oluşturur. Akıllı Tedarik Zinciri, yenilikçi ürünler üretmek için müşterileri ve tedarikçileri tesis işlemlerini entegre ederek uçtan uca tedarik zinciri işlemlerinin akıllı bir şekilde yönetilmesidir. Bu durum bulut bağlantısı aracılığıyla sağlanan yatay entegrasyon yoluyla en hızlı ve verimli şekilde yapılır (Schumacher vd., 2016).

Dijital ekosistem sayesinde verilere hızlıca ulaşıp analiz edilebilmektedir. Bunun sonucunda daha hızlı ve doğru kararlar alınabilmektedir (Cimini vd., 2017); Abburu vd., 2020; Pereira ve Romero, 2017). Big Data Driven (BDD) Büyük Veri Odaklı Tedarik Zinciri Yönetiminde entegrasyon ve adaptasyonun üreticiler arasında giderek yaygınlaşmalıdır (Elia vd., 2020).

2.1.5. Genişletilmiş ISA-95 Modeli'nin İşletmeye Sağladığı Faydalar

Bu başlıkta genişletilmiş ISA-95 modelinde yer alan ERP, PDM, MES, CPS ve IoT, Bağlantı Katmanı ve Bulut sistemlerinin faydaları listelenmektedir. Bu bilgilere dayanarak, modelin uygulanmasının sadece dijital bütünsel bir ekosistem oluşturmakla

kalmayıp, özellikle aşağıdaki alanlarda önemli faydaları olduğu bilinmektedir. Bunlar (Dijital Solutions, 2023);

Üretim: Genişletilmiş ISA-95 modelinin üretim alanında uygulanması, iş ve kontrol sistemlerinin daha etkili bir şekilde entegre edilmesini sağlar. Sonuç olarak, görevlerin ve kaynakların optimize edilmiş koordinasyonuna olanak tanıyan ve daha tutarlı ve öngörülebilir üretime yol açan önemli verimlilik kazanımlarıdır. Buna ek olarak, standartlaştırılmış modelleme ve terminoloji, sistemler arasında açık ve uyumlu bir iletişim sağlayarak hataların en aza indirilmesine ve üretken performansın genel olarak iyileştirilmesine katkıda bulunur.

Bakım: Bakım alanında, genişletilmiş ISA-95 modeli ilkelerinin uygulanması, varlıkların ve kaynakların verimli yönetimi için dikkate değer faydalar sağlar. Standardizasyon, üretim süreçlerinin yönetimi ile bakım çalışmaları arasında tutarlı bir bilgi alışverişi sağlar. Bu da öngörücü bakıma yol açarak planlanmamış hareketsizlik süresini azaltır. Ayrıca, bakım prosedürlerinin netliği bu alanda daha etkin maliyet yönetimine katkıda bulunur.

Kalite: Gerçek zamanlı kalite verileri ile standartlaştırılmış kalite kontrolü analizlerin gerektiği zaman yapılmasına ve böylece üretim süreçlerinde sürekli iyileştirmelere yol açar. Bunun sonunda daha güvenilir ürünler üretilip gereksiz maliyetler düşürülür, istenilen kalite ve miktarda siparişlerin zamanında müşteriye ulaşmasına neden olur.

Envanter: Genişletilmiş ISA-95 yönergelerinin uygulanması daha verimli envanter yönetimine katkıda bulunur. Envanterle ilgili iş ve kontrol sistemleri arasında doğru bir şekilde bilgi alışverişi yapılarak envanter seviyelerinin entegre ve gerçek zamanlı bir görünümü elde edilir, bu da stratejik kararları kolaylaştırır ve tedarik zinciri boyunca envanter yönetimini optimize eder.

Genişletilmiş ISA-95 modeli, otomasyon sistemleri ile iş sistemleri arasında etkin entegrasyonu kolaylaştırarak akıcı bir iletişim ve operasyonların birleşik bir görünümünü sağlar. Doğru ve gerçek zamanlı veri sağlayan standart, operasyonel ve yönetim seviyeleri arasındaki bilgi akışını kolaylaştırarak yöneticilerin bilinçli ve stratejik kararlar almasını mümkün kılar. Genişletilmiş model standardizasyonu, sistem entegrasyonunun karmaşıklığını azaltarak daha hızlı uygulamalara ve daha düşük

maliyetlere yol açar. Model, kuruluşların değişikliklere ve teknolojik yeniliklere kolayca uyum sağlamasına ve gelişen bir ortamda rekabetçi kalmasına olanak tanır. Şirketler, uluslararası ortaklıkları ve işbirliklerini kolaylaştıran uluslararası kabul görmüş bir standardı takip ederek küresel standartlara uyum sağlayabilir.

Kısacası, genişletilmiş ISA-95 modeli endüstriyel verimliliğin temel bir bileşenidir. Farklı sistemleri birleştirme ve farklı organizasyonel seviyeler arasında uyumlu entegrasyon sağlama yeteneği, operasyonlarını optimize etmek, inovasyonu teşvik etmek ve rekabetçi olan bir pazarda öne çıkmak isteyen şirketler için vazgeçilmezdir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

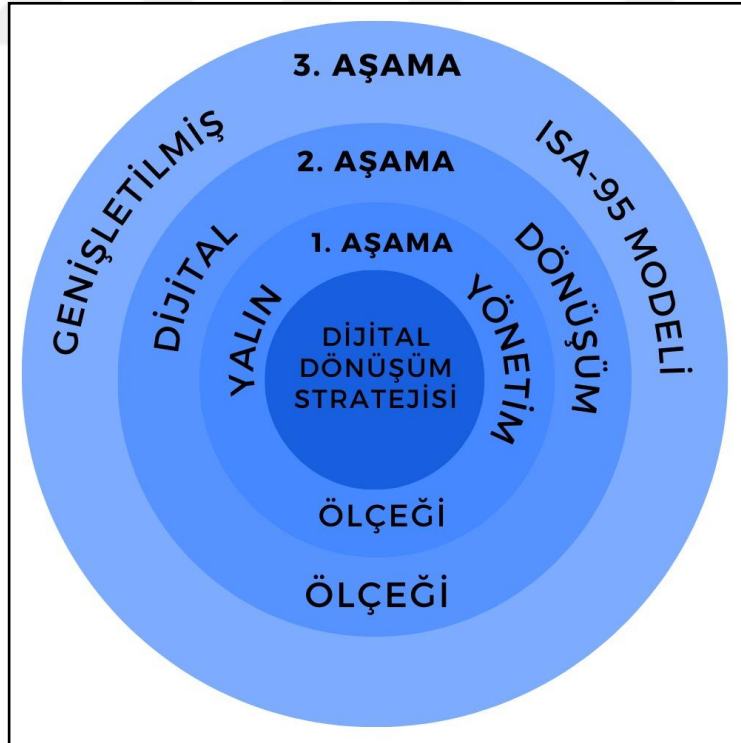
ÜÇ AŞAMALI DİJİTAL DÖNÜŞÜM MODELİ ÖNERİSİ VE BİR İMALAT UYGULAMASI

3.1. Çalışma Hakkında Bilgiler

Bu başlık altında çalışmanın konusu ve amacı, yöntem ve örneklem profili, veri toplama yöntemi ve araçları, veri analiz ve değerlendirme yöntemi, çalışmanın çıktı değeri ve özgünlüğü hakkında önemli bilgiler yer almaktadır.

3.1.1. Araştırmanın Konusu ve Amacı

Dijitalleşme ve dijital dönüşümün farklı sektörlerdeki etkileri ve önemi günümüzde en çok tartışılan konuların başında geliyor. Şirketlerin dijitalleşme ve dijital dönüşüm faaliyetlerinde bulunma konusunda istekli oldukları biliniyor ancak şirket içinde bu konunun nasıl ele alınacağına dair bilgi eksikliği nedeniyle dijital dönüşüm çabalarının ilerletilmesinin önünde bir engel oluşturabiliyor. Bu amaçla bu çalışmada oluşturulan Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin bileşenleri imalat sektöründeki şirketlerin dijitalleşme çalışmalarında kullanılabilecek bir model olarak önerilmektedir.



Şekil 23: Önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli

Yukarıdaki görsele göre şirketler öncelikle yalın olgunluklarını analiz ettikten ve dijital dönüşüm ölçeklerini kullanarak bu konudaki seviyelerini belirledikten sonra genişletilmiş ISA-95 Modeli yardımıyla dijital dönüşüm faaliyetlerini şekillendirebilirler. Büyük bir titizlikle ele alınması gereken bu üç aşamalı çalışma, şirketlerin uygun bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmalarını kolaylaştırabilecektir.

Literatürde farklı sektörlerdeki şirketlerin ihtiyaçlarına göre tasarlanmış ölçekler bulunmaktadır. Şirketler kendi amaçlarına uygun ölçekleri seçerek yalın ve dijital olgunluk seviyelerini hızlı bir şekilde belirleyebilir ve ölçeklerin hangi boyutlarında güçlü ya da zayıf olduklarını tespit edebilirler.

Bu bulguları sunmak için çalışmanın ilk bölümünde dijitalleşme hakkında bilgi verilmiş ve tezin uygulandığı şirketin yalın ve dijital olgunluğunu ölçmek için kullanılan ölçekler tanıtılmıştır. İkinci bölümde ise ISA-95 standardı ve bileşenleri ile genişletilmiş ISA-95 modeli detaylı olarak sunulmuştur.

Yukarıdaki bilgiler ışığında iş modeli geliştirilirken yalın ve dijitalleşme kavramları entegre edilmiş ve bu entegrasyona genişletilmiş modelin yazılım bileşenleri (PDM, ERP ve MES) ve fiziksel bileşenleri (IoT, CPS, Bağlantı Katmanı ve Bulut Bilişim) eklenmiş ve dijital dönüşüm stratejisi oluşturmak için oluşturulan iş modeli bir şirkette test edilmiştir. Elde edilen bulguların şirkete dijital dönüşüm stratejisi geliştirmede yol göstermesi amaçlanmıştır.

Dijitalleşme çalışmaları, şirketlerin bulundukları sektörde rekabet avantajlarını güçlendirmelerini ve hızla değişen sektörel gelişmelere çevik bir organizasyon yapısı ile cevap vermelerini sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma, şirketlerin daha çevik ve esnek bir yapıya sahip olmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda dijitalleşme konularının güncelliğini koruması ve dünyada bu denli önem kazanmış olması nedeniyle çalışmanın bu alandaki literatüre ve farklı sektörlerdeki şirketlere zengin bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3.1.2. Çalışmanın Yöntemi ve Örneklem Profili

Çalışma kapsamında nitel araştırma yöntemi tercih edilmiştir. Nitel araştırmada kullanılan desen “örnek vaka analizidir”. Çalışmanın kapsamı, Türkiye’de yalın yönetim ve dijitalleşme altyapısını kurmuş üretim şirketleridir. Örneklem seçiminde ise amaçlı

örnekleme yöntemlerinden “uzman görüşüne dayalı kolayda örnekleme” yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Şirkette dijitalleşmeden sorumlu idari birimlerde çalışan tüm uzmanlar nitel araştırmamıza katılacak kişilerin evrenini oluşturmuştur.

Önerilen modelin test edilmesinden önce, örneklem evrenini oluşturan şirkette aranan kriterlerin tam olarak karşılandığından emin olmak için söz konusu şirketle uzun ön görüşmeler yapılmıştır. Aranan kriterler aşağıdaki gibidir:

1. Büyük Ölçekli İşletme olması.

2. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, TÜBİTAK, TÜSSİDE, UNDP ve KOSGEB tarafından onaylanmış YODA (Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi) değerlendirmesi ve YODAR (Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi Raporu) raporuna sahip olmak dijital olgunluk için ön koşuldur.

3. Dijitalleşmeye başlamış olması (Dijital Olgunluk seviyesinin mevcut olması).

4. Şirkette, yazılım uzmanlarından oluşan yetkin bir kadrosunun bulunması.

5. Şirketin yetkin bir kadrodan oluşan Ar-Ge merkezinin bulunması.

Yukarıdaki ön koşulların yerine getirilmesi çalışmanın uygulama aşamasının sağlıklı ilerlemesi için son derece önemli olup, uzman görüşleri yardımıyla firmanın yalın yönetim konularında olgunlaştığı ve dijital dönüşüm çalışmalarına başladığı, dolayısıyla bu tez çalışması için uygun bir örneklem olduğu anlaşılmıştır.

3.1.3. Veri Toplama Yöntem ve Araçları

Verilerin toplanmasında nitel yöntemde sıklıkla kullanılan teknikler olan yapılandırılmış ve yapılandırılmamış görüşmeler, doküman analizi ve gözlem yöntemleri kullanılarak örnekleme oluşturan şirket detaylı bir şekilde incelenmiş ve şirketin dijitalleşme sürecine ilişkin veriler toplanmıştır.

Veri toplama işlemi bizzat araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Veriler toplanmadan önce Ege Bayek etik kurulundan gerekli izinler alınmış ve veriler formatta belirtildiği şekilde usulüne uygun olarak toplanmıştır.

3.1.4. Veri Analizi ve Değerlendirilme Yöntemi

Çalışmada görüşme soruları yardımıyla ve önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli ile toplanan tüm verilere odaklanılarak içerik analizi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırılarak açıklanmış, araştırmacının kendi deneyimleriyle pekiştirilmiş ve konuyla ilgili ileride yapılacak çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

Çalışmanın bulguları, şirketin dijitalleşme ve dijital dönüşüm konusunda eksik olduğu konuları ortaya koymayı ve şirketin dijital dönüşüm stratejisi çalışmalarına yol göstermeyi amaçlamaktadır.

3.1.5. Çalışmanın Çıktı Değeri

Öncelikle tez konusu bilime yenilik getiren, yeni bir bilimsel yöntem geliştiren veya bilinen bir yöntemi yeni bir alanda uygulama becerisine sahip konulardan seçilmiştir. Konunun önemi kaynaklara dayanılarak belirtilmiştir. Çalışmanın gerekçesi ve amacı ile tezin neden ve hangi amaçla yapılmak istendiği açıkça belirtilmiştir.

Çalışmanın konusu TÜBİTAK, Cumhurbaşkanlığı Bilim Teknoloji ve Yenilik Politikaları Kurulu ve Ege Üniversitesi'nin Öncelikli Alanları içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada, oluşturulan Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli ile bir imalat firmasının dijitalleşme faaliyetlerine katkı sağlanması ve farklı sektörlerdeki firmaların dijitalleşme faaliyetlerine rehberlik edilmesi düşünülmektedir.

3.1.6. Çalışmanın Özgünlüğü

Yoğun literatür taramalarının ardından, özellikle genişletilmiş ISA-95 modelinin ve bileşenlerinin bir şirketin yapısına göre birbiriyle bağlantısını gösteren ve böylece dijitalleşme faaliyetlerini model üzerinde belgeleyen önemli bir akademik çalışmaya rastlanmamıştır.

Süreç verimliliği ve genel ekipman etkinliğindeki (OEE) iyileştirmelerle ilgili çalışmalar vardır (Apilioğulları, 2022) ancak süreç çıktılarının ortaya çıkmasına yardımcı olan MES çalışmaları akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir kavram değildir. MES'in kuruluşlar üzerindeki etkisine ilişkin akademik çalışmaların eksikliği, MES'in akademik araştırmalarda popüler bir kavram olarak kullanılmadığını göstermektedir (Mantravadi ve Møller, 2019).

Aynı zamanda, çalışmalarda modelin OT tarafına odaklanılmıştır, ancak IT entegrasyonunun CPS yapısında nasıl olacağına dair kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Bazı çalışmalar IT entegrasyonunu PDM ve PLM bağlamında incelemiş olsa da ISA-95 modelini temel alan çalışmalar sınırlıdır (Gürsoy, 2021; Elliott, 2013; Cottyn, 2012; Akgöz vd., 2022; Qui, 2014; Mahmoud, 2015; Scholten, 2009; Mantravadi ve Møller, 2019). Bunun nedenlerinden biri dijital dönüşümün ağırlıklı olarak OT entegrasyonu olarak görülmesidir. Bununla birlikte, IT tarafındaki tüm iş yazılımlarının ISA-95 standardında temsil edilmediği daha önce gösterilmiştir (Apilioğulları, 2022). Derinlemesine nitel bir araştırma sonucunda, operasyonel ve yazılım katmanlarının entegrasyonunu gösteren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aynı zamanda literatürde ERP, PDM ve MES yazılımlarının üçünü bir arada ele alıp CPS, Bağlantı Katmanı ve Bulut sistemlerini genişletilmiş ISA-95 modeline göre üretimde dijitalleşmeyi inceleyen bir çalışma da bulunmamaktadır (Apilioğulları, 2022).

Bunların yanı sıra dijital dönüşüm konusunda yalın yönetim, dijital dönüşüm ve dijitalleşme konularını bir modelde birleştirerek bir şirkette inceleyen ve elde edilen bulgularla şirketin dijital dönüşüm faaliyetlerine katkı sağlayan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın özgünlüğü yüksek olup akademik literatüre zengin bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3.2. İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Bobin üretimi yapmak üzere 1966 yılında kurulan bu büyük ölçekli şirket, 1987 yılında önce tek fazlı elektrik motorları, ardından da üç fazlı elektrik motorları üretmeye başlayarak elektrik motoru üretim sektöründe önemli bir oyuncu haline gelmiştir. Şirketin ürün yelpazesi, teknoloji yatırımları ve araştırma-geliştirme faaliyetleri sayesinde 450 kW gücünde 56 tip gövdeden 355 tip gövdeye ulaşmıştır. Şirket 45.000 m2 üretim alanına sahip olup 700'den fazla çalışanına istihdam sağlamaktadır. Şirket, Türkiye'nin en büyük elektrik motoru üreticilerinden biri olarak elektrik motoru sektöründe başarılı projelere imza atmıştır.



Şekil 24: Elektrikli Motor

Şirketin elektrik enerjisi tüketimini azaltmaya ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları, IE3 verimlilik sınıfında elektrik motorlarının piyasaya sürülmesiyle sonuçlanmıştır. IE4 ve IE5 motorlarının Super Premium enerji seviyesi, kendi araştırma ve geliştirme patenti sayesinde elde edilmiştir. Aynı zamanda 2021 yılında araştırma ve geliştirme merkezi haline gelen şirket, uluslararası pazardaki işbirliklerine de devam etmektedir.

Şirket 2017 yılında üretmeye başladığı yeni teknoloji ve kompakt seri ürünü ile dünyanın en verimli motorunu hem yurt içi hem de yurt dışı pazarlara sunmaktadır. Türkiye'de gelişmeye ve büyümeye devam eden şirket, başta Almanya olmak üzere diğer Avrupa ve Orta Doğu ülkelerine de ihracatını artırmayı hedeflemektedir.

3.3. Şirketin Yalın Ve Dijital Olgunluk Değerlendirilmesi

Çalışmanın birinci bölümünde ele alındığı üzere yalın yönetim, Endüstri 4.0 ile birlikte son yılların en baskın üretim paradigmasıdır ve süreçlerin karmaşıklığını azaltarak, akışı kolaylaştırarak, görsel kontrol ve standardizasyon sağlayarak süreç inovasyonunun önemini vurgulamaktadır. Yalın yönetim felsefesine göre, bir süreç veya ürüne değer katmayan her şey israf olarak kabul edilir. Bu nedenle şirkette öncelikle YODA analizi yapılmış ve şirketin yalın olgunluğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar aşağıdaki başlıkta yer almaktadır.

3.3.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA)

Çalışmanın birinci bölümünde tanıtılan ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından KOSGEB İşletme Geliştirme Programı Yalın Dönüşüm Desteği kapsamında işletmelere uygulanmak üzere oluşturulan Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi (YODA) ile işletmenin yalın olgunluğu ölçülmüş ve böylece işletmenin yalın olgunluğu altı boyutta belirlenmiştir. Ölçeğin uygulanması öncesinde firma yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir.

Yalın olgunluk değerlendirme analizi sonucunda 93 puan alan şirketin yalın yönetim olgunluğu önceden belirlenmiş olan 50 puanın üzerinde olduğu için oldukça yüksektir. Aşağıdaki tablo, YODA çalışmasının boyutlara göre puan dağılımını göstermektedir.

Boyutlar/ Sorular	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Boyut bazlı puan toplamaları
A Üst yönetim farkındalığı	3	3	3							9
B Standardizasyon	2	2	3	3	3	3	3			19
C Değer akışı	3	3	3							9
D Üretim akışı	3	3	3	3	3	2	2	3	3	25
E Çekme sistemi	3	3	2							8
F Sürekli iyileştirme	3	3	3	3	3	3	2			20
Genel Seviye	93/32 (2,91) 3 Puan ortalaması= Yeterli bilgiye sahip									
Toplam Puan	90+3= 93									

Tablo 2: YODA Puanlaması

YODA çalışmasının olumlu sonuçları, şirketin *üst yönetiminin* yalın üretim konsepti ve yalın üretim felsefesi hakkında çok iyi bilgi sahibi olmasından kaynaklanmaktadır. Şirkette yalın uygulamaların planlandığı, izlendiği ve koordine

edildiği özel bir birim bulunmaktadır. Dolayısıyla Kaizen felsefesi şirketin tüm alanlarında benimsenmiş ve çeşitli eğitimlerle desteklenmektedir. Yalın üretim uygulamaları her gün gerçekleştirildiği için eğitimlere katılım oldukça yüksektir. Ayrıca üst yönetim de eğitimleri desteklemekte ve çalışanları bu alanda teşvik etmektedir. Şirket farklı danışmanlıklardan yararlanarak OpEx sistemi içerisinde operasyonel mükemmelliği hedeflemektedir. Bu nedenle belirlenen israf alanları üzerinde sürekli çalışmalar yapılmakta ve şirket yapısı iyileştirilmektedir. Bu kapsamda şirketteki israfın azaltılması için iyileştirme faaliyetleri yürütülmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Çoğu durumda israfın kök nedenleri tespit edilir ve operasyonlar iyileştirilir.

Standardizasyon çalışmaları kapsamında süreçler kronometreyle düzenli olarak ölçülmektedir. Her operasyon için bir zaman etüdü bulunmaktadır ve bu nedenle zaman etütlerinin güvenlik seviyeleri yüksek ve günceldir. Üretim birimlerinin her biri için OEE hedefleri bulunmakta ve bunlara ulaşamaması durumunda raporlar hazırlanarak hedeflere ulaşmaya çalışılmaktadır. Ergonomik prensipler şirket için çok kritiktir ve üretim alanında elle kaldırılacak motorlar belli bir hatta, vinçle kaldırılması gereken motorlar ise ayrı bir hatta konumlandırılmıştır.

Değer akış haritaları yardımıyla darboğaz oluşturan alanlar hızlı bir şekilde tespit edilir ve bunlara karşı yeterli önlemler alınır. Değer akış haritaları sayesinde israfın azaltılmasına yönelik çalışmalar yeterli düzeyde yürütülür ve kayıt altına alınır.

Stok maliyetleri kabul edilebilir düzeydedir ve ara stoklarla sorunsuz malzeme akışı gerçekleştirilmektedir. Ana üretim programları müşteri talepleri ile örtüşmekte ve parti büyüklükleri bu plana uygun şekilde oluşturulmaktadır. SMED çalışmaları düzenli olarak yapılmakta ve kurulum süreleri (setup süreleri) kısaltılmaktadır. Kontrol mekanizmaları yardımıyla proses anomalileri bir sonraki prosese geçmeden önce tespit edilir. Kök neden çalışmaları ile proses anomalileri tespit edilir ve giderilir. İş istasyonlarında 5S çalışmaları mevcuttur. Toplam verimli bakım planları üretim planları ile uyumludur. Otonom bakım talimatları gerçekleştirilmekte ve kestirimci bakım faaliyetleri devam etmektedir. Plansız bakım duruşları ise azalmıştır.

Sipariş girildikten sonra tüm süreçler için iş emirleri tanımlanır ve *çekme sistemi* devreye alınır. Bu bilgiler doğrultusunda tam zamanında üretim yaklaşımı yeterince desteklenmekte ve üretim akışının aksamadan gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır.

Yönetim, doğru araçları yeterli düzeyde kullanarak *sürekli iyileştirme* kültürünü hayata geçirmektedir. Ödüllendirme sistemi uygulanmakta ve düzenli Kaizen komiteleri aracılığıyla ekiplere dağıtılmaktadır. Ana ve alt süreçler için güncel anahtar performans göstergeleri (KPI) üst yönetim tarafından belirlenir. Organizasyon genelinde görsel yönetim yaklaşımları mevcuttur. Bunlar bilgisayarlı grafikler ve raporlarla desteklenmektedir.

Kuruluşun dijital uygulamaları uzun süredir devam etmektedir. ERP, PDM ve MES entegrasyonu mevcuttur. Üretim süreçlerine ilişkin veriler toplanabilmekte ve analiz edilebilmektedir.

Şirketin yalın olgunluk değerlendirmesi ve bulguları, şirketin bu konuda yüksek bir olgunluk seviyesine sahip olduğunu göstermektedir. Birinci bölüm altında yer alan bilgilere göre yalın yönetim dijitalleşmeyi destekleyebilir. Yalın ilkeler, dijital çözümleri entegre etme süresini kısaltıp gerekli verilerin toplanmasını basitleştirmektedir. Bu bilgiler ışığında, bu çalışmanın sonraki başlıkları şirketin dijital olgunluğunu ölçecek ve değerlendirecektir.

3.3.2. D3A Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı

Şirketin dijital dönüşüm stratejisi “Mega Hedefler” adı altında tanımlanmaktadır ancak henüz yazılı bir formatta mevcut değildir. Şirket bu hedeflere Japonya'da ortaya çıkan ve Hoshin Kanri ya da Hoshin Planlama olarak da bilinen bir metodolojiyi kullanarak ulaşmaya çalışıyor.

Şirketin Hoshin Kanri çalışmaları, 5 yıllık genel stratejilerine ulaşmak için bir yıl içinde ulaşmaları gereken KPI'ları içeriyor. Bu çalışmada şirketin birimleri, genel dijital stratejilerine uygun olarak kendi durumlarını ortaya koyup hedeflerine ulaşmak için projelerinde ne kadar ilerlediklerini göstermektedir.

Dijital Dönüşüm Değerlendirme Analizleri, şirketlerin dijital dönüşüm konularına ışık tutmayı ve dijital dönüşüm stratejileri için bilgi toplamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, şirketin organizasyonel ve dijital kaynaklarını ve yetkinliklerini anlamak için şirket görüşmeleri gerçekleştirilmiş ve mevcut durum değerlendirmesi için gerekli bilgiler şirket yetkilileri ile birlikte toplanmıştır. Çalışmada şirketin dijital olgunluk analizi, birbirini tamamlayan farklı olgunluk analizleri ile

ölçümlenerek dijital dönüşüm yol haritalarının oluşturulmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilen, TÜBİTAK ve TÜSSİDE'nin dijital dönüşüm çalışmalarında da kullanılan dijital dönüşüm seviye analizi D3A, şirketlerin dijital olgunluk seviyesini farklı boyutlarda ölçmektedir. Bu amaçla aşağıdaki boyutlara ait toplam 63 soru ile şirketin dijital olgunluğu analiz edilmiştir.

Kurumsal Yönetim	Strateji geliştirme yöntemi, dijitalleşme stratejisi, çalışan gelişim ve eğitimleri, bilişim teknolojisi yapılanması, veri kullanımı
Müşteri Yönetimi	Satış, pazarlama, sipariş, müşteri verisi ve satış sonrası hizmetler
Ürün ve Ar-Ge Yönetimi	Ür-Ge ve Ar-Ge yapısı, inovasyon faaliyetleri, ürün özelleştirmesi, ürünlerin dijitalleşmesi ve üründen toplanan veriye ilişkin yeni ürün ve hizmet yaratılması
Tedarik Yönetimi	Planlama ve malzeme gereksinimi, tedarik, stok, depo ve sevkiyat
Üretim Yönetimi	İş emirleri, çizelgeleme, duruşlar, malzeme hareketleri, kalite ve bakım

Tablo 3: Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A)

Ölçeğin uygulanmasından önce şirket yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış, ardından saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamlı görüşmelerde farklı birimlerin yöneticileri ve çalışanları tarafından ölçek sorularına detaylı yanıtlar verilmiştir. Bu sorulardan elde edilen bulgular aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur.

3.3.2.1. Kurumsal Yönetim

1. İşletmede Yönetim Kararları Nasıl Alınır?

Kurumsal yönetim kararları yönetim kurulu, icra kurulu ve müdürler kurulu tarafından alınmaktadır. Sistemde farklı birimlere ait ortak veriler bazında oluşturulan dijital dosyalar ve bunların raporları değerlendirilerek yönetime sunulur. Bu raporlar kişisel bilgi ve tecrübeler yardımıyla yöneticilere karar desteği sağlamaktadır. Bu

kararlar şirketin 5 yıllık stratejilerine (Mega hedefler) ve her birimin çalışmalarına uygun olarak alınmaktadır. Kararlar alınmadan önce birimler tarafından sunulan raporlar Hoshin Kanri çalışmalarında analiz edilerek sistemin ürettiği raporların uyumluluğu tartışılır ve genel stratejiye uygun kararlar alınır.

2. Yazılı Bir Stratejik Plan Var Mı? ve 3. Dijitalleşme ile İlgili Bir Strateji Var Mı?

Şirketin dijital dönüşüm stratejisi “Mega Hedefler” adı altında tanımlanmış olup henüz yazılı bir formatta mevcut değil. Şirket bu hedeflere Hoshin Kanri veya Hoshin Planlama olarak bilinen bir yöntem kullanarak ulaşmaya çalışmaktadır.

4. İş Süreçleri Tanımlı mı?

Kalite Belgesi Entegre Yönetim Sistemi adlı program yardımıyla şirketin iş süreçleri ve görevleri tanımlanmış ve şirketin dijital ortamında yer almaktadır. Bu program genel olarak kurumların ve işletmelerin yönetimi dahilinde uygulanacak her türlü standardın yönetilmesi ve izlenmesi için geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu sistem, kurumların ve şirketlerin kendi içlerinde yürüttükleri birden fazla sistemi bir araya getirmek ve herhangi bir sistemsel aksaklık ya da sorun yaşanmaması için sistemler arasında bütünsel bir bakış açısı oluşturmaktadır.

İşletmeye birçok avantaj sunan bu program, modüler yapısı ile kalite ve yönetim sistemleri dahilinde takip edilmesi gereken tüm süreçleri yürütme imkanı da sağlamaktadır. Kalite Belge Entegre Yönetim Sistemi yardımıyla öncelikle iş takibi sırasında oluşabilecek tüm karışıklıkların önüne geçiliyor ve iş süreçlerinin takibi sağlanıyor. Bu yazılım sayesinde firmalar, iş süreçlerinin standartlarını takip ederek zaman açısından büyük bir tasarruf elde ediyor. Standartların korunmasına yardımcı olan yazılımlar, kuruluşun iş süreçlerine olan güveni artırıyor.

5. Birimler Arası İş Birliği Ne Seviyede?

Şirket, çevrimiçi işbirliği araçları uygulamaları kullanmaktadır. Şirketlerin ve bireylerin fiziksel konumlarından bağımsız olarak ortak projeler üzerinde birlikte çalışmalarını sağlayan farklı yazılım türlerini ve çevrimiçi hizmetleri tanımlamak için kullanılan yazılımın temel amacı, çalışanları ortak bir alanda birleştirmektir.

Grup iletişimi için gerçek zamanlı mesajlaşma, grup sohbeti, dosya paylaşımı, paylaşılan takvim, proje koordinasyonu, ses ve video seçenekleri sunan bu yazılımlar, merkezi olarak yönetilebiliyor ve görevleri kolaylaştırıyor.

Yukarıdaki bilgilere dayanarak, şirket işbirliğine yüksek derecede önem veriyor ve işbirliği araçları aracılığıyla aktif projeler yürütüyor. Bu sayede çalışanlar her an her yerden güncel kalabiliyor ve projeleri destekleyebiliyor.

Şirket aynı zamanda projelerini ve genel faaliyetlerini yönetmek için kendi işbirliği yazılımını kullanmaktadır. Bu yazılım, Gantt şemaları ile proje yönetimi, gelişmiş süreç diyagramları, kullanıcı görevleri ve tüm yönetim verilerinin tek bir merkezi platformdan yönetilmesine yardımcı olacak araçlar koleksiyonu gibi yönetim araçlarını içerir. Bu program, PDM ile birlikte veya kendi arayüzünde, tasarım ve yönetim verilerine tek bir ortamdan erişim sağlar. Bu, ürünle ilgili projeleri herkes için erişilebilir hale getirir ve her zaman güncel ve doğru olmalarını ve çalışma ekibinin görevlerini ve projelerinin durumunu takip edebilmelerini sağlar. Aynı zamanda projelerle ilgili gelişmiş rapor çıktıları kolayca elde edilebilir ve iş süreçleri daha verimli bir şekilde yönetilebilir.

Ayrıca şirket, iş süreçlerini daha verimli yönetmek için bir iş akışı ve belge yönetimi programı kullanıyor. Böylece çalışanların gerekli belgelere her yerden ulaşarak görevlerini yerine getirmelerine yardımcı olunuyor. Dağıtılan görevler için son tarihler tanımlanıyor ve tamamlanma süreleri ölçülüyor. İşlerin anlık takibi ve süreç yönetim performanslarının ölçümü şirkete çeviklik kazandırır. Sorunlu süreçler erkenden tespit edilebiliyor ve uygun iyileştirme yöntemleri uygulanıyor. Bu sayede şirketin çevik olması sağlanmaktadır. Kaynak planlaması ile çalışanların zamanı en verimli şekilde kullanılır. İşlerin tanımlanmış kurallara göre yapılması süreç otomasyonunu sağlar. Sistem, doğru belgelerin doğru kişiye zamanında ulaştırdığı için kurum içinde belgelerin güvenli paylaşımı gerçekleşiyor.

Yukarıda bahsedilen sistemlerin yanı sıra şirket içerisinde birimler arası işbirliğini güçlendirecek başka sistemler de bulunmaktadır.

6. Mali Kayıtlar Nasıl Oluşturuluyor?

Şirket bu amaçla yıllık bütçe programından yararlanmaktadır. Bu program yardımıyla tüm departmanlar bütçe sürecine dahil edilmekte, yıllara ait veriler analiz

edilmekte ve karşılaştırmalar yapılmaktadır. Program ile bütçeyi etkileyen parametreler ve faktörler kolaylıkla oluşturulmakta ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunmaktadır. Verimliliği etkileyen doğru kararlar almak için fırsatlar sunan program ile bütçenin hesaplanmasına yardımcı olan parametreler ve veriler değiştirilebiliyor, elde edilen finansal raporlar analiz edilebiliyor. Farklı parametre senaryoları oluşturularak raporlar ile karşılaştırmalar yapılabiliyor. Bu sistem entegrasyon özelliği sunduğu için ERP ve CRM gibi sistemlerle çift yönlü veri akışı sağlayabilir ve verilerin doğruluğunu artırır. Bu program tüm temel verileri sistemden çektiği için hatalı sonuç ihtimalini en aza indirecek güce sahiptir.

7. İşletmede Bilgi Sistemlerinden Kim Sorumlu?

Şirketin farklı gruplardan oluşan çok yetkin bir IT ekibi bulunmaktadır. Kullanılan yazılımlar için her tesise bir IT temsilcisi verilmekte ve bu tesislerde ayrı ayrı ve ortak projeler yürütülmektedir. Bu temsilcilerin her biri her tesiste bir IT grubu oluşturmaktadır.

8. İşletmede Siber Güvenlik Sistemleri Var Mı?

Şirkette farklı siber güvenlik sistemleri mevcuttur. Bununla ilgili bilgiler aşağıda yer almaktadır:

- Veri güvenliği politikası uygulanmaktadır ve bununla ilgili eğitimler verilmektedir.
- Verilere ulaşabilmek adına yetkiler verilmektedir. Şirket içerisinde her veriye herkes ulaşamamaktadır.
- Dışarıdan gerçekleşebilecek olası saldırılara karşı siber güvenlik sistemleri hep mevcuttur. Bulut ile güvenlik seviyesi daha kapsamlıdır.
- Şirketin şirketler grubunun Bulut merkezi bulunmaktadır. Oraya 10 Megabitlik bağlantı ile sürekli veriler taşınmaktadır.
- İki katmanlı Siber Saldırı katmanları mevcuttur. Bu konulara çok önem verilmektedir.

Birinci Siber Saldırı Koruma Katmanı:

- Cyber Security anlamında penetrasyon testleri uygulanmaktadır.
- Anti- Virus programları vardır
- Firewall vardır

- Koruyucu birçok sistem vardır

İkinci Siber Saldırı Koruma Katmanı:

- Tüm yazılım ve verileri Bulut'a taşındığı için Bulut koruyucuları vardır

Şirket, sistem açıklığını test etmek amacıyla belirli aralıklarla penetrasyon (sızma) testleri gerçekleştirmektedir. Bu testler hem şirket tarafından hem de dış hizmet sağlayıcılar tarafından gerçekleştirilmektedir.

9. Şirket Dışından Anlık Veriye Ulaşılabilir Mu?

Şirket Bulut üzerinden anlık verilere erişebilmektedir. Çalışanlar bu nedenle internet bağlantısı, VPN girişleri ve erişim izinleri ile Bulut üzerinden şirket bilgilerine ulaşabilir.

- Çalışanların ayrıca mobil cihazları için de yetkileri vardır.
- Genel yetkiler yardımı ile herkes her yere bağlanamaz. Bunun için çalışanların yetkinliklerine göre Exchange hesapları bulunmaktadır.

10. Çalışanların Eğitim ve Gelişimi Nasıl Yönetiliyor? ve 11. Çalışanların Dijital Yetkinliklerini Geliştirmek için Ne Yapılıyor?

Sistemlerin dijitalleşmesi öncesinde çalışanların bu yeni döneme uyum sağlamalarına yardımcı olmak amacıyla Ege Üniversitesi ile birlikte kapsamlı bir eğitim serisi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda şirket çalışanları dijitalleşme konularında şirket içi eğitimler de almaktadır. Bu amaçla şirketin bir kurum içi eğitim kampüsü bulunmaktadır. Bu dijital platform üzerinden şirket grubunun tüm çalışanları istedikleri zaman istedikleri konuda farklı eğitimler alabilmektedirler.

Şirketin insan kaynakları birimi alınan eğitimleri belgelendirip çalışanların eğitim performansını ölçebilmektedir.

12. Şirket İçinde Yeni Fikirler Nasıl Toplanıyor?

Sipariş girişinden ürün sevkiyatına kadar şirkette inovasyon yönetimi uygulamaları yer almakta ve ilgili proje çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin amacı işi kolaylaştırmak, verimliliği artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmektir.

Şirket ayrıca ekip işbirliğini güçlendirmek ve şirketin proje verimliliğini artırmak için proje yönetim programı aracını kullanmaktadır. Bu program sayesinde her ekibin proje çalışmaları takip edilebiliyor, böylece ekiplerin hangi projeler üzerinde çalıştığının güncel durumu programla izlenebiliyor.

Şirket, çalıştaylar aracılığıyla çalışanlardan proje fikirleri toplamakta ve uygun bulunan fikirler projeye dönüştürülmektedir. Üzerinde çalışılan projeler şirket içinde paylaşıyor ve en başarılı projeler seçiliyor.

Şirketin Kaizen Kurulu, üretim sistemindeki ve diğer birimlerin sistemlerindeki sorunları belirler, böylece süreçlerin ve projelerin sürekli iyileştirilmesini sağlar ve yeni proje fikirleri üretir.

Bu faaliyetlere ek olarak, şirketin bir proje yönetim ekibi vardır. Bu ekip, kuruluşun proje yönetim standartlarını tanımlayarak projelerin sürdürülmesini sağlar. Ekip, projelerle ilgili tüm belge ve bilgileri yönetir ve kendisine bağlı olan projelerin yürütülmesine yardımcı olur. Ekip, kuruluşun yatırımlarından geri dönüş almasını sağlar ve projeler, programlar ve portföyler aracılığıyla paydaşlarına değer sunmalarına yardımcı olur.

3.3.2.2. Müşteri Yönetimi

1. Satış ve Pazarlama Faaliyetleri Nasıl Yürütülmektedir?

Genel olarak, ürünler Türk ve yabancı pazarlarda mevcuttur. Ürünler bayiler aracılığıyla Türk müşterilere satışa sunulmaktadır. Bayiler müşterilerden manuel olarak sipariş almakta, satış ve pazarlama faaliyetlerini manuel olarak yürütmektedir. Bu aşamaların dijitalleştirilmesi şirketin gelecek projeleri arasında yer almaktadır.

Şirket yurtdışı satışlarında bayilerle çalışsa da ağırlıklı olarak OEM müşterilerden faydalanmaktadır. OEM, “Orijinal Ekipman Üreticisi” anlamına gelir. OEM bir ürünü tasarlar ve diğer şirketler tarafından satılmak üzere üretir. Başka bir deyişle, OEM'ler bir ürün üretir ve bunu perakendecilere veya distribütörlere satar.

Şirketin OEM müşterilerinden bazıları siparişlerini dijital sistemleri aracılığıyla şirkete gönderir ve şirket bu siparişleri ERP sistemine işler ve ardından üretim planlaması gerçekleşir.

2. Satış Tahminleri Nasıl Yapılmaktadır?

Şirketin yıllık üretim planları yılın Eylül ayında şekillenmeye başlar. Bu amaçla müşteri ve bayilerden yıllık sipariş talepleri/ öngörüler toplanır ve ERP'den geçmiş satış bilgileri kullanılarak yıllık üretim planı oluşturulur. Ardından Satış ve Operasyon

Planlaması gerçekleştirilir. Yıllık satış taleplerinin gerçekleşen üretim rakamına çok yakın hesaplanması şirketin yılsonu bütçe çalışmalarını doğrudan etkilemektedir.

3. Satış Verileri İşletmenin Diğer Birimleri ile Nasıl Paylaşılır?

Satış verileri ERP'den çekilerek yetkili kişiler tarafından takip edilebilir ve raporlar ile karar destek mekanizması sunar. Aynı zamanda programlar yardımıyla veriler görselleştirilir ve en ince detaylarına kadar analiz edilebilir.

4. Teklifler Nasıl Oluşturulur?

Müşteriye sunulan teklifler şirketin dijital teklif formatında oluşturularak müşteriye ulaştırılır. Eğer müşterinin dijital teklif programı yoksa, teklifler müşteriye e-posta yoluyla gönderilir. Bu bilgilerden yola çıkarak müşterilerle kısmen yatay dijital sipariş entegrasyonu sağlanır.

5. Müşteriler Dijital Ortamlar Üzerinden Ne Yapabilir?

Müşteriler, ürünlerin üzerindeki QR kodlar aracılığıyla ürün bilgilerine ulaşabilmektedir. Şirketin kurduğu müşteri bilgi sistemi dahilinde müşteri, ürünle ilgili tüm dokümanlara ulaşabilir ve ürün taleplerini dijital ortamda oluşturarak şirkete aktarabilir.

2024'ün son çeyreğinde şirketin müşteri bilgi sistemi, ürünlerin teknik dokümantasyonunu içeren dijital ikizler ile entegre olacak. Burada yer alan bilgiler müşterilerin erişimine açılacak.

6. Müşterilerle Yapılan Görüşmeler ve Müşteri Bilgileri Nasıl Kaydedilir?

Şirketin CRM sistemi, müşteri bilgilerini kaydetmek için kullanılır. Aynı zamanda bu yazılım, şirketler arasında yatay bir entegrasyonun gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Şirketin CRM programı bu sayede hem sipariş, hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir ve böylece bulut entegrasyonu içinde bir yatay entegrasyon yapısını oluşturma gücüne sahiptir.

7. Siparişler Nasıl Alınır?

Şirket iki şekilde sipariş alabilmektedir. Birincisi, şirket CRM üzerinden sipariş girişlerini gerçekleştirebilir ve aynı zamanda siparişler telefon ve e-posta yolu ile alınabilir. İkinci olarak, şirketin bayileri CRM aracılığıyla müşterilerden gelen siparişleri şirkete bildirir.

8. Satış Ekibi, Bayi ve/veya Distribütör Performansı Nasıl Takip Edilir?

Şirketin satış ekibinin ve bayilerinin anahtar performans göstergeleri vardır. Satış performansları bu anahtar performans göstergelerine göre değerlendirilmekte ve ödüllendirilmektedir. Bu amaçla şirketin satış müdürü anahtar performans göstergelerine göre çeyrek yıllık raporlar hazırlar.

9. Müşteri Projeleri Nasıl Takip Edilir?

Müşteri projelerinin yönetimi proje yönetim programı üzerinden sağlanmaktadır. Gelecekte, projelerin müşterilerle birlikte izlenmesi ve yönetilmesi için müşterilerin proje yönetim programına entegre edilmesi hedeflenmektedir.

Henüz tanımlanmamış ürünler müşteriler tarafından talep edildiğinde ürün yönetim ekibi ürünün üretilebilirliğini kontrol eder, ürün üretime uygun görülürse ürünün malzeme listesi hazırlanır. Daha sonra proje yönetim programı sistemi yardımıyla ürünle ilgili tüm bilgiler Ar-Ge yönetimine ulaştırılır, burada ürünün tüm bileşenleri ve bilgileri tekrar kontrol edilir, kalite standartları ve üretim talimatları oluşturulur ve ürün tasarımları gerçekleştirilir. Ürün kodları ve yeni ürüne ait tüm bilgiler sisteme girildikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelir. Ürün müşteri tarafından onaylandıktan sonra üretim çevrim süresi 7 ila 8 hafta içerisinde tamamlanır. Yeni projelerin şirkete sunulması, gerekli üretilebilirlik testlerinin yapılması ve üretime hazır hale getirilmesi için geçen süre ise 2 haftadır. Bu yeni projelerin üretime hazır hale getirilmesi için geçen süre de göz önünde bulundurulduğunda, yeni ürünlerin sevkiyata hazır hale getirilmesi 8 ila 10 hafta sürmektedir.

10. Müşteri Geribildirimleri, Satış Sonrası Teknik Servis, İade, Şikayet Gibi Konular Nasıl Takip Edilir?

Firmanın bayileri müşteri şikayetlerini CRM üzerinden sisteme girerek firmayı bilgilendirmektedir. Şikayete neden olan sorunlar şirketin kalite ekibine ulaştıktan sonra gerekli incelemeler yapılır ve bayilere sistem üzerinden geri bildirim sağlanır. Şirketin CRM programı bu sayede hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir.

Şirket, sosyal medya hesaplarını da bir ajans aracılığıyla aktif olarak yönetir. Pazarlama ekibine bağlı olarak çalışan kurumsal iletişim ve marka ekibi, LinkedIn, Youtube, Facebook ve Instagram'daki sosyal medya faaliyetleriyle ilgilenir.

3.3.2.3. Ürün ve Ar-Ge Yönetimi

1. Şirketin Ar-Ge Birimi Var Mı?

Şirketin bakanlık tarafından onaylanmış büyük bir Ar-Ge merkezi bulunmaktadır. Burada ürünlerin tasarımı (örneğin elektrik ve mekanik tasarım) gerçekleştirilmektedir. Tasarımlar ERP sisteminde tanımlanır ve müşteri teknik belgeleri, talimatları ve onayları üzerinde çalışılır. Şirketin Ar-Ge merkezi aynı zamanda Avrupa'nın en büyük akredite elektrik test motoru laboratuvarına sahiptir.

Şirketin ayrıca mühendislik birimine bağlı bir eğitim merkezi bulunmaktadır. Burada üretim personeline eğitim verilerek üretim ve ürün bilgisi kazandırılır, sanal gerçeklik (virtual reality) gözlükleri yardımıyla ürünler baştan sona sanal ortamda üretilebilir.

2. Hangi Alanlarda Araştırma - Geliştirme Faaliyetleri Yapılmaktadır?

Şirketin Ar-Ge biriminde farklı mühendislik disiplinlerinden mezun beyaz yakalı çalışanlar, örneğin motor teknolojileri, malzeme araştırmaları, Ar-Ge'de kullanılan yazılım sistemlerinin dijitalleştirilmesi gibi konularda araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir.

Şirket, ulusal ve uluslararası üniversitelerle farklı konularda (örneğin malzeme ve sistem araştırma ve geliştirme, ortak TÜBİTAK ve Avrupa Birliği projeleri) çalışmaktadır.

Kuruluş ayrıca kendi yetkinliklerini geliştirmek için düzenli eğitimler almaktadır.

3. Şirketin Patent Veya Patent Başvurusu Var Mı?

Şirketin patent başvuruları bulunmakla birlikte bugüne kadar henüz bir patent almamıştır. Ancak şirketin onaylanmış ve onay bekleyen faydalı modelleri bulunmaktadır.

Faydalı model, dünyada yeni olan ve sanayiye uygulanabilen çeşitli buluşların sahiplerine, bu buluşu üretme ve pazarlama hakkının belirli bir süre (10 yıl) için verilmesi olarak tanımlanmaktadır. Faydalı model belgesi verilmesi, patent verilmesine göre zaman ve masraf açısından daha avantajlıdır.

4. Araştırma - Geliştirme ve İnovasyon Çalışmalarında Akademik Kuruluşlarla İş Birliği Yapılıyor Mu?

Üçüncü soruda yanıtlandığı üzere, kuruluşun ulusal ve uluslararası üniversitelerle işbirlikleri bulunmaktadır.

5. Dış Destekli Ar-Ge Projesi Yapılıyor Mu?

TEYDEB, Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı bünyesinde projeler yürütülmektedir. Bu projelerin amacı, ülkemizdeki özel sektör kuruluşlarının araştırma-teknoloji geliştirme ve yenilik faaliyetlerini desteklemek ve böylece Türk sanayisinin araştırma ve teknoloji geliştirme yeteneğinin, yenilikçilik kültürünün ve rekabet gücünün artırılmasına katkıda bulunmaktır.

6. Ürün – Süreç – Malzeme Geliştirme Çalışmaları Nasıl Yönetiliyor?

Kuruluş bu süreçlerin her birini bir proje olarak yönetir. Bunun için Sistem Mühendisliği V-Diyagramı'ndan yararlanır. Sistem mühendisliği, oluşturulacak ürünün tüm unsurlarını kusursuz ve işlevsel bir şekilde bir araya getirmeyi amaçlayan disiplinler arası bir yaklaşımdır. Bunun için; öncelikle müşterinin ihtiyaçlarını değerlendirerek ürünü tanımlamaya odaklanır, daha sonra gerçekleştirilecek bu ürünün tüm disiplinler faaliyetlerinin kırımını belirleyerek işin yürütüleceği süreçleri oluşturur.

V-modeli, adımların veya süreçlerin sırasını görselleştirmek için bir V harfi kullanır. Bu modele göre, yazılım, sistem veya ürünlerin geliştirilmesine yönelik bir prosedür tanımlanmaktadır.

En temel düzeyde Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM), bir ürünün ilk fikirden, geliştirilmesine, servisine ve elden çıkarılmasına kadar olan tüm yolculuğunu yöneten stratejik bir süreçtir. Dr. Martin Eigner, özellikle belge yönetimi, mühendislik veritabanları (EDB, Engineering Databases) ve sonraki PDM/ PLM sistemlerine odaklanmakta ve kuruluşların bunlarla birlikte büyüdüğünü vurgulamaktadır (Shilovitdky, 2021).

7. Ürün – Süreç – Malzeme Geliştirme Çalışmalarına Kimler dahil Ediliyor?

V-modelinde herkes ürün, süreç ve malzeme geliştirmeye dahil olmaktadır. Bu ekip Ar-Ge, ürün yönetimi, kalite, PMO - Proje Yönetim Ofisi, farklı mühendisler, şirketin tüm yetkili çalışanları, devlet kurumları, akademik çalışmalar, devlet destekleri veya yasalar, kuruluşun müşterileri ve tedarikçilerinden olmaktadır. Bu çalışmalarda

aynı zamanda benchmark yapılarak rakiplerin ne yaptığına dikkat edilmektedir. Çalışmalarda hem dikey hem de yatay entegrasyon ile geniş bir çalışma ekibi yer alır. Kısaca herkes ürün yaşam döngüsü içinde bir ürünün yaratılmasına yardımcı olmak için projelerde yer almaktadır.

8. Kullanılan Teknolojiler Üretiliyor Mu, Hazır Mı Alınıyor?

Kuruluş sadece hammadde satın almakta ve bunları yarı mamul ve bitmiş ürünlere dönüştürmektedir. Kullanılan tüm teknolojiler şirket tarafından üretilmektedir.

9. Ürünlerin Üzerinde Veri Toplanacak Donanım Var Mı?

Ürünlere sensör eklenmesi bir proje olarak düşünülmüş, ancak bazı kısıtlamalar nedeniyle şu anda aktif bir durumda kullanılmamaktadır.

10. Yeni Ürün – Hizmet – Süreç – Malzeme İhtiyacı Nasıl Belirleniyor?

Şirketin daha önce stratejik çalışmalarında gerçekleştirmiş olduğu 5 yıllık uzun vadeli planlar dahilinde ürünler için stratejik yol haritası çizilir. Bu ürünler belirlenirken makro ve mikro çevre analiz edilerek şirketin yıllık iş planları üretilir.

11. Ürün Özelleştirmesi Yapılabilir mi?

Tüm ürünler 2 haftalık bir Ar-Ge süreci içerisinde özelleştirilebilmektedir. Bunun için bu bölümün altıncı sorusunda yer alan V-Diyagramından yararlanılmaktadır. Oluşturulan ürünler şirketin dijital ikiz çalışmaları üzerinde de test edilmektedir.

3.3.2.4. Tedarik Yönetimi

1. Üretim Planlama Nasıl Yapılıyor?

Şirketin Satış ve Operasyon Planlaması (S&OP) her 45 günde bir, operasyonlarını satış, planlama ve satın alma gibi gerekli birimlerle gözden geçirir. Bu amaçla şirket bünyesinde bir yazılım programı kullanılmaktadır. Bu program, gerekli verilerin bulut ya da veri merkezi üzerinden kullanılmasını sağlar. Hibrit bulut kombinasyon modeli için ideal olan bu programın algoritmaları, mevcut tüm dış ve iç faktörleri içeren optimal üretim planlama senaryoları üretebilir. Böylece sistem tarafından elde edilen veriler (ERP ve PDM'den) değerlendirilerek üretim planlaması için kümeler oluşturulur ve bunlar arasından üretim planlamasını gerçekleştirebilecek en verimli küme seçilerek optimum üretim planlaması tahmin edilebilir. Sistem tarafından üretilen en verimli üretim planlaması yardımıyla, her sipariş ekipman bazında bölünür.

Program, yapılacak siparişlerin tüm bilgilerine PDM, ERP ve MES entegrasyonu içinde ulaşılmasına yardımcı olur.

2. Tedarikçi, Müşteri veya İşletmeden Kaynaklanan Bir Aksaklık veya Değişiklik İhtiyacı Nedeni ile Üretim Planında Değişiklik Yapılması Gerektiğinde Ne Yapılıyor?

Tedarikçilerin malzeme gereksinimlerini karşılayamaması veya yetersiz kalite standartları, müşterilerin taleplerini değiştirmesi, üretim alanında meydana gelen ekipman arızaları ve siparişlerin işlenememesi gibi durumlarda sistem hangi siparişlerin etkilendiğini analiz eder. Siparişlerin yerine getirilebilmesi için alternatif tedarikçiler veya üretim makinelerinin kullanımı araştırılır veya gerekli malzemeler temin edilene kadar üretim sürecinin adımları (üretim çizelgeleme) değiştirilir. Bu amaçla ERP ve Satış ve Planlama tarafından üretilen çizelgeler analiz edilir ve ilgili tüm paydaşlar bilgilendirilir.

3. Üretimde Parti Büyüklükleri Nasıl Belirleniyor?

Üretim parti büyüklüklerini belirlemek için şirketin bir üretim sistemi vardır. Bu sistemin kaynak noktası ERP'dir ve diğer yazılımlar ERP'den gelen verilerle beslenmektedir. Bu başlık altındaki ilk soruda yer alan üretim planlama programı, üretim parti büyüklüklerinin belirlenmesine yardımcı olur ve bu sayede güncel verilerle en doğru parti büyüklüklerini hesaplama gücüne sahiptir.

4. Kapasite Planlaması Nasıl Yapılıyor?

ERP şirketin veri kaynağıdır ve tüm iş planlarını ve üretim rotalarını içerir. Üretim planlama programı gerekli çizelgeleme planlarını oluşturur ve kapasite planlamasını gerçekleştirir. Üretim planlama programı ayrıca alternatif üretim planları sunar ve en hızlı üretim senaryolarını sağlar. Genel bir yıllık kapasite planı oluşturduktan sonra, şirket aylık kapasite planlarını elde edebilir. Kapasite planları yardımıyla bütçe çalışmaları yapılır ve yatırım planları üretilir.

5. Malzeme Gereksinimi Nasıl Belirleniyor?

Malzeme ihtiyacı PDM'den çekilir ve ERP sistemine aktarılır. Buradan MRP, üretim planlama programının ürettiği bilgilere göre mevcut siparişler ve kapasitelere göre beslenir. Üretim için gerekli malzeme miktarı ürün ağaçlarından çekilerek siparişler planlanır ve mevcut kaynaklar dahilinde iş emirleri üretilir. Sistem ayrıca

gerekli hammaddelerin hangi tedarikçilerden sipariş edileceğini de önerir. Bunun için tedarikçilerle çerçeve sözleşmeler yapılır.

6. Tedarikçilere Siparişler Nasıl Veriliyor?

ERP yardımı ile hangi tedarikçilere sipariş verileceği belirlenir. Bu siparişler ERP üzerinden verilir ve tedarikçilere ulaştırılır. Bütçe çalışmaları ile birlikte tedarikçilerle kapsam sözleşmeleri hazırlanır ve imzalanır. Bu kapsamda yıl içerisinde tedarikçilerden gerçekleşecek sipariş miktarları görüşülür ve her ayın siparişleri kesinleştirilir. Tedarikçilerin ürünleri üretim öncesinde şirket laboratuvarında belirlenen kalite standartlarına göre test edilir ve tedarikçiler bulgulara göre değerlendirilir. Bu değerlendirmelere ilişkin bilgilere şirketin ERP sistemi üzerinden ulaşılmaktadır.

7. Tedarikçi Seçimi Nasıl Yapılıyor?

Tedarikçi seçiminde firma, ürünleri için daha önce belirlediği kriterleri değerlendirir. Bu aşamada ürünün referans dokümanları ve teknik çizimleri hazırlanır ve standartlar belirlenir. Belirlenen kriterlere uygun tedarikçilerin bulunmasından Ar-Ge departmanı sorumludur. Önerilen tedarikçiler firmanın kalite birimi tarafından detaylı olarak değerlendirilir ve firmanın kalite standartlarını karşılayan tedarikçilerle sözleşme imzalanır.

8. Tedarikçi Performansı Nasıl Değerlendiriliyor?

Bu başlığın 7. sorusu altında yer alan cevaba göre, anlaşmalı tedarikçilerin performanslarının şirketin beklentilerine uygun olmaması durumunda tedarikçilerin puanları şirket tarafından düşürülmektedir. Puanı düşürülen tedarikçiler ile geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir. Sonuçlar yine şirketin beklentilerini karşılamazsa tedarikçilerle çalışma sonlandırılır. Bu esnada tüm tedarikçi bilgileri ERP sistemine manuel olarak işlenir.

9. Üretim Planlamanın Satış, Satın Alma, Üretim, Depolama, Sevkiyat Gibi Şirketin Diğer Fonksiyonlarıyla Bilgi Paylaşımı Ne Seviyededir?

Bu başlık altında yer alan 1. sorunun cevabında görüldüğü üzere üretim planlama faaliyetleri PDM, ERP ve MES entegrasyonu dahilinde yürütülmektedir. Satış ve satın alma faaliyetleri şirketin CRM programı yardımıyla yürütülmekte olup kısmi bir yatay entegrasyon söz konusudur. Üretim depolama ve sevkiyat faaliyetleri bu çalışmanın 3.4.2. başlığı altında PDM, ERP ve MES entegrasyonunda detaylı olarak ele

alınmış olup, şirketin bu konuda kısmi bir dikey entegrasyon (IT+OT) sağladığı tespit edilmiştir.

10. Üretim Planlama İçin Tedarik Zincirindeki Şirket Dışı Birimler (tedarikçiler, üçüncü parti lojistik firmaları, farklı bölgelerdeki üretici ve depolar, müşteriler) ile Bilgi Paylaşımı Ne Seviyededir?

Şirket, bazı tedarikçilerinin depolarını ERP sistemine eklemiştir. Buradan ihtiyaçlarını doğrudan tedarikçinin deposundan çekebiliyorlar. Benzer şekilde bazı tedarikçilerin de şirket içinde fiziksel depoları bulunmaktadır. Şirket ERP üzerinden hammadde tedarik ettiğinde tedarikçiler şirkete fatura kesmektedirler. Diğer satın alma ve sipariş işlemleri ERP sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şirketin müşteri yönetimi bilgileri 3.3.2.2 altında 7. soruda cevaplanmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak genişletilmiş ISA-95 modeline göre yatay entegrasyon çalışmaları geliştirilmelidir.

11. Stok Planlaması Nasıl Yapılmaktadır?

Şirketin ürün depolama politikasına göre her ay hangi ürünlerin stokta olması gerektiği bilgisi bulunmakta ve nihai ürün stokları belirli bir seviyede tutulmaktadır. Şirketin depolama politikasına göre bazen müşterilere stoktan besleme yapılırken bazen de sipariş üzerine üretim yapılmakta ve üretim miktarı belirlenmektedir. Depolama faaliyetleri bu nedenle müşterilerin değişen taleplerine göre üretim planlama programı yardımıyla sürekli güncellenir.

Hammadde ve yarı mamul stokları emniyet stok seviyelerine göre tutulmaktadır. Aynı zamanda yazılım sistemi, yılsonuna doğru yapılan yıllık üretim planlarına uygun olarak bütçe çalışmaları yardımıyla ürün bazında stok seviyelerinin belirlenmesine yardımcı olur.

12. Hammadde ve Bitmiş Ürün Stokları Nasıl Takip Edilir?

Firma depolama faaliyetlerini el terminalleri ile gerçekleştirmekte ve bilgileri yazılım sistemlerine aktarmaktadır. Ürünlerin üzerinde bulunan metal etiketlerin üzerindeki kare kodların seri numaraları el terminalleri ile okutularak stok sayımları yapılmaktadır. Her palette hangi stok kodundan kaç adet ürün olduğu ve bunların deponun neresinde bulunduğu kaydı tutuluyor. Böylece bu faaliyetler daha kontrol altında tutulabilir. FSM (Field Service Management), saha hizmet yönetimi

programında palet, parti/ lot bazlı kasa takibi, seri numarası ve lokasyon stok takibi gerçekleştirilmektedir.

13. Depo Yönetimi Nasıl Yapılmaktadır?

Şirketin tüm depo yönetimi FSM tarafından yürütülmektedir. FSM tüm depo faaliyetlerinin bilgilerini tutar (depo giriş/ çıkışları, stok seviyesi, etiketleme, depo iş emirleri vb.). Barkodlar el terminalleri tarafından taranır ve bu bilgiler otomatik olarak ERP'ye gönderilir. Veriler güncel olup sistemler arasında anlık bir entegrasyon olduğu için raporlar her iki sistemde de eş zamanlı olarak üretilir ve böylece tüm bilgiler ERP üzerinde eş zamanlı olarak izlenebilir.

14. Hat Beslemesi Nasıl Yapılır?

Üretim alanında sistem tarafından alınan iş emirleri ile FSM üzerinden depoya bilgi aktarımı yapılmakta ve el terminalleri ile malzemelerin depodan çıkışı belgelenecek malzemeler üretim hattına gönderilmektedir. Burada da benzer şekilde el terminalleri yardımıyla depodan çıkan ürünler ile hatlar beslenir ve gerekli veri aktarımı yapılır. Ürünler hatta işlendikten sonra elde edilen yarı mamuller yeni barkodlar ile başka bir palete aktarılır ve kayıtları el terminalleri ile tutulur.

15. Sevkiyat İş Emri Nasıl Oluşur? ve 16. Sevkiyatlar Nasıl Yönetilir?

Üretim süreci sonunda hazır olan mamuller FSM üzerinden üretim alanından serbest bırakılır ve ERP'den sevkiyat iş emirleri oluşturulur. Gerekli malzeme ve miktar kontrolleri gerçekleştirildikten sonra mamuller sevkiyat alanına gönderilir, siparişler ERP üzerinden teslimata dönüştürülür ve siparişler müşteriye gönderilir.

3.3.2.5. Üretim Yönetimi

1. İş Emri, Ürün Reçetesi, Üretim Talimatları/ İş Emirleri Hatta Nasıl İletilir?

İş emirleri, ürün reçeteleri, üretim talimatları üretim planlama programı tarafından oluşturulur ve PMI (MES sistemi) aracılığıyla otomatik olarak üretim alanına iletilir. PMI sistemi her iş sürecinde mevcut olup buraya ulaşan iş emirleri mavi yaka çalışanlar tarafından gerçekleştirilir ve işin çıktısı gene PMI üzerinden takip edilir. Buna paralel olarak bu iş süreçlerinin gerçekleşmesi için gerekli depo kontrolleri de FSM üzerinden yapılmaktadır. ERP'den üretim planı programına ve oradan tekrar ERP'ye ve ardından PMI'a düşen bilgiler FSM'ye ulaşır ve ardından hat beslemeleri yapılır.

Siparişler daha sonra ERP üzerinden teslimatlara dönüştürülür ve sevkiyat süreçleri gerçekleştirilir.

2. Üretim Çizelgelemesi Nasıl Yapılır?

Üretim çizelgeleme, üretim planlama programı tarafından yapılır. Bu başlık altında 1. sorunun cevabına bakıldığında ERP'ye girilen siparişler ve buradan beslenen üretim planlama programı üretim çizelgelemeyi gerçekleştirmektedir. Daha sonra üretim için gerekli bilgiler ERP'den MES'e ve oradan da FSM'ye iletilerek hat besleme gerçekleştirilir. Üretim sonunda siparişler ERP üzerinden teslimata dönüştürülür ve sevkiyat süreçleri uygulanır.

3. Üretim Takibi Nasıl Yapılır?

Üretim takibi, üretim planlama programından ERP'ye ve oradan da PMI'a aktarılan bilgiler dahilinde PMI yani MES sistemi ve FSM üzerinden gerçekleştirilir. Bu yazılımlar yardımıyla hammadde, yarı mamul ve nihai ürünlere ait tüm üretim bilgilerine ulaşılabilir.

4. Üretim Sırasında Makine ve Duruşlar Nasıl İzlenir?

Üretim sırasında meydana gelen planlı veya plansız tüm makine duruşları ve vuruşları PLC'ler yardımıyla izlenir. PLC'ler üzerinden manuel olarak girilen duruş süreleri, üretimin ne kadar süreyle durduğunu kayıt altına alır ve raporlar. Bu soruya daha detaylı bir cevap bu başlığın 12. sorusu altında verilmiştir.

5. Üretimde İşgücü Nasıl İzlenir?

Üretim planlama programı tarafından üretilen iş emirleri ERP sonrasında PMI'a ulaştıktan sonra üretilecek birim sayısı sistem içerisinde standart bir üretim sürecine sahip olur. Üretim için iş emrini gerçekleştiren operatörün harcadığı süre standart süre ile karşılaştırılarak (duruş ve vuruşlar da hesaba katılarak) raporlanır, böylece üretimdeki iş gücü sistem üzerinden takip edilmiş olur. Bu amaçla operatörler işe başlamadan önce iş emirlerini onaylar (PLC'ler üzerinden) ve işe başlayıp işi bitirdikten sonra tekrar sisteme bilgi verirler. Sistem üzerinden her bir hatta üretim sonrası OEE değerleri otomatik olarak hesaplanır ve sürecin Kalite, Kullanılabilirlik ve Performans çıktıları elde edilir. Burada operatörün ve prosesin performansı sisteme girilen giriş ve çıkış zamanı ile elde edilir.

6. Üretimde Malzeme Akışı Nasıl İzlenir?

FSM yardımıyla malzeme akışı hakkında gerekli tüm bilgiler elde edilir. Firmanın tüm depo yönetimi FSM tarafından yürütülmektedir. FSM programında palet, parti/ lot bazlı kasa takibi, seri numarası ve lokasyon stok takibi (depo giriş/ çıkışları, stok seviyesi, etiketleme, depo iş emirleri vb. El terminalleri ile barkodlar okutularak bilgiler sisteme aktarılır ve bu bilgiler otomatik olarak ERP'ye gönderilir. Veriler güncel olduğu ve sistemler arasında anlık bir entegrasyon olduğu için raporlar her iki sistemde de eş zamanlı olarak üretilir ve böylece tüm bilgiler ERP üzerinde eş zamanlı olarak izlenebilir.

Sistem tarafından üretim alanına ulaşan iş emirleri ile FSM üzerinden depoya bilgi aktarımı yapılmakta ve malzemeler el terminalleri ile belgelenerek üretim hattına gönderilmektedir. Burada da benzer şekilde el terminalleri yardımıyla depodan çıkan ürünler ile hatlar beslenir ve gerekli veri aktarımı yapılır. Ürünler hat üzerinde işlendikten sonra elde edilen yarı mamuller yeni barkodlar ile başka bir palete aktarılır ve kayıtları el terminalleri ile tutulur.

Üretim sonunda bitmiş ürünler FSM üzerinden üretim alanından boşaltılır ve ERP'den sevkiyat iş emirleri oluşturulur. Gerekli malzeme ve miktar kontrolleri yapıldıktan sonra mamuller sevkiyat alanına gönderilir, siparişler ERP üzerinden sevk emirlerine dönüştürülür ve siparişler müşteriye gönderilir.

7. Üretim Performansı Nasıl İzlenir?

Bu sorunun yanıtları bu başlık altındaki 5. soruda verilmiştir.

8. Üretim Bilgileri Şirket İçinde Nasıl Paylaşılır?

Şirketin üretim bilgileri ERP, üretim planlama programı, PMI ve FSM yani MES üzerinden şirket içinde paylaşılmaktadır. Yukarıdaki sorularda verilen bilgilere ek olarak diğer yazılımlardan ERP'ye ulaşan tüm bilgiler yetkili kişilere görselleştirilebilmekte ve sunulan veriler en ince detayına kadar analiz edilebilmektedir. Her vardiya sonunda üretimle ilgili üretilen tüm verileri ve analizleri vardiya amirlerine ve tüm yetkili kişilere göndererek gerekli aksiyonların alınmasına ve süreçlerin daha verimli yönetilmesine yardımcı olur.

9. Kalite Yönetimi Nasıl Yapılır?

Tedarikçilerden gelen ürünler depoya girerken, şirketin test laboratuvarında şirket tarafından belirlenen kalite standartlarına uygunluk açısından test edilir. Kalite kontrolünden geçen siparişler daha sonra FSM tarafından kabul edilerek kayıt altına alınır ve ERP sistemindeki siparişlere göre eşleştirilerek üretim süreci başlatılır. Üretim süreçleri arasında oluşan yarı mamullerin kalite kontrolleri yapılmakta ve kalite standartlarından sapmalar tespit edildiğinde kalite ekibi tarafından gerekli aksiyonlar alınmaktadır.

Nihai ürünlerin kalite kontrolü, şirketin KPI'larına göre sevkiyat öncesi detaylı olarak gerçekleştirilir. Bu testlerin içeriğinde motor sesi, elektriksel verimlilik gibi kalite unsurları test edilmektedir. Bu testlerden elde edilen bilgiler Excel üzerinde tutulmaktadır.

Firmanın satış sonrası kalite hizmetlerinde ise ürünle ilgili şikayetler değerlendirilir ve bilgiler kayıt altına alınır. Şirket, KPI yönetim sistemi içerisinde Online Performans Review (OPR), Çevrimiçi Performans İncelemesi sistemine girmeye hazırlanmaktadır. OPR yardımıyla çalışanların kalite ile ilgili performansları izlenmekte ve değerlendirilmektedir. Aynı zamanda ERP üzerinden kalite standartlarını izleyen ve değerlendiren bir başka modülün entegrasyonu da planlama aşamasındadır. Şirketin kalite yönetim faaliyetleri, hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünler için şirketin test laboratuvarında dijital ekipmanlarla yürütülmekte ve bu testlerden elde edilen sonuçlar şu anda sisteme manuel olarak girilmektedir. Gelecekte ise tüm bu çalışmaların tamamen dijital olarak gerçekleştirilmesi hedefleniyor. Bunun için şirkette farklı projeler yürütülmekte ve test edilmektedir.

10. Kalite Problemleri Nasıl Ele Alınır?

Bu başlık altında yer alan 9 soruya verilen cevaplar dikkate alınarak kalite standartlarına uygun olmayan ürünler “Uygun Olmayan Ürün Yönetimi Süreci” kapsamında işleme alınmaktadır. Bu sistem kapsamında oluşabilecek ürün ve sistem kaynaklı tüm hatalar ele alınmakta ve gerekli aksiyonlar alınmaktadır.

Onaylı tedarikçiler için kalite birimine bağlı giriş kalite kontrol biriminde İNK (İlk Numune Kabul) sürecinde işlenen hammaddeler, numune seçim planına uygun olarak test edilir. Kalite standartlarını sağlayan hammaddeler kabul edilir, standartları

sağlamayan hammaddeler ise giriş kalite kontrol tarafından geçici iade deposuna gönderilir ve iade işlemleri satın alma birimi ile birlikte yürütülür.

Manuel olarak kabul edilen hammaddeler stok kodları ile FSM üzerinden depoya işlenir ve bilgiler ERP'ye aktarılır. Şirketin tedarikçileri ile henüz entegre (yatay entegrasyon) bir ERP bağlantısı bulunmamaktadır.

Şirketin “Proses Kontrol” biriminde yarı mamuller üretim süreci boyunca kalite kontrolden geçmektedir. Bu amaçla Ar-Ge birimi tarafından sağlanan teknik çizimler, ürün reçeteleri ve diğer yöntemler kullanılmakta ve bu süreçler nihai ürünler elde edilene ve kalite tolerans aralığında kalana kadar devam etmektedir.

Süreçte tespit edilen hatalar sistem üzerinden kalite birimine bildirilmekte ve hatanın kök nedenleri tespit edilerek Düzeltici Önleyici Faaliyetlerde (DÖF) ve gerekli aksiyonlar alınmaktadır. A3 veya 8D olarak adlandırılan problem çözme yöntemleri ile problemlerin kök nedenlerine inilerek çözümler bulunur.

Müşteriye sevkiyat sırasında üretilen motorlar ve bileşenleri numune seçim planına göre “Denetim Kontrol” birimi tarafından kontrol edilmekte ve siparişlerin sonuçları raporlanıp 10 yıl boyunca arşivlenmektedir. Tüm bu faaliyetler şirketin Kalite Yönetim Sistemi'nde kayıt altına alınır. Buradaki dokümanlar ve bilgiler şirkette yapılan auditlerde kullanılmaktadır.

11. Kalite Kontrol Verileri Nasıl Değerlendirilir?

Kalite kontrol verileri, Kalite Yönetim birimi tarafından belirlenen 12 KPI değerine ulaşabilecek şekilde değerlendirilir. Bu amaçla şirketin Hoshin Kanri toplantıları yardımıyla sürekli olarak bu KPI değerlerine ulaşmaya çalışılır ve mevcut durum üst yönetime raporlanır.

12. Bakım Yönetimi Nasıl Yapılır?

Süreçte bir sorun oluştuğunda operatör Kurumsal Varlık Yönetimi sistemi üzerinden üzerinde çalıştığı varlığı seçer, arıza bildirimini girer ve arıza bakım hizmeti için bir talep oluşturur. Kodlarla desteklenen (kök neden analizine uygun ana kodlar ve alt kodlar bulunmaktadır) ve operatör tarafından seçilen talepler aşağıdaki gibidir:

- Arıza bildirim
- Planlı bakım
- Otonom bakım

- Kestirimci bakım
- İyileştirme
- Hizmet talep

Varlıklar

Ekle

Değiştir

İncele

Kopyala

Varlık Ağacı

Ek Özellikler

1

Kayıt Sayısı

63

Sayfa Sayısı

1

Görünen Kayıt Sayısı

100

Dok.	Kısm Tanımı	Varlık Kodu	ENVANTER NO	Fili Güç	Kurulu Güç	Bağlı Olduğu Varlık Tanımı	Bağlı Olduğu Varlık Kodu	Marka Tanımı	Barkod Kodu	Varlık Tanımı	Seri No	Son Bakım Tarihi
		enj.002										
	ENJEKSİYON	ENJ.002	ENJENJ00202200-00	IE2	22				ENJ.002	YATAY ENJEKSİYON MAKİNASI 2-430 TON [106]	D706-011	19.12.2023
	ENJEKSİYON	ENJ.002.01	ENJENJ00202200-01			YATAY ENJEKSİYON MAKİNASI 2-430 TON [106]	ENJ.002		ENJ.002.01	BEKLETME OCAĞI		11.03.2023
	ENJEKSİYON	ENJ.002.01.01	ENJENJ00202200-02			BEKLETME OCAĞI	ENJ.002.01		ENJ.002.01.01	MADEN ISITMA SİSTEMİ / SICAKLIK OLCUM SİSTEMİ		
	ENJEKSİYON	ENJ.002.01.01.01	ENJENJ00202200-03			MADEN ISITMA SİSTEMİ / SICAKLIK OLCUM SİSTEMİ	ENJ.002.01.01		ENJ.002.01.01.01	BEK / BRÜLÖR		
	ENJEKSİYON	ENJ.002.01.01.02	ENJENJ00202200-04			MADEN ISITMA SİSTEMİ / SICAKLIK OLCUM SİSTEMİ	ENJ.002.01.01		ENJ.002.01.01.02	THERMOCOUPLE		15.01.2022
	ENJEKSİYON	ENJ.002.01.02	ENJENJ00202200-05			BEKLETME OCAĞI	ENJ.002.01		ENJ.002.01.02	KUMANDA PANOSU		3.04.2023
	ENJEKSİYON	ENJ.002.02	ENJENJ00202200-06			YATAY ENJEKSİYON MAKİNASI 2-430 TON [106]	ENJ.002		ENJ.002.02	ENJEKTÖR GRUBU		18.02.2023
	ENJEKSİYON	ENJ.002.02.01	ENJENJ00202200-07			ENJEKTÖR GRUBU	ENJ.002.02		ENJ.002.02.01	ENJEKSİYON / VURUS SİLİNDİRİ		2.10.2023

Şekil 25: Kurumsal Varlık Yönetimi

İş Emri Türleri	
Ekle Değiştir İncele Kopyala	
1 Kayıt Sayısı 13 Sayfa Sayısı 2 Görünen Kayıt Sayısı 11	
İş Emri Türü Kodu	İş Emri Türü Tanımı
01-ARZ	ARIZI BAKIM
02-PLB	PLANLI BAKIM
03-TSB	TESİSAT BAKIM
04-TYI	HİZMET TALEP / TEZGAH YENİLEME / EKİPMAN İMALAT
05-SBİP	STRATEJİK BİRİM İŞ PLANI
06-OPEX	OPEX KAPSAMINDA YAPILAN TALEPLER
07-SFÇ	SAĞLIK-EMNİYET-ÇEVRE
11-APB	APARAT BAKIM/ARIZA/İMALAT
12-KPB	KALIP BAKIM/ARIZA/ÖZEL TALEP
13-YMI	MAMUL/YARI MAMUL TASHİH/İMALAT
21-KMI	KAYNAKHANE / İNŞAAT
31-KLB	KALİBRASYON

Şekil 26: Kurumsal Varlık Yönetimi, İş Emri Türü

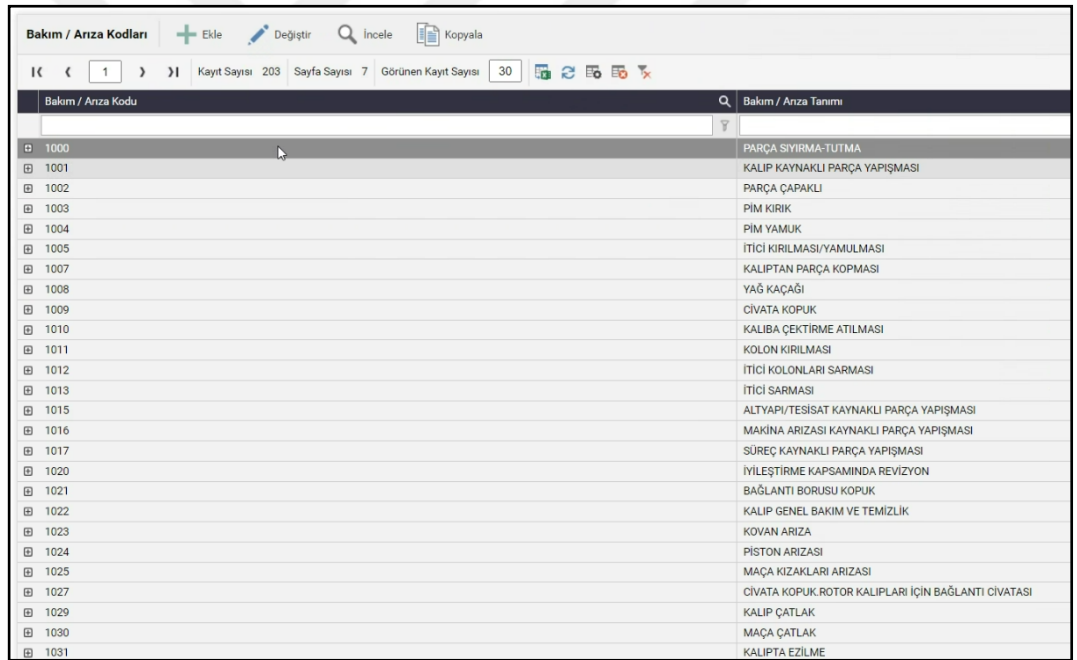
Operatör, üzerinde çalıştığı varlığı ve talep ettiği hizmeti seçtikten sonra sistem üzerinden bakım ve onarım süreci başlar. Kurumsal Varlık Yönetimi sistemi yardımıyla gerekli bakım ve onarım bilgileri oluşturulur ve belirli periyotlarda yapılan tüm talepler için raporlar hazırlanır.

Bu amaçla, bir sonraki yılın planlı bakım programı Aralık ayında üretim yönetimi ve diğer gerekli birimlerle paylaşılır. Bu takvime göre üretim verimliliğinin düşmemesi ve siparişlerin zamanında teslim edilebilmesi için planlı bir üretim

gerçekleştirilir. Üretim yönetiminin planlı bakım takvimine uyamadığı durumlarda Bakım Onarım birimi bilgilendirilerek planlı bakımın en yakın zamana ertelenmesi sağlanır. Planlı Bakım ve Onarım takvimindeki faaliyetlerin aksamaması için her ayın başında üretim yönetimi ile toplantılar yapılmakta ve takvim üretim durumuna göre güncellenmektedir.

13. Makinelerin Bakımında Hangi Yöntemler Kullanılır?

Bu başlık altında 12. soruda belirtildiği üzere, süreç içerisinde bir sorun olduğunda operatör Kurumsal Varlık Yönetimi sistemi üzerinden çalıştığı varlığı seçerek arıza bildirimini girmekte ve arıza bakım hizmeti için talep oluşturmaktadır. Kodlarla desteklenen ve operatör tarafından seçilen talepler doğrultusunda makinelerin bakımı yapılmaktadır.



Bakım / Arıza Kodu	Bakım / Arıza Tanımı
1000	PARÇA SİYİRMA-TUTMA
1001	KALIP KAYNAKLI PARÇA YAPIŞMASI
1002	PARÇA ÇAPAKLI
1003	PİM KIRIK
1004	PİM YAMUK
1005	İTİCİ KIRILMASI/YAMULMASI
1007	KALİPTAN PARÇA KOPMASI
1008	YAĞ KAÇAĞI
1009	CİVATA KOPUK
1010	KALIBA ÇEKTİRME ATILMASI
1011	KOLON KIRILMASI
1012	İTİCİ KOLONLARI SARMASI
1013	İTİCİ SARMASI
1015	ALTYAPI/TESİSAT KAYNAKLI PARÇA YAPIŞMASI
1016	MAKİNA ARIZASI KAYNAKLI PARÇA YAPIŞMASI
1017	SÜREÇ KAYNAKLI PARÇA YAPIŞMASI
1020	İYİLEŞTİRME KAPSAMINDA REVİZYON
1021	BAĞLANTI BORUSU KOPUK
1022	KALIP GENEL BAKIM VE TEMİZLİK
1023	KOVAN ARIZA
1024	PISTON ARIZASI
1025	MAÇA KIZAKLARI ARIZASI
1027	CİVATA KOPUK ROTOR KALIPLARI İÇİN BAĞLANTI CİVATASI
1029	KALIP ÇATLAK
1030	MAÇA ÇATLAK
1031	KALİPTA EZİLME

Şekil 27: Kurumsal Varlık Yönetimi, Bakım/ Arıza Tanımı

Makine bakımında kullanılan yöntemler arasında makine parçalarının sökülmesi, onarılması ve tekrar monte edilmesi, yağlama veya yağ analizi sonrası yağ değişimi, parça değişimi gibi bakımlar yer almaktadır. Kestirimci bakımda ise titreşim ve/ veya sıcaklık ve basınç testleri yapılmakta ve bu testler sonunda hangi bakımın uygulanacağına karar verilmektedir.

Şirketin makine sınıflandırması bulunmaktadır. A ve B sınıfına ait makineler bakım ve onarımdan önce şirketin teknisyenleri tarafından test edilir. Kestirimci bakım

olarak adlandırılan bu faaliyette teknisyenler, makinelerin şirket standartlarına uygunluğunu test eder. Testler sonunda gerekirse yapılması gereken çalışmalar yani arıza nedeninin tanımı oluşturulur ve bakım ve onarımlarının planlı bakım olarak uygulanması için bakım ve onarım programına gerekli kayıtlar yapılır.

Arıza Nedenleri	
+ Ekle	Değiştir
İncele	Kopyala
Arıza Çözümleri	
1	Kayıt Sayısı 262 Sayfa Sayısı 3 Görünen Kayıt Sayısı 100
Arıza Nedeni Kodu	Arıza Nedeni Tanımı
250001	Akü Bitmiş / Suyu Yok
1117	ALTYAPI/TESİSAT KAYNAKLI PARÇA YAPIŞMASI
300001	Amortisör Arıza
1065	APARAT İMALAT
1064	APARAT TADİLAT
1089	ARGE GENEL İSTEK
ARIZA YOK	ARIZA YOK
200005	Aşın Sıcaklık
250003	Aydınlatma Arıza
70014	AYDINLATMA YETERSİZ
300002	Azot Basınç Ayanı
250070	azot silindiri arızası
200001	Bağlantı Ekipmanı Gevşek / Kesmiş / Çıkışmış
250005	Basınç Switchi Arızalı (Sivici)
1058	BIÇAKLARIN AŞINMASI
250006	Bilgisayar Arızası
1040	BİLYELİ BURÇLARIN AŞINMASI
1082	BOBİN SARIM ŞABLON ARIZA
1072	BOBİN SARIM ŞABLON BAYRAK KIRIK
1094	BOBİN SARIM ŞABLON BURÇ KIRIK/AŞINMA
1095	BOBİN SARIM ŞABLON ŞİŞ KIRIK/AŞINMA
1052	BOBİNAJ APARAT KIRIK
300003	Bor Yağ Bağlantı Ekipmanı Arızalı
300004	Bor Yağ Hortumu / Borusu Kaçak Var
300005	Bor Yağ Pompası Arızalı
70001	Boya İşlemleri Yapılması

Şekil 28: Kurumsal Varlık Yönetimi, Arıza Nedeni Tanımı

14. Bakım Planlama ve Çizelgeleme Nasıl Yapılır?

Bu başlığın altında 12. sorunun altında yer alan bilgiye göre her senenin Aralık ayında özellikle üretim yönetimi ve diğer gerekli bölümlerle bir sonraki yılın planlı bakım takvimi paylaşılmaktadır. Bu programa göre planlı bir üretim gerçekleştirilerek üretim verimliliğinin düşmemesi ve siparişlerin zamanında teslim edilebilmesi sağlanır. Üretim yönetiminin planlı bakım takvimine uyamadığı durumlarda Bakım Onarım birimi bilgilendirilerek planlı bakımın en yakın zamana ertelenmesi sağlanır. Planlı

Bakım ve Onarım takvimindeki faaliyetlerin aksamaması için her ayın başında ve haftalık olarak üretim yönetimi ile toplantılar yapılır ve takvim üretim durumuna göre güncellenir.

15. Enerji Tüketimi Nasıl Takip Edilir?

Şirket enerji tüketimi ile ilgili iki sistem ile çalışmaktadır. Biri bulundukları Organize Sanayi Bölgesi'ndeki sistem, diğeri ise uzaktan izleme sistemi SCADA'dır. OSB'nin sistemi, bu bölgedeki firmaların güneş panelleri yardımıyla ürettikleri ve kullandıkları elektriğin tüketim bilgilerini sağlamaktadır. Bu amaçla firmalar kendi kimlik kartları ile sisteme giriş yapabilmekte ve gerekli bilgilere ulaşabilmektedir. Şirketin kendi bünyesindeki süzme sayaçları veya enerji analizörleri sistemi de enerji üretim ve tüketimine ilişkin tüm verileri şirketin SCADA sistemine aktarır böylece OSB'nin enerji verilerinin doğruluğunu kontrol etme imkanı sağlamaktadır. Şirketin SCADA sistemi, enerji tüketen alanları tanımlayıp enerji bilgileri sağlayarak enerji tasarrufu yapılmasına veya enerjiyle ilgili sorunların çözülmesine yardımcı olur. SCADA sistemi tarafından üretilen veriler aynı zamanda kestirimci bakım için de kullanılmaktadır. Bir makine tarafından belirli bir üretim miktarında tüketilen elektrik miktarı bilinmektedir. Bu bilgi ile aynı üretim seviyesinde elektrik kullanımındaki sapmaları tespit etmek ve gerekli onarım ve bakımları yapmak mümkündür.

3.3.3. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check

Çalışmanın birinci bölümünde tanıtılan Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check, Impuls tarafından ilk kez 2018 yılında uygulanmıştır. Şirketle yapılan özel görüşmeler kapsamında bu ölçeğin çevrimiçi uygulaması, şirketin birçok departman yöneticisi ve çalışanıyla kapsamlı görüşmelerle 2024 yılı için yeniden uygulanmıştır. 2018'den bu yana yaşanan gelişmeler karşılaştırılarak ortaya konmuştur. Impuls ölçeği görüşmeleri sonunda şirketin dijital olgunluk seviyesine ilişkin bulgular aşağıdaki görsellerde özetlenmiştir. Ölçeğin uygulanmasından önce şirket yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir.

Ölçeğin 6 farklı boyutundan oluşan toplam 37 sorunun 2018 ve 2024 yıllarındaki bulguları aşağıdaki tabloda sunulmaktadır:

Boyutlar	Boyut Ağırlıkları	2018	2024
Strateji ve Organizasyon	0,254	Seviye 2	Seviye 2
Akıllı Fabrika	0,143	Seviye 2	Seviye 3
Akıllı İşlemler	0,102	Seviye 2	Seviye 3
Akıllı Ürünler	0,185	Seviye 0	Seviye 1
Veriye Dayalı Hizmetler	0,138	Seviye 0	Seviye 3
Çalışanlar	0,179	Seviye 2	Seviye 4

Tablo 4: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check 2018 ve 2024

Bu tabloya bakıldığında şirketin dijital olgunluğunu değerlendirmek için altı boyut, boyut ağırlıkları ile birlikte verilmiştir. 2018 yılından bu yana akıllı fabrika, akıllı süreçler, akıllı ürünler boyutlarında birer seviye artış, veri odaklı hizmetlerde sıfır seviyesinden 3. seviyeye yükseliş, çalışanlar boyutunda ise 2. seviyeden 4. seviyeye yükseliş gerçekleşmiştir. Bu bilgilere göre şirketin genel dijitalleşme endeksi 2018 yılında 1,356 (1. seviye), 2024 yılında ise 2,558 (3. seviye) olmuştur. Bu bulgulara göre şirketin dijital olgunluk endeksi altı yıl içinde 1. seviyeden 3. seviyeye çıkmayı başarmıştır. Bu sonuca göre şirket karşılaştırma grubunun içinde en iyi dijitalleşen firmalar arasında yer almaktadır.

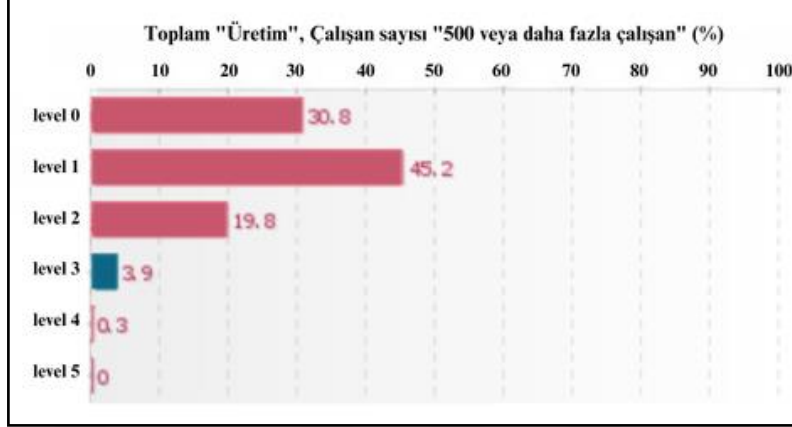
Aşağıdaki tabloda Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check ölçeğinin seviyeleri verilmektedir:

Seviyeler	
Seviye 0	Dijitalleşmeye yabancı
Seviye 1	Acemi
Seviye 2	Orta seviye
Seviye 3	Tecrübeli
Seviye 4	Uzman
Seviye 5	En iyi performans gösteren

Tablo 5: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check Seviyeleri

Tablonun verdiği bilgilere dayanarak şirketin acemi seviyesinden (seviye 1) tecrübeli seviyesine (seviye 3) yükseldiği görülmektedir.

Ölçek uygulanırken karşılaştırma grubu olan "İmalat", Çalışan sayısı "500 veya daha fazla çalışan" kategorisi göre analizin önemli bulguları aşağıdaki gibidir:



Şekil 29: Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check- Aynı Karşılaştırma Grubunda Bulunan Şirketler

Bu grafiğe göre şirket aynı karşılaştırma grubunda bulunan şirketlere göre sadece %3,9 şirketle seviye 3'te (tecrübeli) bulunmaktadır. Çalışan sayısı 500 ve üzeri olup imalat sanayisinde bulunan şirketlerin çoğu (%45,2) hala 1.seviyede bir dijital olgunluk indeksine sahiptir. Çalışan sayısı 500 ve üzeri olup imalat sanayisinde bulunan şirketlerin sadece %19,8'i 2. seviyede (orta seviye) ve sadece %0,3'ü 4. seviyeye (uzman) ulaşabilmiştir. Görsele göre 5. seviyede bulunup dijital dönüşüm konusunda en iyi performans gösteren bir şirket bulunmamaktadır.

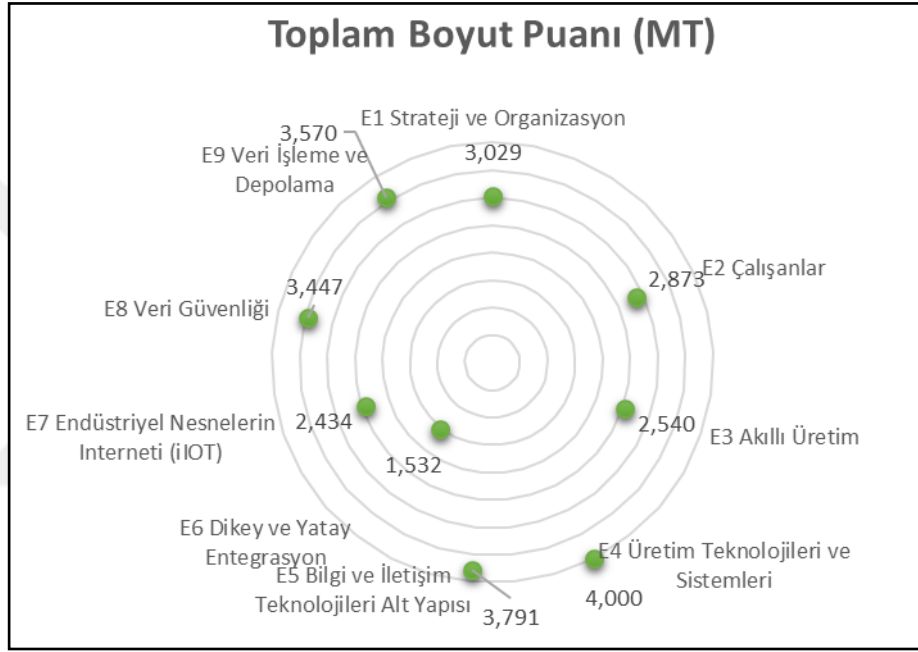
Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check dijital olgunluk ölçeği sonuçlarına göre şirket, 2018 yılından bu yana dijital olgunluğunu 2 seviye geliştirmeyi başarmıştır. Şirketin dijital dönüşüm konusunda hızlı gelişmelerine göre önümüzdeki yıllarda sektörlerinde daha da başarılı olacakları öngörülebilir.

3.3.4. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Çalışmanın birinci bölümünde tanıtılan Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli, firmanın Ar-Ge ve yazılım yöneticileri ile detaylı bir şekilde uygulanmıştır. Dokuz farklı boyut ve toplam 33 maddeden oluşan ölçeğin uygulanmasından önce firma yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış, ardından saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler sonunda şirketin dijital olgunluk seviyesi/endeksi dört üzerinden 3,024 (MT) olarak hesaplanmıştır. Ölçeğin detaylı analiz sonuçları Ek 6'da yer almaktadır. Bu sonuca ve

Dijital Olgunluk Analizi Anketi seviyelerine göre şirketin dijital olgunluğu 3. seviyededir. Olgunluk analizi çalışmasının göre şirketin dijitalleşme süreçleri kısmen tamamlanmış ve departmanlar arası dikey entegrasyon kurulmaya başlanmıştır. Şirket, tedarikçileri ve müşterileri ile bir araya gelerek yatay entegrasyon girişimlerini başlatmıştır.

Bu çalışmada, ortaya çıkan örümcek ağı diyagramındaki boyutların dijital olgunluk seviyesi, sonuçların görselleştirilmesine yardımcı olmaktadır:



Şekil 30: Boyutların Örümcek Ağı Diyagramı

Boyutların örümcek ağı diyagramı Şekil 30'da gösterilmektedir. Şirketin her bir boyuttaki dijital gelişimine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir:

Boyut E1 Strateji ve Organizasyon: Strateji ve Organizasyon boyutu 3,029 puan ile beşinci sırada yer almaktadır. Şirketin Endüstri 4.0 faaliyetleri için 5 yıllık bir büyüme stratejisi olmasına rağmen, yazılı ve erişilebilir bir dijitalleşme planı/ stratejisi bulunmamaktadır. Bu dijital büyüme stratejisi şu anda şirket içi projelerle yönetilmektedir. Şirketin büyüme stratejileri arasında kültürel dönüşüm, operasyonel mükemmellik, tedarik zinciri yönetimi ve dijitalleşme yer alsa da bunlar için yazılı bir yol haritası bulunmamaktadır. Şirketin Endüstri 4.0 çalışmaları MES, ERP ve PDM entegrasyonunun yanı sıra enerji yönetimi ve doküman yönetimi sistemlerini de

içermektedir. Şirketin Endüstri 4.0 yol haritası bu sistemlerin birbirleriyle entegrasyonunu kapsamaktadır.

Bu faaliyetleri yürütmek üzere bir dijitalleşme komitesi kurulmuştur. Böylece hem birimlerin kendi dijitalleşmesi hem de dikey ve yatay dijitalleşme çalışmaları yürütülmektedir. Ortak veriler kullanılabilen ve sistemden anlık raporlara ulaşılabilir. Bu veriler hem otomatik hem de manuel olarak üretilebilmektedir. PLC üzerinden otomatik sinyaller yardımı ile süreçlerin OEE değerleri çıkarılmaktadır. Üretim alanında ise MES (PMI) programına manuel olarak girilerek çalışanların üretimleri ile ilgili bilgilere (hangi üründen ne kadar üretildiği) ulaşılabilir ve mühendisler tarafından manuel olarak kişiye özel raporlar üretilebilmektedir.

Şirkette Op-Ex ekibi ile yoğun yalın yönetim faaliyetleri yürütülmektedir. Bu bölümde 3.3.1. başlığı altında yer alan YODA analizi bu konuda detaylı bilgi vermektedir. Şirket değişen piyasa koşullarına göre çevik bir üretim sistemine sahiptir. Şirket mühendisleri, ürünlerin yeni yasalarda belirtilen standartlara uygun olarak üretildiğinden ve ürün prototiplerinin testlerinin tasarım doğrulamalarıyla birlikte gerçekleştirildiğinden emin olmaktadır. Değişen ürünlerle birlikte üretim yönetimi de gözden geçirilerek gerekli uygulamalar yapılır. Değişen koşullara hızlı cevap verebilmek için şirketin tedarikçilerinin de uyum sağlaması gerekir. Bu amaçla tedarikçilere performanslarına göre puan verilmekte ve düşük puan alanlarla geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir.

Sipariş girişinden ürün sevkiyatına kadar şirkette inovasyon yönetimi uygulamaları yer almakta ve ilgili proje çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin amacı işleri kolaylaştırmak, verimliliği artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmektir.

Şirketin dijital dönüşüm faaliyetleri kapsamında projelere bu doğrultuda finansman kaynağı sağlanmaktadır. Şirket, dijital dönüşüm çalışmaları kapsamında gerekli tüm lisanslı yazılım kaynaklarına sahiptir ve sistemlerini bulut ortamına taşımayı başarmıştır.

Şirkette Tedarik Zinciri Yönetimi uygulanmaktadır. Tedarik ve lojistik süreçleri müşteri taleplerine hızla adapte olabilmekte ve talep planlama, sipariş yönetimi, satış ve operasyon planlama, üretim yönetimi gibi süreçleri koordine edebilmektedir. Şirket, stratejik ve operasyonel satın alma, üretim yönetimi, depolama ve nakliye gibi kilit

süreçleri etkin bir şekilde koordine etmeye ve yönetmeye odaklanmaktadır. Tedarikçilerle kapsam anlaşmaları hazırlanmakta ve imzalanmaktadır. Bu kapsamda yıl içerisinde tedarikçilerden gerçekleştirilecek sipariş miktarları görüşülmekte ve gelecek aylara ait siparişler kesinleştirilmektedir. Tüm bu görevlerin yerine getirilebilmesi için kapsamlı yıllık bütçe planları yapılır.

Boyut E2 Çalışanlar: Çalışanlar boyutu 2,873 puanla altıncı sırada yer almaktadır. Şirketin Endüstri 4.0 çalışmaları için bir dijitalleşme ekibi vardır, ancak bu ekip belirlenen günlerde birlikte projeler üzerinde aktif olarak çalışmamaktadır. Ekip üyeleri şirketin tüm birimlerinden gelip departmanlar projeleri şirketin genel hedeflerine uyacak şekilde kendi içlerinde yürütmektedir. Dikey entegrasyon için kapsamlı ve planlı ekip çalışmasının gelecekte ele alınması planlanmaktadır. Şirket çalışanları Bilgi ve İletişim Teknolojileri alanında son derece yetkin bir konumdadır. Şirketin makine ve Ar-Ge mühendisleri ile yöneticileri yazılım kullanma, veri analizi yapma, veri tabanı oluşturma ve cihazları etkin kullanma becerisine sahiptir. Gelecekte bu süreçlerin çalışanlar tarafından karar destek mekanizmasının dışına çıkarılması, analiz ve raporların sistem tarafından üretilmesi ve uygulanması hedeflenmektedir.

Yazılımcı ve analistlerden oluşan IT ekibi tamamen kendi alanlarında uzmanlaşmış ve ihtiyaç duyulduğunda yazılımları geliştirebilecek durumdadır. Bu ekibin dışında şirketin ait olduğu şirketler grubunun 40 kişilik bir IT ekibi bulunmaktadır. Bu ekip uzmanlık alanlarına göre gruplara ayrılmış olup ihtiyaç halinde kendi bünyesinde yazılım geliştirebilmektedir. Aynı zamanda yazılım konusunda dış hizmetlerden de destek alınmaktadır. Şirket ve dış ekip IT konusunda çok güçlüdür.

Her birimde şirkette liderlik rolü üstlenecek kişi ya da kişiler bulunmaktadır. Şirketin Teknik Genel Müdür Yardımcısı bu konuda önemli bir rol modelidir ve çalışanları sürekli teşvik ederek başarıya giden yolu açmaktadır.

Boyut E3 Akıllı Üretim: E3 Akıllı Üretim 2,54 puanla yedinci sırada yer almaktadır. Üretim alanında verilerin manuel ve otomatik olarak toplandığı hatlar bulunmaktadır. PLC'ler yardımıyla üretim bilgileri MES sistemine ulaşmakta ve aynı zamanda iş emirleri MES sisteminden PLC ekranlarına ulaşmaktadır. İş emirlerinin yürütülmesi PLC ekranında çalışanlar tarafından manuel olarak yapılır. Üretilen parça sayısı ve tamamlanan işler de yine PLC ekranında manuel olarak tamamlanır. Bu

bilgiler daha sonra şirketin mühendisleri tarafından analiz edilerek gerçekleşen üretim süreleri daha önce belirlenen standart sürelerle karşılaştırılmakta ve belirlenen standartlardan sapmalar varsa gerekli aksiyonlar alınmaktadır.

Şu anda süreçlerin OEE verilerine üretim alanındaki bir ekrandan canlı olarak ulaşılacak bir yapı bulunmaktadır. Ancak bunların altyapı çalışmaları devam etmektedir.

Envanter faaliyetleri el terminalleri ile takip edilmekte ve paletler üzerindeki barkodlar okutularak sisteme işlenmektedir. Ürüne ait ürün ağacının tamamı tüketildiğinde ürün için üretim sonu kaydı girilir. Böylece tüm depo hareketleri el terminalleri yardımıyla takip edilir. Ürünlerin hangi tarihte, kim tarafından, ne kadar üretildiği, depoda hangi palete ve hangi rafa yerleştirildiği, montaj hattından ara depoya ve sevkiyat deposuna kadar her şey takip edilebilir. Tüm bu süreçler ERP üzerinden MES (FSM) yazılımları ve el terminalleri ile yapılır.

Şirketin ileride canlı veriler üzerinden kestirimci bakım yönetebilmek için sensör çalışmaları vardır. Bu sensörler kart üzerinde çalışıp üretilen motorlara takılıyor ve motorun ivme, sıcaklık vb. bilgileri ölçülebiliyor. Sensörler motorların anomalilerini tespit edip uyarı verebilmekte ve anlamlı sonuçlar üretebilmektedir. Bu tür sensörler için piyasa altyapısı henüz hazır olmadığından proje şimdilik ertelenmiştir. Gelecekte sensörleri kullanabilmek için şirket, ürünlerin ve üretimin dijital ikizini oluşturmaya başlamıştır. Üretim alanındaki duruşlar sistem üzerinden takip ediliyor ve duruş nedenlerine ilişkin kodlar üretilerek şirketin bakım birimine ve teknik çalışanlarına gönderiliyor. Böylece duruş problemleri sahada anında çözülebiliyor.

Üretim bölümünün yaklaşık %10'unda (montaj, paketleme, talaşlı imalat ve dökümhane) otonom robotlar kullanılmaktadır. Dökümhane alanında İSG riski yüksek olduğu için otonom robotlardan yararlanılmaktadır. 2024 yılı bütçe çalışmalarında kolilerin paketlenmesi için otonom robotların kullanılması planlanmaktadır.

Üretim hattının dijital bir modeli bulunmaktadır. Bu dijital model yardımıyla farklı ürün grupları ve farklı üretim süreleri arasında bir üretim gerçekleştiğinde oluşabilecek kaos/ dar boğazlar öngörülebilmektedir. Ancak bu program henüz tam anlamıyla etkin bir şekilde kullanılmamaktadır.

Ar-Ge'de ürün prototipleri oluşturmak için üç adet 3D yazıcı kullanılmaktadır. Bu yazıcılar yardımıyla üretilen plastik kalıplar dökümhane tarafından doldurularak fiziksel bir ürün elde edilebilmektedir. Yazıcılar henüz seri üretimde kullanılmamaktadır.

Tüm sistem Bulut Bilişim Sistemi üzerinden çalışmaktadır. Dikey entegrasyon çalışmaları böylece çok daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Bununla ilgili siber güvenlik çalışmaları ilerleyip çalışmaları devam etmektedir.

Şirkette VR (Virtual Reality) uygulaması mevcut olup motorun montajı baştan sona fiziksel demolar üzerinden gerçekleştirilmektedir. AR (Augmented Reality) sistemi henüz kullanılmamaktadır.

Boyut E4 Üretim Teknolojileri ve Sistemleri: Üretim Teknolojileri ve Sistemleri boyutu 4,0 ile en yüksek puana sahiptir ve ilk sırada yer almaktadır. Şirket, üç ayrı 3-D yazıcı yardımıyla üretim öncesi prototipleri/ örnekleri hızlı bir şekilde üretebilmektedir. Ayrıca CAD/CAM desteği ile üretim ve tasarım tekniklerini uygulamaktadır. Şirket, genişletilmiş ISA-95 yapısına uygun olarak ERP, PDM ve MES yazılımlarını kullanmakta ve bunları birbirine bağlayarak gerçek zamanlı veri akışı sağlayabilmektedir.

Boyut E5 Bilgi ve İletişim Teknolojileri Altyapısı: Bilgi ve İletişim Teknolojileri Altyapısı boyutu 3,791 puan ile en yüksek ikinci puana sahiptir. Şirketin üretim hatlarında kablosuz erişim noktaları bulunmaktadır. Şirket tüm gerekli yazılımlara sahip olup tüm verileri bulut sistemine aktarabilmektedir. Çalışanlar VPN yardımı ile bulut sistemine giriş yapabilmektedir. Çalışanlar mobil teknolojilerden de yararlanarak el terminalleri ve endüstriyel tabletler ile tüm üretimi izleyebilir. El terminalleri ile paletlerin üzerindeki barkodlar okutularak stok takibi yapılmaktadır. Böylece stok çıkışları, yarı mamul ve nihai ürünlerin stok bilgileri sürekli günceldir.

Boyut E6 Dikey ve Yatay Entegrasyon: Dikey ve Yatay Entegrasyon 1,532 puanla dokuzuncu sırada yer almaktadır ve en düşük puana sahip boyuttur. Müşterilerle kısmen bir yatay entegrasyonu söz konusudur. Üretilen ürünler bayilere aktarılıp ürünler oradan müşterilere ulaştırılmaktadır. Bayilerle müşteri siparişlerini alıp, müşteri bilgilerini sisteme işler ve siparişleri şirkete iletir. Müşteriler ürünlerin üzerindeki barkodları telefonları ile okutup ürünlerin tüm teknik bilgi ve dokümanlarına ulaşabilir.

Aynı zamanda müşteriler firmanın belli bir sistemine giriş yapıp orada istedikleri ürünü oluşturabilirler. Müşterileri ile kapsamlı bir yatay entegrasyonun oluşturulması şirketin projelerinden biridir.

Benzer şekilde şirket ERP sistemi üzerinden tedarikçileri ile yatay entegrasyonu henüz sağlayamamıştır. Tedarikçilerle yapılan çerçeve anlaşmalar kapsamında üretim kotaları takip edilebilmektedir. Bu sistem şirketin sipariş bilgilerine ulaşmasını sağlarken, tedarikçi ile doğrudan bir entegrasyon bulunmamaktadır. İleride bunu sağlamaya yönelik çalışmalar yapılacaktır.

Firmada ERP, PDM ve MES entegrasyonu olduğu için bu sistemler üzerinden departmanlar arası dikey entegrasyon mevcuttur.

Boyut E7 Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT): Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) boyutu 2,434 puan ile sekizinci sırada yer almaktadır. Makineler ve üretim sistemleri arasındaki iletişim konusunda yeterli çalışmalar bulunmamaktadır. Sadece hücre bazlı çalışmalar bulunmaktadır.

Ürünün üretimde olduğu iş istasyonuna veri akışı sağlanabilir ve ürünler üretimde izlenebilir. Yarı mamuller de parça ve palet bazında takip edilebilmektedir.

Ürünlerde henüz hafıza, konum belirleme, kendini raporlama vb. ek özellikler bulunmamakla birlikte bununla ilgili proje çalışmaları devam etmektedir.

Boyut E8 Veri Güvenliği: Veri Güvenliği boyutu 3,447 puan ile dördüncü sırada yer almaktadır. Şirket yüksek bir veri güvenliği politikasına sahiptir ve bu konuda eğitimler vermektedir. Olası dış veri saldırılarına karşı iki katmanlı bir siber güvenlik sistemi bulunmaktadır. İlk siber saldırı koruma katmanında siber güvenlik için sızma testleri uygulanmakta ve anti-virüs programları, güvenlik duvarları gibi birçok koruyucu sistem devreye alınmaktadır. İkinci siber saldırıdan korunma katmanı ise bulutun koruyucuları tarafından gerçekleştirilir. Şirket, olası sistem açıklığını test etmek için düzenli aralıklarla sızma testleri gerçekleştirir. Bu testler hem şirket tarafından hem de dış hizmet sağlayıcılar tarafından uygulanır. Tüm yazılım verileri düzenli aralıklarla yedeklenmektedir (PDM 6 saatte bir yedeklenmektedir.) Ayrıca her yazılım için farklı yedekler bulunmaktadır. Veriler buluta taşınmadan önce disklerle de yedeklenmektedir.

Boyut E9 Veri İşleme ve Depolama: Veri İşleme ve Depolama boyutu 3,570 puanla üçüncü sırada yer almaktadır. Şirket tüm verilerini bulutta tutmakta ve internet

üzerinden şirket bilgilerine erişim sağlamaktadır. Buradaki veriler programlar yardımıyla analiz edilebilmekte ve optimizasyon çalışmaları için kullanılabilir.

Yukarıdaki Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli bulgularına göre şirket departmanlar arası dikey entegrasyon kurmaya başlamıştır. Firma tedarikçileri ve müşterileri ile yatay entegrasyona başlamıştır ve bu nedenle kısmi bir yatay entegrasyonu söz konusudur. Çalışmanın genel dijital olgunluk seviyesi/endeksine bakıldığında (dört üzerinden 3,024) şirketin buradaki boyutlara göre dijital dönüşüm yolunda hızla ilerlediği tespit edilmiştir.

Bir sonraki başlıkta dijital olgunluk seviyelerinden elde edilen bulguları desteklemek amacıyla şirketin genişletilmiş ISA-95 modeline göre yazılım ve fiziksel yapısı detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

3.4. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yapısı

Bu başlık altında şirketin yazılım ve fiziksel yapısı genişletilmiş ISA-95 model yapısına göre detaylı olarak sunulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde şekil 20'de gösterildiği üzere mevcut ISA-95 standardında eksik olan ve genişletilmiş ISA-95 model yapısına eklenen PDM yazılımları, nesnelerin interneti tarafından üretilen verilerin taşınmasını sağlayan siber fiziksel sistemler, bağlanabilirlik katmanı ve bulut bilişim genişletilmiş modele eklenmiştir. Amaç, şirketin hem dikey hem de yatay entegrasyon açısından dijital ekosistem yapısını ne ölçüde sağlayabildiğini belirlemek için modeli kullanmaktır.

3.4.1. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yazılım Yapısı

Literatürde VSM (Değer Akış Haritalama) aynı zamanda MIFA (Malzeme Bilgi Akış Analizi) olarak da tanımlanmaktadır. Bu yalın aracı kullanmanın amacı, malzeme ve bilginin süreçler arasında nasıl aktığını, bu akışların nerelerde kesintiye uğradığını ve kesintisiz akışın nasıl sağlanacağını belirlemektir. MIFA'nın amacı, malzeme ve bilginin bir nehirde akan suya benzer şekilde akmasını sağlamaktır. ETO (Engineering to Order) veya proje bazlı üretim kullanan şirketlerin çevik olabilmek için ERP-PDM ve MES entegrasyonuna yüksek gereksinimleri vardır. VSM modeli, değer akışındaki süreçler

ulaştıklarında ürünün üzerindeki barkodu okutup CRM sistemine giriş yaparak tüm teknik bilgilere (pdf formatında) ulaşabilmektedir. ERP sistemine aktarılan siparişe ait ürünün tanımlı olması durumunda, MTO (make-to-order), sipariş sistem üzerinden otomatik olarak oluşturulmaktadır. Sistemde tanımlı olamayan yeni ürünler için, ETO (engineering-to-order), yani müşterinin kendi spesifikasyonlarına göre özelleştirilmiş ürünler öncelikle şirketin Ar-Ge birimine iletilmekte, burada yeni ürün için gerekli süreçler başlatılmaktadır. Böylece bu birimin mühendisleri, müşterinin benzersiz ürün özellikleriyle eşleşen ETO siparişlerini oluşturmaktadır. Ar-Ge biriminde henüz tanımlanmamış ürünlerin tasarımı 2 hafta gibi kısa bir sürede gözden geçirilip onaylandıktan sonra tanımlı bir ürün haline getirilerek ERP üzerinden sistemde üretim aşamasına aktarılmaktadır.

Envanter ana verileri, ürün reçeteleri, lojistik, finans/ muhasebe gibi temel iş süreçleri ERP tarafından yönetilir. Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP), depo yönetimi (WMS), hizmet yönetimi (SM), kalite yönetimi (QM) ve bakım yönetimi (PM) gibi temel modüller de buna dahildir. ERP- PDM entegrasyonu dahilinde, tanımlanan ürün üzerinde gerekli tüm kontroller yapılır (ürün çizimlerinin ürün ağacı ile uyumluluğu vb.). PDM sürecinde üretilen BOM verileri (BOM: Bill of Material) ve Rotalama bilgileri ERP'ye aktarılır ve bu sayede Üretim Planlama yazılımındaki (üretim simülasyonları içerir) üretim kapasitesine göre gelen tüm müşteri siparişlerinin en uygun çizelgelemesinin yapılabilmesi için üretim malzemeleri, BOM'lar, iş istasyonu bilgileri ERP'den çekilir. Üretim Planlama, gelen müşteri siparişlerini bölünmüş siparişler olarak üretim siparişlerine dönüştürür ve bu bilgileri ERP'ye aktarır. Böylece Üretim Planlama ile ERP arasında iki yönlü bir bilgi transferi gerçekleşir. Üretim Planlama tarafından üretilen iş emirleri ve üretim talimatları ERP'ye aktarıldıktan sonra şirketin MES sistemini oluşturan PMI ve FSM yazılım sistemlerine iletilir.

FSM, ERP'den gerekli üretim bilgilerini çekip üretim için kullanılacak malzemelerin depo kontrollerini gerçekleştirir. Gelen bilgiler ERP'ye aktarılıp kaynak planlamasına gerekli bilgiler sunulur. MRP'ye aktarılan bilgiler doğrultusunda tedarikçilerden gerekli hammadde ve yarı mamul satın alma siparişleri oluşturulup etkin malzeme tedariki ve doğru maliyet hesaplamaları yapılır. Hem üretilecek ürünlerin hammadde akışı planlanır hem de üretimde kullanılacak tüm kaynakların (personel,

makine, kalıp, vb.) planlaması yapılmaktadır. Gerekli siparişler şirketin hammadde deposuna giriş yapmadan önce kalite kontrolleri gerçekleşir ve şirketin kalite standartları ile uyumlu ürünler hammadde ve yarı mamul deposuna giriş yapar. Şirketin kalite standartlarını karşılayamayan ürünler ise tedarikçiye geri gönderilir.

Buradan elde edilen depo bilgileri ERP'ye gönderilir ve Üretim Planlama tarafından oluşturulan iş emirleri PMI sistemine aktarılarak mavi yakalı çalışanların vardiya bazında yapacakları işlerin bilgileri PMI üzerinden aktif hale getirilir ve takip edilir. Bu işlemlere paralel olarak açılan iş emirlerinin gerçekleştirilebilmesi için FSM üzerinden gerekli depo kontrolleri sürekli olarak yapılır ve ürün reçetelerine göre depodan çekilen gerekli malzemeler iş emirlerine uygun olarak hatların beslenmesini sağlar. Bu amaçla hammaddeler el terminallerine yapılan çıkış kayıtları ile depolardan çıkarılır ve üretim alanında kullanacak kişiler tarafından el terminallerine giriş yapılarak kabul edilir.



Şekil 32: El Terminali

Üretim aşamaları ilerleyip yeni yarı mamuller üretildikçe her yeni üretilmiş olan yarı mamulün üretim sonu kaydı el terminalleri ile yapılmaktadır. Hatlarda bulunan yazıcılar yardımıyla yeni yarı mamullere ait tüm bilgileri içeren yeni barkodlar basılarak ürünleri taşıyan kasaların/ paletlerin üzerine yapıştırılır ve bu işlem nihai ürün elde edilene kadar devam eder. Tüm bu aşamalar gerçekleşirken FSM üretimde tüketilen hammaddelerin kaydını yapar. Nihai ürünler istenilen kalite ve miktarda üretildikten ve tüm iş emirleri kapatıldıktan sonra ERP üretimin bittiğini kayıt altına alır. Bunun için PDM'den aldığı ürün ve BOM bilgilerini, Üretim Planlama'dan aldığı iş emirleri bilgilerini, FSM'den aldığı stok bilgilerini, PMI'dan aldığı üretim bilgilerini işler ve

stoktan tüketilen hammaddeleri BOM bilgilerine uygun olarak işler ve üretilen nihai ürün miktarlarının stoğunu oluşturur.

Üretim sonu kalite kontrolleri gerçekleştirildikten sonra uygun olan ürünler bitmiş ürün deposuna alınırken, kalite standartlarını karşılamayan nihai ürünler üretim sürecine geri gönderilir.

Son olarak ERP üzerinden siparişler teslimata dönüştürülür ve sevkiyat süreçleri gerçekleştirilir. Ürünler müşteriye teslim edildikten sonra ürünle ilgili olası şikayetler satış sonrası hizmet kapsamında bayilerin veya firmanın CRM yazılımı üzerinden firmanın yönetim kurulunda işleme alınmaktadır.

Şirket görselde gösterilmeyen ancak ERP ile bağlantılı çalışan bazı farklı yazılımlar daha kullanmaktadır. Bunlar elde edilen verilerin en ince detayına kadar analiz edilmesine, uygun aksiyonların alınmasına ve süreçlerin daha verimli yönetilmesine yardımcı olur. Ürün bilgileri her zaman güncel ve doğru olup, çalışma ekibinin görev ve projelerinin durumu anlık olarak takip edilebilmektedir. Aynı zamanda projelerle ilgili gelişmiş rapor çıktıları alınabilir ve böylece iş süreçleri daha verimli yönetilebilir. Sistem içerisindeki ürün bilgileri firmanın Ar-Ge yönetimi tarafından güncel tutulmakta, kalite standartları ve üretim talimatları da bu birimde oluşturulmaktadır. Yeni üretilecek ürünlerin ürün kodları ve tüm bilgileri sisteme işlendikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelmektedir.

Şirketin yazılım sistemi, iş akışı ve belge yönetimine yardımcı olur ve çalışanların gerekli belgelere her yerden erişmelerini sağlayarak görevlerini yerine getirmelerine yardımcı olur. Dağıtılan iş emirleri için son üretim tarihler tanımlanır ve tamamlanma süreleri ölçülür. İşlerin anlık takibi ve süreç yönetimi performanslarının ölçümü şirkete çeviklik kazandırır. Sorunlu noktalar tespit edilebilir ve uygun iyileştirme yöntemleri uygulanır. Böylece kaynak planlaması ile çalışanların zamanı en verimli şekilde yönetilir. İşlerin tanımlanmış kurallara göre yapılması süreç otomasyonu sağlar. Sistem doğru belgeyi doğru kişiye zamanında ulaştırdığı için kurum içinde belgelerin güvenli paylaşımı sağlanır ve üretim süreci engellenmeden devam eder.

Şirketin bütçe çalışmaları da yazılım yardımıyla yürütülür. Verimliliği etkileyen doğru kararların alınması için fırsatlar sunan bütçenin hesaplanmasına yardımcı olan yazılımlar, parametreleri ve verileri değiştirebilir, elde edilen finansal raporları analiz

ederek geleceğe yönelik öngörülerde bulunabilir. Farklı parametrelere dayalı senaryoları oluşturarak raporların karşılaştırılmasına yardımcı olunur. Bu sistem entegrasyon özelliği sunduğu için ERP ve CRM gibi sistemlerle çift yönlü veri akışı sağlayabilir ve verilerin doğruluğunu artırır. Bu yazılım yapısı tüm temel verileri sistemden çektiği için hatalı sonuç ihtimalini en aza indirecek güce sahiptir.

PDM'e ait yazılımlar ERP sistemini beslediği için ürünle ilgili tüm bilgilere ulaşılır. Bu sistem, ürün bilgilerinin her zaman güncel ve doğru olmasını, çalışma ekibinin görev ve projelerinin durumunun anlık olarak izlenebilmesini sağlar. İş süreçleri daha verimli yönetilebilir ve projelerle ilgili gelişmiş rapor çıktıları eş zamanlı olarak alınabilir. Şirketin karar verme süreçlerinde entegrasyondan elde edilen bilgilerin kullanılması, daha kesin ve hızlı karar verilmesine olumlu katkı sağlar ve Ar-Ge mühendislerinin alternatif bileşenleri görüntüleyebilmesi, teslimat süresi ve fiyat hakkında bilgi edinebilmesi ve üretim maliyetleri hakkında gerçek zamanlı bilgilere erişebilmesi, şirketin çevikliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Tek bir doğruluk kaynağını garanti etmek için tüm sistem (PDM-ERP-MES) senkronize edilmiştir. Tüm bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, şirketin yazılım katmanlarının dijitalleşme seviyesinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ürün bilgileri firmanın Ar-Ge yönetimi tarafından güncel tutulmakta, kalite standartları ve üretim talimatları da bu birimde oluşturulmaktadır. Yeni üretilecek ürünlerin ürün kodları ve tüm bilgileri sisteme girildikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelmektedir.

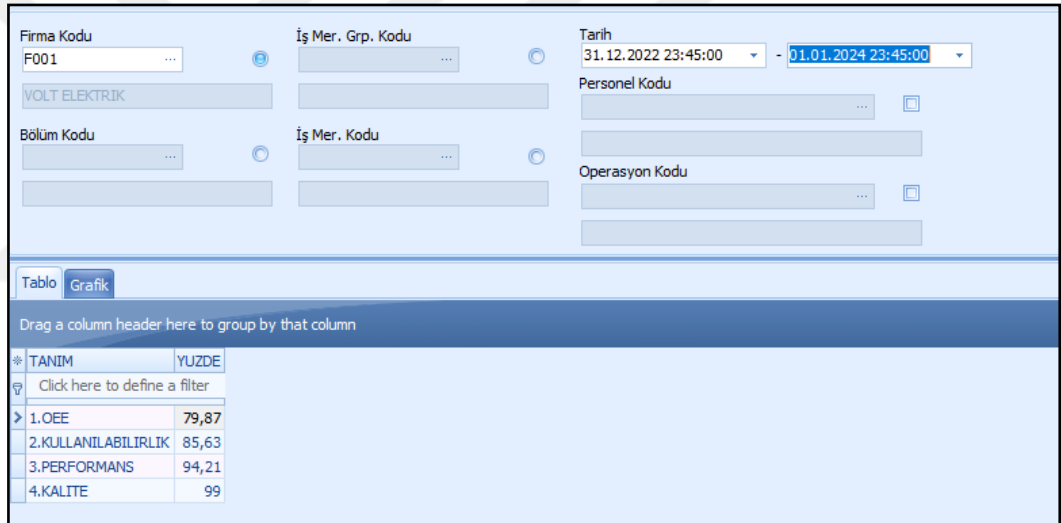
Ürün çizimlerinin amacına bağlı olarak CAD programı ile iki boyutlu veya üç boyutlu çizimler kolaylıkla yapılabilir. CAM (Computer-Aided Manufacturing), enjeksiyon kalıpları, sac metal kalıpları ve elektrotlar dahil olmak üzere kalıp tasarımı, modelleme, üretim ve genel imalat için tüm CNC (Computer Numerical Control) ve EDM (Electrical Discharge Machining) makinelerinin programlanması için kalıp üreticilerine uçtan uca çözümler sunan bir programdır.

PMI, üretim gereksinimlerini doğrudan 3B modelle yakalamaya ve ilişkilendirmeye ve bu bilgileri sonraki üretim uygulamalarına aktarmaya olanak tanıyan kapsamlı bir 3B model açıklama yazılımıdır. PMI, üretim için bir ürünün bileşenlerinin tasarımı hakkındaki bilgileri iletme için kullanılır. Daha spesifik olarak, PMI

geometrik boyutlandırma ve tolerans, 3D açıklama (metin olarak), yüzey kalitesi ve malzeme özellikleri gibi bilgileri iletir (Siemens, 2011).

PMI ve 3D dokümantasyon yöntemlerinin kullanılması sayesinde bir parçanın dokümente edilme süresi ve maliyeti yüzde 50 oranında azaltılabilir ve üretime erken katılım daha kolay hale getirilebilir. Şirketteki PMI yazılımı yardımıyla, üretimdeki PLC ekranlarından gerekli tüm üretim bilgilerine erişilebilir (Örneğin: duruş süresi ve kodları, OEE değeri, PPM değeri (milyon başına parça) vb.).

Üretimin OEE değerleri, iş merkezlerindeki ekranlardan PLC'ye aktarılan veriler yardımı ile otomatik hesaplanıp değerlere PLC üzerinden ulaşılıyor. OEE değerleri ayrıca tezgah bazlı da raporlanabilmektedir.



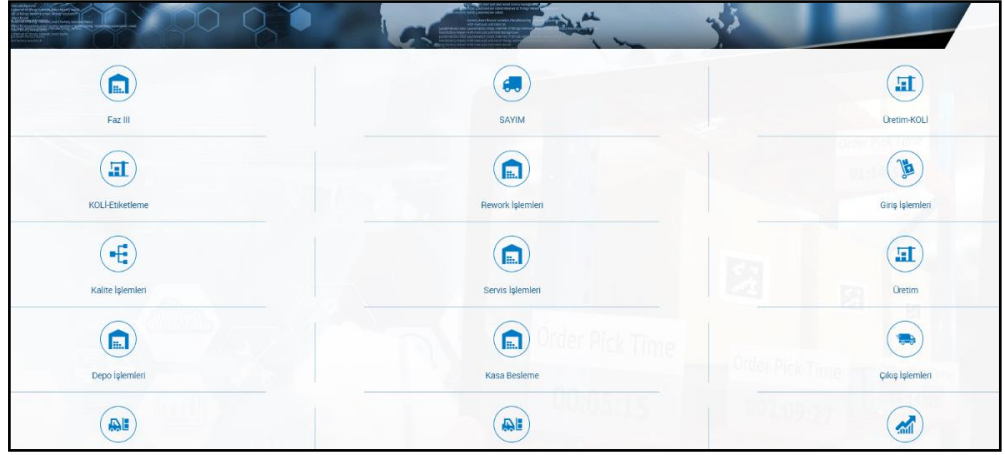
The screenshot displays a software interface for generating an OEE report. At the top, there are several filter fields: 'Firma Kodu' (F001), 'İş Mer. Grp. Kodu', 'Tarih' (31.12.2022 23:45:00 to 01.01.2024 23:45:00), 'Personel Kodu', 'Bölüm Kodu', 'İş Mer. Kodu', and 'Operasyon Kodu'. Below these filters, there are tabs for 'Tablo' and 'Grafik'. The 'Tablo' tab is active, showing a table with two columns: 'TANIM' and 'YUZDE'. The table contains four rows of data: 1.OEE (79,87), 2.KULLANILABİLİRLİK (85,63), 3.PERFORMANS (94,21), and 4.KALİTE (99). A legend at the bottom indicates that the table is grouped by 'TANIM' and filtered by 'YUZDE'.

TANIM	YUZDE
1.OEE	79,87
2.KULLANILABİLİRLİK	85,63
3.PERFORMANS	94,21
4.KALİTE	99

Şekil 33: 2023 Senesinin Toplam OEE Raporu

PMI kullanımı daha az hataya ve dolayısıyla kalite standartlarının gerçekleştirilmesine, daha iyi iletişime ve üretkenliğin artmasına yol açmaktadır.

FSM, süreçler de dahil olmak üzere bir şirketin saha kaynaklarının koordinasyonu ile ilgili tüm faaliyetleri destekler. Sahada ihtiyaç duyulan parça ve yedek parçaların yeterli miktarda tedarik edilmesine yardımcı olmak için parça, hammadde ve yarı mamul ürünlerin parça yönetimini gerçekleştirir. FSM yardımıyla tüm üretim sonu kayıtları ve envanter takibi yapılır (SAP,2024).



Şekil 34: FSM Ana Ekran Görüntüsü

Şirket ayrıca Kurumsal Varlık Yönetimi yazılımına sahiptir. Bu yazılım, şirket varlıklarına ilişkin tüm envanter ve bakım süreçlerinin tek bir platform üzerinden yönetilmesini sağlar. Kısacası, işletme genelinde yönetilmesi ve izlenmesi gereken tüm lokasyonlardaki tesis, altyapı, makine, ekipman, tezgah, endüstriyel OT/ IT varlıkları dahil tüm varlıkların bakım yönetimini gerçekleştirir. Bu yazılım sayesinde şirket, varlık ve bakım maliyetlerini düşürebilir ve katma değeri olmayan işleri azaltarak üretim zamanını daha verimli kullanabilir. Varlık yönetimini Endüstri 4.0 kapsamında gerçekleştirebilen şirketler daha çevik, entegre ve yenilikçi olabilmekte, şirketin daha az kesinti ile çalışmasına, dolayısıyla tasarruf etmesine ve daha yüksek kar elde etmesine olanak sağlamaktadır. Bu yazılım, üretimin arıza kayıtlarını şirketin bakım ekibine bildirir ve hangi varlığın arıza kodu ile devre dışı kaldığını şirketin bakım ekibine bildirir. Arıza süresi bilgileri tablete manuel olarak girilirken, bildirim PMI sistemi aracılığıyla otomatik olarak gerçekleşir (Bimser, 2024).

Şirketin yazılım yapısı, Endüstri 5.0 konularını destekleyen önemli bir yazılım olan elektrik izleme yazılımını içermektedir. Şirket, sağlam bir enerji yönetim sistemi uygulamasına yardımcı olan ISO 50001 sertifikasına sahiptir. Bu bağlamda, 3.3.2.5. ve 15. soruda belirtildiği üzere, şirket enerji tüketimine ilişkin iki sistemle çalışmaktadır. Bunlardan ilki, şirketin bulunduğu Organize Sanayi Bölgesi'ndeki tüm şirketlerin elektrik üretim ve tüketim bilgilerini güneş panelleri yardımıyla sağlamasıdır. Bu amaçla firmalar kendi kimlik kartları ile sisteme giriş yaparak gerekli bilgilere

ulaşabilir. Firma bünyesindeki süzme sayaç veya enerji analizörlerini filtreleme sistemi de enerji üretim ve tüketimine ilişkin tüm verileri firmanın SCADA sistemine aktarmakta ve böylece ilk sistemin enerji verilerinin doğruluğunu kontrol etme imkanı sağlamaktadır. Bu sistemler yardımıyla her bir elektriksel varlık tarafından tüketilen bilgileri izlemek mümkündür.

Şirketin yazılım yapısındaki bir diğer önemli yazılım ise Kalite Doküman Entegre Yönetim sistemidir. Firmanın bu doküman yönetim sistemi, uygulanacak her türlü standardı yönetmek ve izlemek için geliştirilmiş bir yazılımdır. Belirli zamanlarda uyarılar oluşturarak firmaya dokümanların güncellenmesini hatırlatır ve firmanın daha önce belirlediğı tüm standartların güncel olmasını sağlar. Bu yazılım sayesinde firmaların denetimi bu belgeler üzerinden gerçekleştirilmekte ve zaman açısından büyük bir tasarruf sağlamaktadır. Belgelerin güncel olması sağlanarak kuruluşun iş süreçlerine olan güveni artmaktadır.

Şirketin İnsan Kaynakları Programı, her seviyedeki çalışanın kayıtlarını içermekte, insan kaynakları ve bordro süreçlerini değerlendirmektedir. Çalışan performans değerlendirme, bütçeleme, ücret analizi ve raporlama faaliyetlerinde doğru işe alım kararı verme ve daha doğru kararlar alma sürecini destekler. Çalışanlar sisteme giriş yaptıklarında bilgiler Kalite Doküman Entegre Yönetim sistemine aktarılır ve yetkileri açılır ve çalışanlar yetki çerçevesinde gerekli bilgilere ulaşabilirler. Böylece İnsan Kaynakları Programı ile Kalite Doküman Entegre Yönetim sistemi arasındaki bağlantı şirketin doküman yönetim sistemini oluşturmaktadır. Şirket ayrıca şirket çalışanlarının performansını değerlendiren bir KPI yönetim sistemine sahiptir. İnsan kaynakları biriminde kullanılan personel devam kontrol yazılımı, parmak izi, kart, şifre, yüz tanıma sistemlerinden gelen bilgilerden bordro raporları hazırlar. Bu sistem sayesinde personelin şirkete giriş çıkış saatleri, devamsızlık günleri, molalar, resmi tatiller, bireysel izinler, eksik ve fazla mesailer gibi tüm veriler kayıt altına alınarak bordro tablosu oluşturup bodro hesaplamalarına yardımcı olunur.

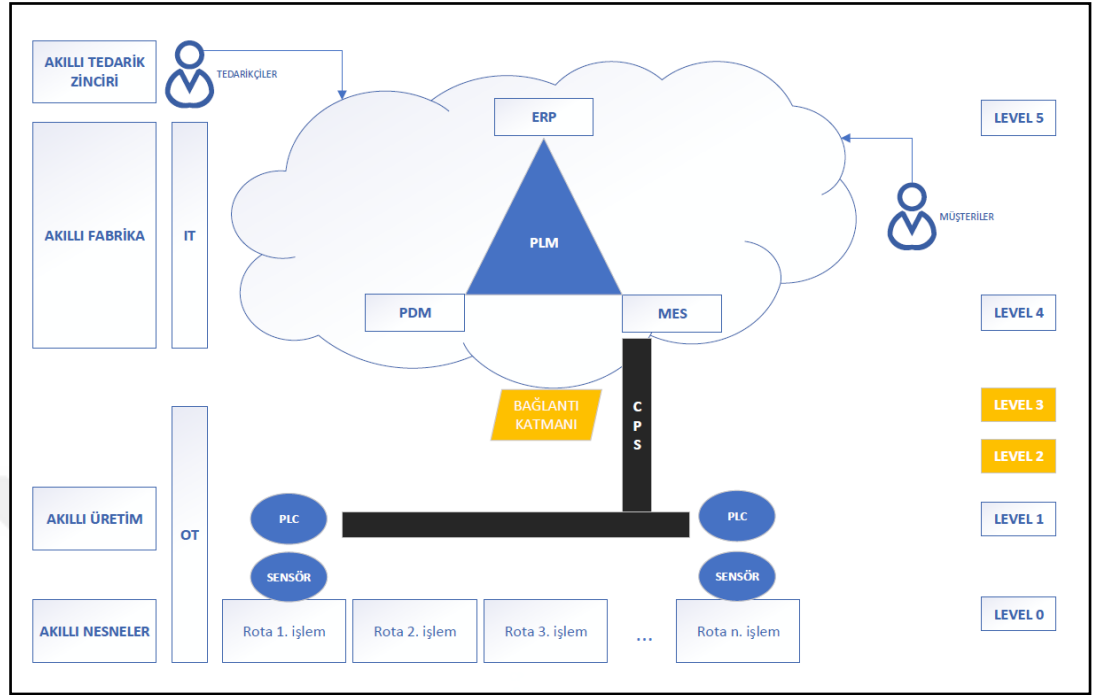
Özetle, bilgi yönetimine odaklanmadan iş süreçlerini yönetmek artık neredeyse imkânsız. Genişletilmiş ISA-95 modeli çerçevesinde ERP, PDM ve MES entegrasyonunu gerçekleştirmek için şirketler kendi yapılarına ve ihtiyaçlarına uygun bir yazılım yapısı kurmak zorundadır.

Bu başlık altında şirketin yazılım yapısının genişletilmiş ISA-95 modeline göre süreçlerin dijitalleşmesi için gerekli tüm yazılım koşullarını sağladığı ve dolayısıyla yazılım katmanlarının Akıllı Fabrika konseptine uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şekil 20'de gösterildiği üzere tüm yazılım katmanı bulut bilişim sistemi ile entegre edilerek verilerin bulutta toplanması ve anlamlandırılması sağlanmıştır. ERP, PDM ve MES, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminin (PLM) yapısını oluşturmaktadır. PDM ürün bilgilerini, MES üretim sürecini ve ERP iş verilerini izler ve kontrol eder. PLM, ilk fikirden hurdaya çıkana kadar ürün yaşam döngüsü boyunca ürünle ilgili verileri kontrol ederek ürün ve sipariş teslim sürecinin yönetimini ve kontrolünü sağlar. Endüstri 4.0'ın en büyük zorluğu olan, üreticiden müşteriye kadar olan uçtan uca süreci yeni, gelişmiş iş modelleriyle birbirine bağlamak için merkezi IT yönetim sistemlerinin entegrasyonunu sağlamak, şirket tarafından büyük oranda sağlandığı tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında son başlık altında genişletilmiş ISA-95 modeli şirketin IT ile fiziksel yapısı (OT) arasındaki entegrasyonu ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Bu modelde mevcut ISA-95 standardında eksik olan siber fiziksel bağlantılar, bağlantı katmanı ve bulut bilişim gereksinimleri de analiz edilmiştir.

3.4.2. Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Fiziksel Yapısı

Şirketin yazılım yapısını genişletilmiş ISA-95 modeline göre sağladığı tespit edildikten sonra modelin fiziksel yapısı yani OT katmanları bu başlık altında incelenmiş ve IT yapısı ile entegrasyonu açıklanmıştır. Bunun için aşağıdaki görsel, genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin yapısını ortaya koymaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 35: Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yapısı

Level 0 ve 1: Genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin yapısı incelendiğinde, üretim sisteminde makineleri arası kısmen bir sensör yapısının bulunduğu tespit edilmiştir. Robot sistemlerinde kullanılan sensörler ürünleri algılayarak robotun ürünleri tezgah üzerine yüklemesini ve işlemlerini sağlamaktadır. Firma ayrıca İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında sensörlerden yararlanarak iş kazalarının da önüne geçmektedir. Tezgah çalıştığı esnada yanlışlıkla el-kol gibi uzuv kayıplarını önlemek için kullanılmaktadır. Çalışan tezgahın önündeki sensörünün önüne el veya kol konulduğunda sensörler tezgahı otomatik bir şekilde durdurmaktadır.

Firmada, güneş enerjisi sistemlerinde bulunan analizör sensörler ile ölçümlerden elde edilen raporlar bakım birimi tarafından takip edilip sapmalar olması durumunda düzenleyici aksiyonlar alınmaktadır.



Şekil 36: Robot Sistemi



Şekil 37: Üretim Hattı Üzerinde Sensör Yapısı

Bu görüntüler üretim hattındaki sensör yapısını göstermektedir. Bu sensörler mevcut bant üzerinde malzeme olup olmadığını kontrol eder. Bant üzerinde malzeme varsa, malzemeler tezgah üzerine yüklenir. Bant üzerinde malzeme yoksa, bant malzemeyi görene kadar dönmeye devam eder.

Aşağıdaki görsel bir röleyi göstermektedir. Tezgahta her bir çevrimde bu röle tetiklenir ve PLC tarafına 1 olarak sinyal gönderir. Gönderilen sinyalde PMI tarafından +1 üretim olarak yansımaktadır.



Şekil 38: Röle

Yukarıda yer alan sensör bilgilerine bakıldığında, üretimde toplanan veriler hem sensör yardımı ile hem de manuel olarak gerçek zamanlı şirketin Bulut sistemine iletilmektedir ve böylece büyük veri üretilebilmesi sağlanmaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak, şirketin sensör yapısı eksikliğini de dikkate alarak genişletilmiş ISA-95 modeline göre level sıfırın *Akıllı Nesneler* kavramına uyumu kısmen sağlandığı ve böylece Nesnelerin İnterneti'nin vaat ettiği otomasyon ve esnekliği hızlandırarak operasyonel verimliliğin iyileştirilmesi, üretkenliğin artırılması ve işletme maliyetlerinin azaltılması kısmen gerçekleştiği tespit edilmiştir.

CPS sistemi henüz kullanımda olmadığı için veriler MES'e PLC yapısı üzerinden iletilmektedir. 3.4.2.1. altında belirtildiği gibi şirketin IT entegrasyonu genişletilmiş ISA-95 modeline göre uygundur ve burada üretilen tüm veriler bulut sistemine aktarılır. Benzer şekilde sahadan elde edilen veriler de PLC üzerinden IT katmanına iletilmekte ve bulut sisteminde depolanmaktadır. Böylece bulut sistemi hem IT katmanından hem de OT katmanından gelen verilerle beslenir. Bu bilgiler doğrultusunda şirketin CPS yapısı olmadan da *Akıllı Üretim* gerekliliklerini kısmen karşıladığı söylenebilir.

Level 4: Çalışmada daha önce de bahsedildiği üzere Endüstri 4.0'ın temeli, şirketlerdeki makine ve ekipmanların internet ve bulut teknolojilerini kullanarak birbirleriyle haberleşmesini sağlamak, ileri hesaplama ve ileri internet teknolojileri

aracılığıyla büyük veri üreten bulut bilişim sistemlerinde depolayarak *Akıllı Fabrika* yapısı oluşturmaktır.

Şirket çalışanları bulut sisteminde depolanan verilere yetkinlikleri doğrultusunda internet erişimi olan her yerden bilgisayarları veya diğer şirket cihazları ile erişebilmektedir ve gerekli bilgilere ulaşır raporlar elde edebilmektedir. Bu raporların yardımı ile karar destek mekanizması daha hızlı işleyerek şirkete çeviklik kazandırmaktadır. Büyük verinin bulut sistemlerinde depolanması ve anlık olarak analiz edilebilmesi birçok kaybın önüne geçebilir, verimliliğini ve ürün kalitesini en üst seviyede tutabilmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda şirketin *Akıllı Fabrika* yapısını genişletilmiş modele göre kısmen oluşturduğu söylenebilir. Tüm akıllı nesnelerin henüz sensörlerle bağlantılı olmadığı, CPS yapısının henüz hayata geçirilmediği bir ortamda sahadan alınan verilerin MES'e yarı otomatik ve manuel olarak aktarılabilmesine rağmen ve yazılım yapısının olgunluğu nedeniyle şirket genişletilmiş ISA-95 modeline göre dikey entegrasyonu kısmen sağlayabildiği sonucuna varılmaktadır.

Level 2: Şirketin SCADA sistemi level 0'ın makinelerine bağlı olup, sadece enerji tüketen alanları tanımlayıp her bir makinenin enerji bilgilerini sağlamaktadır. Bir makinenin belirli çıktı sayısında tükettiği elektrik miktarı bilinmektedir. Bu bilgi ile elektrik kullanımındaki sapmaları tespit etmek ve gerekli onarım ve bakımları yapmak mümkündür. Böylece sistem enerji tasarrufu yapılmasına ve sorunların çözülmesine yardımcı olmaktadır. Bunun için SCADA sistemi tarafından üretilen veriler kestirimci bakımda da kullanılır.

Ara Katman/ Level 3: Mevcut ISA-95 standardında yer almayan ve genişletilmiş ISA-95 modeline CPS yapısı ile birlikte eklenen endüstriyel *bağlantı katmanı*, farklı iletişim protokollerine sahip nesnelerin bağlantı sorunlarını ortadan kaldırmaktadır. Böylece akıllı nesnelerden toplanan tüm veriler, herhangi bir arayüz yazılımına ihtiyaç duyulmadan endüstriyel bağlantı katmanı üzerinden küçük adımlarla OPC|UA standardına dönüştürülebilmekte ve böylece akıllı nesnelerin birlikte çalışabilirliği sağlanabilmektedir. Bağlantı katmanı, şirket içinde üretilen verilerin toplanması, iletilmesi, depolanması ve analiz edilmesinden sorumludur. Bu katman yardımıyla farklı

protokollerde veri üreten cihazlar PLC sistemi üzerinden OT ve IT arasındaki iletişimi gerçekleştirebilir.

Şirketin tek tip PLC sistemi olduğu için sadece tek bir protokol kullanmaktadır. Bu nedenle bağlantı katmanına ihtiyaç duymaz. Farklı PLC yapılarında farklı protokol dilleri kullanılmadığı için bunların bağlantı katmanında toplanmasına ve tek bir protokolda birleştirilmesine gerek yoktur. Makinelere gelen veriler PLC üzerinden direk PMI (MES) sistemine aktarılır, böylece OT ve IT arasında bir entegrasyon oluşturulur. Bu nedenle genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin ara katmanını oluşturan bir bağlantı katmanı olmadığı tespit edilmiştir.

Yatay Entegrasyon: Şirket, ERP aracılığıyla yan sanayiler, tedarikçiler ve lojistik şirketleriyle işbirliğini kısmen yapmaktadır ve CRM sistemi ile müşteri bilgilerini kaydetmektedir. Şirketin CRM programı hem sipariş, hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir ve böylece bulut entegrasyonu içinde bir yatay entegrasyon yapısını oluşturma gücüne sahiptir ancak bunun üzerinde gerçekleşen çalışmalar devam etmektedir.

Dijital Ekosistem: Şirketin dijital bir ekosistem oluşturabilmesi için yatay entegrasyonda bulut bilişimin yanı sıra gelecekte siber-fiziksel sistemlerin eklenmesi, şirketler arasında daha kolay bilgi paylaşımı, değer ağı ve işbirliği sağlayacaktır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde de belirtildiği üzere, *uçtan uca dijital mühendislik* entegrasyonu ürün yaşam döngüsünü ifade etmektedir. Bu süreç müşteri talebinin belirlenmesi ile başlar ve ürün tasarımı, üretim planlaması, hizmetler ve müşteri geri dönüşümü dahil olmak üzere ürün değer zincirindeki tüm iç ve dış faaliyetlerin entegrasyonunu içerir. Şirkette elde edilen dikey ve yatay entegrasyon bilgileri ışığında, kısmi bir uçtan uca entegrasyon ve dolayısıyla dijital bir ekosistem oluşturduğunu söylemek mümkündür.

Firma, dördüncü sanayi devrimi kapsamında Akıllı Fabrikasında, tüm süreçlerin sensör yapısı içerisinde birbirleri ile haberleşebilen yeni nesil teknolojiler ile akıllı fabrika kapsamında veri üreterek ve bu verileri CPS ile bulut sistemine ileterek daha esnek, daha ucuz, daha hızlı ve daha verimli üretim sağlamayı hedeflemelidir. Firmanın 3.4.2.1. kapsamında yazılımsal olarak Akıllı Fabrika konseptine uyumluluğu, bir ağ içerisinde birbirine bağlı sensörler ve akıllı nesneler ile tam olarak birleştiğinde ve elde

edilen veriler CPS ile veri tabanına iletilebildiğinde dikey entegrasyon tam olarak kurulmuş olacaktır. Bu akıllı nesneler, üretim süreçlerini analiz etmek ve iyileştirmek ve envanteri yönetmek için kullanılabilir, üretim süreçlerini tespit etmeyi ve izlemeyi ve ek bilgi sağlamayı mümkün kılar. Sensörler ve büyük veri analitiği ile donatılmış makineler, arızaları tahmin edebilecek ve şirketin gereksiz duruş sürelerini önlemek için kestirimci bakım yapmasını sağlayacaktır. Dikey entegrasyonun sağladığı üretim ve otomasyon sistemlerinde farklı hiyerarşik seviyelerdeki bilgi teknolojilerinin entegrasyonu ile fabrika içindeki tüm makine, ekipman ve sistemlerin birbirine bağlanmasını ve tüm sistemin entegre olmasıyla birlikte anlık olarak izlenmesini ve sürekli iyileştirme için uyarlanmasını mümkün kılacaktır.

Çalışmanın uygulaması teori bölümlerinde sunulan içeriğe göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde dijitalleşme ile ilgili tüm önemli bilgilere yer verilmiş ve şirketin yalın ve dijital olgunluğunu ölçmek için kullanılan ölçekler hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmanın ikinci teori bölümünde, mevcut ISA-95 modelinin bileşenleri ve ardından mevcut modelde eksik olan ve genişletilmiş ISA-95 modelinde yer alan bileşenler ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Çalışmanın teori bölümlerinden elde edilen içerik daha sonra çalışmanın uygulama bölümünde uygulanmıştır. Genişletilmiş ISA-95 modelinin şirketteki yapısı ortaya konulmadan önce şirketin yalın ve dijital olgunluk seviyeleri analiz edilmiştir. Yalın ve dijital olgunluk yapılarının sonuçları ışığında şirketin yazılımsal ve fiziksel yapısı incelenmiş ve genişletilmiş ISA-95 modeline göre detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çalışmanın uygulama bölümünden elde edilen bulgular aynı bölümde sunulmuştur. Bunu tartışma, sonuç ve öneriler takip etmektedir.

3.5. Bulgular

Dijitalleşme çalışmaları, şirketlerin sektörlerindeki rekabet avantajlarını güçlendirmelerini ve hızla değişen sektörel gelişmelere çevik bir organizasyon yapısı ile cevap vermelerini sağlamaktadır. Endüstri 4.0 paradigması, bir fabrikadaki tüm birimleri ve sınıfları etkileyen tamamen dijitalleştirilmiş bir sistemi varsayar.

Çalışmada önerilen modelin üç aşaması sırasıyla uygulanmış ve elde edilen bulgular şirketin genel kurumsal stratejileri doğrultusunda bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmaya yardımcı olmuştur.

Bu amaçla bu başlık altında şirketin yalın ve dijital dönüşüm olgunlukları analiz edilmiş ve ölçeklerden elde edilen bulgular detaylı olarak sunulmuştur. Ardından modelin üçüncü aşamasını temsil eden genişletilmiş ISA-95 modelinin analiz bulguları sunulmuştur.

3.5.1. Yalın Dönüşüm Değerlendirme Analizi- YODA

YODA ile işletmenin yalın olgunluğu ölçülmüş ve böylece işletmenin yalın olgunluğu altı boyutta belirlenmiştir. Ölçeğin uygulanması öncesinde firma yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir.

Yalın olgunluk değerlendirme analizi sonucunda 93 puan alan şirketin yalın yönetim olgunluğu önceden belirlenmiş olan 50 puanın üzerinde olduğu için oldukça yüksektir.

İşletmenin yalın olgunluğu YODA ile ölçülmüş ve böylece işletmenin yalın olgunluğu altı boyutta belirlenmiştir. Ölçeğin uygulanmasından önce firma yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir.

Yalın olgunluk değerlendirme analizi sonucunda 93 puan alan şirketin yalın yönetim olgunluğu, önceden belirlenen 50 puanın üzerinde olduğu için oldukça yüksek çıkmıştır. Tüm boyutlar ortalama 3 puan almıştır. Şirketin yalın olgunluk seviyesi *yeterli bilgiye sahip* olarak en yüksek değerlendirmeyi almıştır ve bu nedenle yalın yönetim faaliyetleri oldukça gelişmiş ve başarılıdır.

Üst Yönetim Farkındalığı

- Şirketin üst yönetimi yalın üretim konsepti ve yalın üretim felsefesi hakkında çok iyi bilgiye sahiptir.

- Kaizen felsefesi şirketin tüm alanlarında benimsenmiş ve çeşitli eğitimlerle desteklenmektedir.
- Şirketin israf alanları üzerinde sürekli çalışmalar yapılmakta ve şirket yapısı iyileştirilmektedir.

Standardizasyon

- Standardizasyon çalışmaları kapsamında süreçler kronometreyle düzenli olarak ölçülmektedir.
- Her operasyon için bir zaman etüdü bulunmaktadır.
- Üretim birimlerinin her biri için OEE hedefleri bulunmakta ve bunlara ulaşamaması durumunda raporlar hazırlanarak hedeflere ulaşmaya çalışılmaktadır.
- Ergonomik prensipler şirket için çok kritiktir. Elle kaldırılabilir motorlar belli bir hatta, vinçle kaldırılması gereken motorlar ise ayrı bir hatta konumlandırılmıştır.

Değer Akışı haritaları

- Değer akış haritaları yardımıyla darboğaz oluşturan alanlar hızlı bir şekilde tespit edilir ve bunlara karşı yeterli önlemler alınmaktadır.
- Değer akış haritaları sayesinde israfın azaltılmasına yönelik çalışmalar yeterli düzeyde yürütülür ve kayıt altına alınmaktadır.

Üretim Akışı

- Stok maliyetleri kabul edilebilir düzeydedir ve ara stoklarla sorunsuz malzeme akışı gerçekleştirilmektedir.
- Ana üretim programları müşteri talepleri ile örtüşmekte ve parti büyüklükleri bu plana uygun şekilde oluşturulmaktadır.
- SMED çalışmaları düzenli olarak yapılmakta ve kurulum süreleri (setup süreleri) kısaltılmaktadır.
- Kontrol mekanizmaları yardımıyla proses anomalileri bir sonraki prosese geçmeden önce tespit edilir. Kök neden çalışmaları ile proses anomalileri tespit edilir ve giderilir.
- İş istasyonlarında 5S çalışmaları mevcuttur.

- Kestirimci bakım planları üretim planları ile uyumludur. Plansız bakım duruşları azalmıştır.

Çekme Sistemi

- Sipariş girildikten sonra tüm süreçler için iş emirleri tanımlanır ve *çekme sistemi* devreye alınır. Bu bilgiler doğrultusunda tam zamanında üretim yaklaşımı yeterince desteklenmekte ve üretim akışının aksamadan gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır.

Sürekli İyileştirme

- Yönetim, *sürekli iyileştirme* kültürünü hayata geçirmektedir.
- Ödüllendirme sistemi uygulanmakta ve düzenli Kaizen komiteleri aracılığıyla ekiplere dağıtılmaktadır.
- Ana ve alt süreçler için güncel anahtar performans göstergeleri (KPI) üst yönetim tarafından belirlenir.
- Organizasyon genelinde görsel yönetim yaklaşımları mevcuttur. Bunlar bilgisayarlı grafikler ve raporlarla desteklenmektedir.
- Kuruluşun dijital uygulamaları uzun süredir devam etmektedir. ERP, PDM ve MES entegrasyonu mevcuttur. Üretim süreçlerine ilişkin veriler toplanabilmekte ve analiz edilebilmektedir.

Şirketin yalın olgunluk değerlendirmesi ve bulguları, şirketin bu konuda yüksek bir olgunluk seviyesine sahip olduğunu göstermektedir. Birinci bölüm altında yer alan bilgilere göre yalın yönetim dijitalleşmeyi destekleyebilir. Yalın ilkeler, dijital çözümleri entegre etme süresini kısaltıp gerekli verilerin toplanmasını basitleştirmektedir.

3.5.2. Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri

Şirketin dijital dönüşüm stratejisi “Mega Hedefler” adı altında tanımlanmaktadır ancak henüz yazılı bir formatı bulunmamaktadır.

Dijital Dönüşüm Değerlendirme Analizleri, şirketlerin dijital dönüşüm konularına ışık tutmayı ve dijital dönüşüm stratejileri için bilgi toplamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, şirketin organizasyonel ve dijital kaynaklarını ve yetkinliklerini anlamak için şirket görüşmeleri gerçekleştirilmiş ve mevcut durum

değerlendirmesi için gerekli bilgiler şirket yetkilileri ile birlikte toplanmıştır. Çalışmada farklı olgunluk analizleri uygulanarak ve analiz edilerek şirketin kendine uygun bir dijital dönüşüm yol haritasının oluşturulmasına önemli katkılar sağlanmıştır.

Aşağıdaki tabloda kullanılan Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A), Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check ve Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli dijital dönüşüm ölçeklerinin boyutları analiz edilmiş ve bulguları ortaya çıkarılmıştır.

	D3A	Impuls	Endüstri 4.0
1	Kurumsal Yönetim	Strateji ve Organizasyon	Strateji ve Organizasyon
2	Müşteri Yönetimi	Akıllı Fabrika	Çalışanlar
3	Ürün ve Ar-Ge Yönetimi	Akıllı İşlemler	Akıllı Üretim
4	Tedarik Yönetimi	Akıllı Ürünler	Üretim Teknolojileri ve Sistemleri
5	Üretim Yönetim	Veriye Dayalı Hizmetler	Bilgi ve İletişim Teknolojileri ve Altyapısı
6		Çalışanlar	Dikey ve Yatay Entegrasyon
7			Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT)
8			Veri Güvenliği
9			Veri İşleme ve Depolama

Tablo 6: Dijital Dönüşüm Olgunluk Ölçekleri ve Boyutları

Yukarıdaki tabloda yer alan üç dijital dönüşüm ölçeği birbirlerini destekleyip hepsi Kurumsal Yönetim ve Strateji ve Organizasyon boyutlarında:

- Yazılım yapısının birbirleriyle entegrasyonu ve hangi Endüstri 4.0 bileşenlerinin kullanıldığı üzerine sorular sormaktadır.
- Ölçeklerin hepsi dikey ve yatay entegrasyon yapısına odaklanıp kültürel dönüşüm, liderlik ve Endüstri 5.0 konularını ihmal etmektedir.
- Endüstri 4.0 ölçeği Yalın Yönetim konusunu ele alırken diğer ölçekleri bunu ihmal etmektedir.
- Endüstri 4.0 ölçeği sadece şirketlerin dijital dönüşüm olgunluğunu ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda şirketleri modelin üçüncü aşamasında

genişletilmiş ISA-95 Modelini analiz etmeye (IoT, CPS, Bağlantı Katmanı, Bulut Bilişim, OT+ IT entegrasyonu, uçtan uca entegrasyon dijital eko sistemi) hazırlamaktadır.

3.5.2.1. Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A)

Ölęeęin uygulanmasından önce şirket yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış, ardından saha ziyaretleri geręekleřtirilmiřtir. Bu kapsamlı görüşmelerde farklı birimlerin yöneticileri ve ęalıřanları tarafından ölęek sorularına detaylı yanıtlar verilmiştir. Bu sorulardan elde edilen bulgular aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur.

Kurumsal Yönetim

- Kurumsal yönetim kararları yönetim kurulu, icra kurulu ve müdürler kurulu tarafından alınmaktadır. Sunulan raporlar yöneticilere karar desteği sağlamaktadır. Bu kararlar şirketin 5 yıllık stratejilerine (Mega hedefler) uygun olarak alınmaktadır.
- şirketin dijital dönüşüm stratejisi “Mega Hedefler” adı altında tanımlanmış olup henüz yazılı bir formatı bulunmamaktadır.
- Kalite Belgesi Entegre Yönetim Sistemi adı verilen program yardımıyla şirketin iş süreçleri ve görevleri tanımlanmış ve şirketin dijital ortamında yer almaktadır. Bu program her türlü standardın yönetilmesi ve izlenmesi için geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu program, aynı zamanda kalite ve yönetim sistemleri standartlarını da iğerip takip etmektedir. Standartların korunması ve geliştirilmesi kuruluşun iş süreçlerine olan güvenini artırmaktadır.
- şirketin ęalıřanları fiziksel konumlarından bağımsız olarak sisteme giriş yapıp ortak projeler üzerinde ęalıřabilmektedir. Bu bilgilere dayanarak, şirket işbirliğine yüksek derecede önem verip ęalıřanlar her an her yerden güncel kalabilmekte ve projeler üzerinde ęalıřabilmektedir. Bu sayede şirketin ęevik olması sağlanmaktadır.
- İşlerin tanımlanmış kurallara göre yapılması süreç otomasyonunu sağlayıp sistem, doğru belgelerin doğru kişiye zamanında ulaştırdığı için kurum içinde belgelerin güvenli paylaşımı geręekleřir.

- Şirket bütçe programından yararlanarak tüm departmanlar bütçe sürecine dahil edilmektedir. Yıllara ait veriler analiz edilip bütçeyi etkileyen parametreler ve faktörler öngörüler sağlayabilir. Bu sistem entegrasyon özelliği sunduğu için (ERP ve CRM) tüm gerekli veriler sistemden çekilir ve hata yapma oranı en aza indirilir.
- Şirketin farklı gruplardan oluşan çok yetkin bir IT ekibi bulunmaktadır. Aynı zamanda şirkette farklı siber güvenlik sistemleri mevcuttur ve böylece veri güvenliği çok yüksektir.
- Şirketin şirketler grubunun Bulut merkezi bulunmaktadır. Oraya 10 Megabitlik bağlantı ile sürekli veriler taşınmaktadır. Şirket çalışanları yetkinlikleri içerisinde Bulut üzerinden anlık verilere erişebilmektedir.
- Çalışanların dijitalleşme faaliyetlerine uyum sağlamalarına yardımcı olmak amacıyla Ege Üniversitesi ile birlikte kapsamlı bir eğitim serisi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda şirket çalışanları dijitalleşme konularında şirket içi eğitimler de almaktadır. Bu amaçla şirketin bir kurum içi eğitim kampüsü de bulunmaktadır. Bu dijital platform üzerinden şirket grubunun tüm çalışanları istedikleri zaman istedikleri konuda farklı eğitimler alabilmektedirler. Şirketin insan kaynakları birimi alınan eğitimleri belgelendirip çalışanların eğitim performansını ölçebilmektedir.
- Sipariş girişinden ürün sevkiyatına kadar şirkette inovasyon yönetimi uygulamaları yer almakta ve ilgili proje çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin amacı işi kolaylaştırmak, verimliliği artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmektir.
- Şirket ayrıca ekip işbirliğini güçlendirmek ve şirketin proje verimliliğini artırmak için proje yönetim programı aracını kullanmaktadır. Bu program sayesinde her ekibin proje çalışmaları takip edilebiliyor, böylece ekiplerin hangi projeler üzerinde çalıştığının güncel durumu programla izlenebiliyor.
- Şirketin Kaizen Kurulu, üretim sistemindeki ve diğer birimlerin sistemlerindeki sorunları belirler, böylece süreçlerin ve projelerin sürekli iyileştirilmesini sağlar ve yeni proje fikirleri üretir. Bu faaliyetlere ek olarak, şirketin bir proje yönetim ekibi vardır. Bu ekip, kuruluşun proje yönetim standartlarını tanımlayarak projelerin sürdürülmesini sağlar.

Müşteri Yönetimi

- Genel olarak, ürünler Türk ve yabancı pazarlarda mevcuttur. Ürünler bayiler aracılığıyla Türk müşterilere satışa sunulmaktadır. Bayiler müşterilerden manuel olarak sipariş almakta, satış ve pazarlama faaliyetlerini manuel olarak yürütmektedir. Bu aşamaların dijitalleştirilmesi şirketin gelecek projeleri arasında yer almaktadır.
- Şirket yurtdışı satışlarında bayilerle çalışsa da ağırlıklı olarak OEM müşterilerden faydalanmaktadır. OEM müşterilerinden bazıları siparişlerini dijital sistemleri aracılığıyla şirkete gönderir ve şirket bu siparişleri ERP sistemine işler ve ardından üretim planlaması gerçekleşir.
- Şirketin yıllık üretim planı sipariş ve öngörülere bağlı olarak hazırlanır. Satış verileri ERP'den çekilerek yetkili kişiler tarafından takip edilebilir ve raporlar ile karar destek mekanizması sunar. Aynı zamanda programlar yardımıyla veriler görselleştirilir ve en ince detaylarına kadar analiz edilebilir.
- Müşteriye sunulan teklifler şirketin dijital teklif formatında oluşturularak müşteriye ulaştırılır.
- Şirketin kurduğu müşteri bilgi sistemi dahilinde müşteriler ürünlerin üzerindeki QR kodlar aracılığıyla ürünle ilgili tüm dokümanlara ulaşabilir ve ürün taleplerini dijital ortamda oluşturarak şirkete aktarabilir. 2024'ün son çeyreğinde şirketin müşteri bilgi sistemi, ürünlerin teknik dokümantasyonunu içeren dijital ikizler ile entegre olacak. Burada yer alan bilgiler müşterilerin erişimine açılacak.
- Şirketin CRM sistemi, müşteri bilgilerini kaydetmek için kullanılır. Aynı zamanda bu yazılım, şirketler arasında yatay bir entegrasyonun gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Şirketin CRM programı bu sayede hem sipariş, hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir ve böylece bulut entegrasyonu içinde bir yatay entegrasyon yapısını oluşturma gücüne sahiptir. Şirket CRM üzerinden sipariş girişlerini gerçekleştirebilir ve aynı zamanda siparişler telefon ve e-posta yolu ile alınabilir. İkinci olarak, şirketin bayileri CRM aracılığıyla müşterilerden gelen siparişleri şirkete bildirir.

- Şirketin satış ekibinin ve bayilerinin anahtar performans göstergeleri vardır. Satış performansları bu anahtar performans göstergelerine göre değerlendirilmekte ve ödüllendirilmektedir. Şirketin satış müdürü anahtar performans göstergelerine göre çeyrek yıllık raporlar hazırlar.
- Müşteri projelerinin yönetimi proje yönetim programı üzerinden sağlanmaktadır. Gelecekte, projelerin müşterilerle birlikte izlenmesi ve yönetilmesi için müşterilerin proje yönetim programına entegre edilmesi hedeflenmektedir.
- Henüz tanımlanmamış ürünler Ar-Ge yönetimine ulaştırılır, burada ürünün tüm bileşenleri ve bilgileri kontrol edilir, kalite standartları ve üretim talimatları oluşturulur ve ürün tasarımları gerçekleştirilir. Ürün kodları ve yeni ürüne ait tüm bilgiler sisteme girildikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelir. Ürün müşteri tarafından onaylandıktan sonra üretim çevrim süresi 7 ila 8 hafta içerisinde tamamlanır. Yeni projelerin şirkete sunulması, gerekli üretilebilirlik testlerinin yapılması ve üretime hazır hale getirilmesi için geçen süre ise 2 haftadır. Yeni ürünlerin sevkiyata hazır hale getirilmesi 8 ila 10 hafta sürmektedir.
- Firmanın bayileri müşteri şikayetlerini CRM üzerinden sisteme girerek firmayı bilgilendirmektedir. Şirketin CRM programı bu sayede hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir.
- Şirket, sosyal medya hesaplarını da bir ajans aracılığıyla aktif olarak yönetir.

Ürün ve Ar-Ge Yönetimi

- Şirketin bakanlık tarafından onaylanmış büyük bir Ar-Ge merkezi bulunmaktadır. Burada ürünlerin tasarımı (örneğin elektrik ve mekanik tasarım) gerçekleştirilmektedir. Tasarımlar daha sonra ERP sisteminde tanımlanmaktadır. Şirketin Ar-Ge merkezi aynı zamanda Avrupa'nın en büyük akredite elektrik test motoru laboratuvarına sahiptir.
- Şirketin ayrıca mühendislik birimine bağlı bir eğitim merkezi bulunmaktadır. Burada üretim personeline eğitim verilerek üretim ve ürün bilgisi kazandırılır, sanal gerçeklik (virtual reality) gözlükleri yardımıyla ürünler baştan sona sanal ortamda üretilebilir.

- Şirketin Ar-Ge biriminde farklı mühendislik disiplinlerinden mezun beyaz yakalı çalışanlar, Ar-Ge'de kullanılan yazılım sistemlerinin dijitalleştirilmesi gibi konularda araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir.
- Şirket, ulusal ve uluslararası üniversitelerle farklı konularda (örneğin malzeme ve sistem araştırma ve geliştirme, ortak TÜBİTAK ve Avrupa Birliği projeleri) çalışmaktadır.
- Kuruluş ayrıca kendi yetkinliklerini geliştirmek için düzenli eğitimler almaktadır.
- Şirketin patent başvuruları bulunmakla birlikte bugüne kadar henüz bir patent almamıştır. Ancak şirketin onaylanmış ve onay bekleyen faydalı modelleri bulunmaktadır.
- TEYDEB, Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı bünyesinde projeler yürütülmektedir.
- Kuruluş projeleri yönetirken Sistem Mühendisliği V-Diyagramı'ndan yararlanır. Sistem mühendisliği, oluşturulacak ürünün tüm unsurlarını kusursuz ve işlevsel bir şekilde bir araya getirmeyi amaçlayan disiplinler arası bir yaklaşımdır.
- Ürünlere sensör eklenmesi bir projede ele alınmış ancak bazı kısıtlamalar nedeniyle şu anda aktif bir durumda kullanılmamaktadır.
- Şirketin 5 yıllık uzun vadeli planlar dahilinde ürünler için stratejik yol haritası çizilmiş. Bu ürünler tasarlanırken makro ve mikro çevre analizleri yapıp şirketin yıllık iş planları üretilir.
- Tüm yeni ürünler 2 haftalık bir Ar-Ge süreci içerisinde özelleştirilebilmektedir. Bunun için V-Diyagramından yararlanılmaktadır. Oluşturulan ürünler şirketin dijital ikiz çalışmaları üzerinde de test edilmektedir.

Tedarik Yönetimi

- Şirketin Satış ve Operasyon Planlaması (S&OP) her 45 günde bir gözden geçirir. Bu programın algoritmaları, mevcut tüm dış ve iç faktörleri içeren optimal üretim planlama senaryoları üretebilir. Böylece sistem tarafından elde edilen veriler (ERP ve PDM'den) değerlendirilerek üretim planlaması için kümeler oluşturulur ve bunlar arasından üretim planlamasını gerçekleştirebilecek en verimli küme seçilerek optimum üretim planlaması tahmin edilebilir.

- Sistem tarafından üretilen en verimli üretim planlaması yardımıyla, her sipariş ekipman bazında bölünür ve çizelgeler, iş emirleri ve diğer gerekli bilgiler ERP sistemine aktarılır. ERP, Satış ve Planlama tarafından üretilen bilgileri analiz eder ve ilgili tüm paydaşlar bilgilendirilir.
- Üretim planlama bir yıllık ve aylık kapasite planı oluşturur ve kapasite planları yardımıyla bütçe çalışmaları yapıp yatırım planları üretilir.
- Malzeme ihtiyacı PDM'den çekilir ve ERP sistemine aktarılır. Buradan MRP, üretim planlama programının ürettiği bilgilere göre mevcut siparişler ve kapasitelere göre beslenir ve üretim için gerekli malzeme miktarı ürün ağaçlarından çekilerek siparişler planlanır ve mevcut kaynaklar dahilinde iş emirleri üretilir. Sistem ayrıca gerekli hammaddelerin hangi tedarikçilerden sipariş edileceğini de önerir. Bunun için tedarikçilerle çerçeve sözleşmeler yapılır.
- ERP yardımı ile hangi tedarikçilere sipariş verileceği belirlenir. Bu siparişler ERP üzerinden verilir ve tedarikçilere ulaştırılır. Bütçe çalışmaları ile birlikte tedarikçilerle kapsam sözleşmeleri hazırlanır ve imzalanır. Bu kapsamda yıl içerisinde tedarikçilerden gerçekleştirilecek sipariş miktarları görüşülür ve her ayın siparişleri kesinleştirilir. Tedarikçilerin ürünleri üretim öncesinde şirket laboratuvarında belirlenen kalite standartlarına göre test edilir ve tedarikçiler değerlendirilir. Bu değerlendirmelere ilişkin bilgilere şirketin ERP sistemi üzerinden ulaşılır.
- Tedarikçi seçiminde firma, ürünleri için daha önce belirlediği kriterleri değerlendirir. Bu aşamada ürünün referans dokümanları ve teknik çizimleri hazırlanır ve standartlar belirlenir. Belirlenen kriterlere uygun tedarikçilerin bulunmasından Ar-Ge departmanı sorumludur. Önerilen tedarikçiler firmanın kalite birimi tarafından detaylı olarak değerlendirilir ve firmanın kalite standartlarını karşılayan tedarikçilerle sözleşme imzalanır.
- Tedarikçilerin performansları şirketin beklentilerine uygun olmaması durumunda tedarikçilerin puanları şirket tarafından düşürülmektedir. Puanı düşürülen tedarikçiler ile geliştirme faaliyetleri yürütülür. Sonuçlar yine şirketin

beklentilerini karşılamazsa tedarikçilerle çalışma sonlandırılır. Bu esnada tüm tedarikçi bilgileri ERP sistemine manuel olarak işlenir.

- Üretim planlama faaliyetleri PDM, ERP ve MES entegrasyonu dahilinde yürütülmektedir. Satış ve satın alma faaliyetleri şirketin CRM programı yardımıyla yürütülmekte olup kısmi bir yatay entegrasyon söz konusudur.
- Şirket, bazı tedarikçilerinin depolarını ERP sistemine eklemiştir. Buradan ihtiyaçlarını doğrudan tedarikçinin deposundan çekebilir. Benzer şekilde bazı tedarikçilerin de şirket içinde fiziksel depoları bulunmaktadır. Şirket ERP üzerinden hammadde tedarik ettiğinde tedarikçiler şirkete fatura kesmektedirler. Bu bilgilerden yola çıkarak genişletilmiş ISA-95 modeline göre yatay entegrasyon çalışmaları geliştirilmelidir.
- Şirketin ürün depolama politikasına göre her ay hangi ürünlerin stokta olması gerektiği bilgisi bulunmakta ve nihai ürün stokları belirli bir seviyede tutulmaktadır. Şirketin depolama politikasına göre bazen müşterilere stoktan besleme yapılırken bazen de sipariş üzerine üretim yapılmakta ve üretim miktarı belirlenmektedir. Depolama faaliyetleri bu nedenle müşterilerin değişen taleplerine göre üretim planlama programı yardımıyla sürekli güncellenir.
- Hammadde ve yarı mamul stokları emniyet stok seviyelerine göre tutulmaktadır. Aynı zamanda yazılım sistemi, yılsonuna doğru yapılan yıllık üretim planlarına uygun olarak bütçe çalışmaları yardımıyla ürün bazında stok seviyelerinin belirlenmesine yardımcı olur.
- Şirketin tüm depo yönetimi FSM tarafından yürütülmektedir. FSM tüm depo faaliyetlerinin bilgilerini tutar (depo giriş/ çıkışları, stok seviyesi, etiketleme, depo iş emirleri vb.). Barkodlar el terminalleri tarafından taranır ve bu bilgiler otomatik olarak ERP'ye gönderilir. Böylece tüm bilgiler ERP üzerinde eş zamanlı olarak izlenebilir.
- Üretim alanında sistem tarafından alınan iş emirleri ile FSM üzerinden depoya bilgi aktarımı yapılmakta ve el terminalleri ile malzemelerin depodan çıkışı belgelenerek malzemeler üretim hattına gönderilmektedir. Burada da benzer şekilde el terminalleri yardımıyla depodan çıkan ürünler ile hatlar beslenir ve gerekli veri aktarımı yapılır. Ürünler hatta işlendikten sonra elde edilen yarı

mamuller yeni barkodlar ile başka bir palete aktarılır ve kayıtları el terminalleri ile tutulur.

- Üretim süreci sonunda hazır olan mamuller FSM üzerinden üretim alanından serbest bırakılır ve ERP'den sevkiyat iş emirleri oluşturulur. Gerekli malzeme ve miktar kontrolleri gerçekleştirildikten sonra mamuller sevkiyat alanına gönderilir, siparişler ERP üzerinden teslimata dönüştürülür ve siparişler müşteriye gönderilir.

Üretim Yönetimi

- İş emirleri, ürün reçeteleri, üretim talimatları üretim planlama programı tarafından oluşturulur ve PMI (MES sistemi) aracılığıyla otomatik olarak üretim alanına iletilir. PMI sistemi her iş sürecinde mevcut olup buraya ulaşan iş emirleri mavi yaka çalışanlar tarafından gerçekleştirilir ve işin çıktısı gene PMI üzerinden takip edilir. Buna paralel olarak bu iş süreçlerinin gerçekleşmesi için gerekli depo kontrolleri de FSM üzerinden yapılmaktadır. ERP'den üretim planı programına ve oradan tekrar ERP'ye ve ardından PMI'a düşen bilgiler FSM'ye ulaşır ve ardından hat beslemeleri yapılır. Siparişler daha sonra ERP üzerinden teslimatlara dönüştürülür ve sevkiyat süreçleri gerçekleştirilir.
- Üretim sırasında meydana gelen planlı veya plansız tüm makine duruşları ve vuruşları PLC'ler yardımıyla izlenir. PLC'ler üzerinden manuel olarak girilen duruş süreleri, üretimin ne kadar süreyle durduğunu kayıt altına alır ve raporlar.
- Üretilen birim sayısı sistem içerisinde standart bir üretim sürecine sahiptir. Üretim için iş emrini gerçekleştiren operatörün harcadığı süre standart süre ile karşılaştırılarak (duruş ve vuruşlar da hesaba katılarak) raporlanır, böylece üretimdeki iş gücü sistem üzerinden takip edilir. Bu amaçla operatörler işe başlamadan önce iş emirlerini onaylar (PLC'ler üzerinden) ve işe başlayıp işi bitirdikten sonra tekrar sisteme bilgi verirler. Sistem üzerinden her bir hatta üretim sonrası OEE değerleri otomatik olarak hesaplanır ve sürecin Kalite, Kullanılabilirlik ve Performans çıktıları elde edilir.
- ERP'ye ulaşan tüm bilgiler yetkili kişilere görselleştirilebilmekte ve sunulan veriler en ince detayına kadar analiz edilebilmektedir. Her vardiya sonunda üretimle ilgili üretilen tüm verileri ve analizleri vardiya amirlerine ve tüm yetkili

kişilere göndererek gerekli aksiyonların alınmasına ve süreçlerin daha verimli yönetilmesine yardımcı olur.

- Nihai ürünlerin kalite kontrolü, şirketin KPI'larına göre sevkiyat öncesi detaylı olarak gerçekleştirilir. Bu testlerin içeriğinde motor sesi, elektriksel verimlilik gibi kalite unsurları test edilmektedir. Bu testlerden elde edilen bilgiler Excel üzerinde tutulmaktadır.
- Firmanın satış sonrası kalite hizmetlerinde ise ürünle ilgili şikayetler değerlendirilir ve bilgiler kayıt altına alınır. Gelecekte kalite standartlarını izleyen ve değerlendiren bir modül eklenip tüm bu çalışmaların tamamen dijital olarak gerçekleştirilmesi hedefleniyor.
- Şirketin “Proses Kontrol” biriminde yarı mamuller üretim süreci boyunca kalite kontrolden geçmektedir. Bu amaçla Ar-Ge birimi tarafından sağlanan teknik çizimler, ürün reçeteleri ve diğer yöntemler kullanılmakta ve bu süreçler nihai ürünler elde edilene ve kalite tolerans aralığında kalana kadar devam etmektedir.
- Süreçte tespit edilen hatalar sistem üzerinden kalite birimine bildirilmekte ve hatanın kök nedenleri tespit edilerek Düzeltici Önleyici Faaliyetlerde (DÖF) ve gerekli aksiyonlar alınmaktadır. A3 veya 8D olarak adlandırılan problem çözme yöntemleri ile problemlerin kök nedenlerine inilerek çözümler bulunur.
- Müşteriye sevkiyat sırasında üretilen motorlar ve bileşenleri numune seçim planına göre “Denetim Kontrol” birimi tarafından kontrol edilmekte ve siparişlerin sonuçları raporlanıp 10 yıl boyunca arşivlenmektedir. Tüm bu faaliyetler şirketin Kalite Yönetim Sistemi'nde kayıt altına alınır. Buradaki dokümanlar ve bilgiler şirkette yapılan auditlerde kullanılmaktadır.
- Kalite kontrol verileri, Kalite Yönetim birimi tarafından belirlenen 12 KPI değerine ulaşabilecek şekilde değerlendirilir. Bu amaçla şirketin Hoshin Kanri toplantıları yardımıyla sürekli olarak bu KPI değerlerine ulaşılmaya çalışılır ve mevcut durum üst yönetime raporlanır.
- Süreçte bir sorun oluştuğunda operatör Kurumsal Varlık Yönetimi sistemi üzerinden üzerinde çalıştığı varlığı seçer, arıza bildirimini girer ve arıza bakım hizmeti için bir talep oluşturur. Talep edilen hizmet seçildikten sonra sistem üzerinden bakım ve onarım süreci başlar.

- Makine bakımında kullanılan yöntemler arasında makine parçalarının sökülmesi, onarılması ve tekrar monte edilmesi, yağlama veya yağ analizi sonrası yağ değişimi, parça değişimi gibi bakımlar yer almaktadır. Kestirimci bakımda ise titreşim ve/veya sıcaklık ve basınç testleri yapılmakta ve bu testler sonunda hangi bakımın uygulanacağına karar verilmektedir. Kestirimci bakım faaliyetleri yıllık, aylık ve haftalık planlar doğrultusunda yapılır.
- Şirket enerji tüketimi ile ilgili iki sistem ile çalışmaktadır. Biri bulundukları Organize Sanayi Bölgesi'ndeki sistem, diğeri ise uzaktan izleme sistemi SCADA'dır. OSB'nin sistemi, bu bölgedeki firmaların güneş panelleri yardımıyla ürettikleri ve kullandıkları elektriğin tüketim bilgilerini sağlamaktadır.

3.5.2.2. Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check

Çalışmanın birinci bölümünde tanıtılan Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check, Impuls tarafından ilk kez 2018 yılında uygulanmıştır. 2018'den bu yana yaşanan gelişmeler karşılaştırılarak ortaya konmuştur. Impuls ölçeği görüşmeleri sonunda şirketin dijital olgunluk seviyesine ilişkin bulgular aşağıdaki görsellerde özetlenmiştir.

Ölçeğin uygulanmasından önce şirket yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Ölçeğin 6 farklı boyutundan oluşan toplam 37 sorunun 2018 ve 2024 yıllarındaki bulguları aşağıda sunulmaktadır:

- Şirketin dijital olgunluğunu değerlendirmek için altı boyut, boyut ağırlıkları ile birlikte verilmiştir.
- 2018 yılından bu yana akıllı fabrika, akıllı süreçler, akıllı ürünler boyutlarında birer seviye artış, veri odaklı hizmetlerde sıfır seviyesinden 3. seviyeye yükseliş, çalışanlar boyutunda ise 2. seviyeden 4. seviyeye yükseliş gerçekleşmiştir. Bu bilgilere göre şirketin genel dijitalleşme endeksi 2018 yılında 1.356 (1. seviye), 2024 yılında ise 2.558 (3. seviye) olmuştur. Bu bulgulara göre şirketin dijital olgunluk endeksi altı yıl içinde 1. seviyeden 3. seviyeye çıkmayı başarmıştır.
- Industry 4.0 Readiness Self-Check ölçeğinin seviyelerine göre şirketin acemi seviyesinden (seviye 1) tecrübeli seviyesine (seviye 3) yükseldiği tespit edilmiştir.

Ölçek uygulanırken karşılaştırma grubu olan "İmalat", Çalışan sayısı "500 veya daha fazla çalışan" kategorisi göre analizin önemli bulguları aşağıdaki gibidir:

- Şirket Impuls ölçeği uygulanmadan önce sisteme şirketin bulunduğu, ülke, şehir, sektör, çalışan sayısı, üretilen ürün ile ilgili soruları cevaplamıştır.
- Bu grafiğe göre şirket aynı karşılaştırma grubunda bulunan şirketlere göre sadece %3,9 şirketle seviye 3'te (tecrübeli) bulunmuştur
- Çalışan sayısı 500 ve üzeri olup imalat sanayisinde bulunan şirketlerin çoğu (%45,2) hala 1.seviyede bir dijital olgunluk indeksine sahip oldukları tespit edilmiştir.
- Çalışan sayısı 500 ve üzeri olup imalat sanayisinde bulunan şirketlerin sadece %19,8'i 2. seviyede (orta seviye) ve sadece %0,3'ü 4. seviyeye (uzman) seviyesine ulaşabildiği tespit edilmiştir.
- Grafiğe göre 5. seviyede bulunup dijital dönüşüm konusunda en iyi performans gösteren bir şirket bulunmadığı tespit edilmiştir.
- Impuls Industry 4.0 Readiness Self-Check dijital olgunluk ölçeği sonuçlarına göre şirket, 2018 yılından bu yana dijital olgunluğunu 2 seviye geliştirmeyi başardığı tespit edilmiştir.
- Şirketin dijital dönüşüm konusunda hızlı gelişmelerine göre önümüzdeki yıllarda sektörlerinde daha da başarılı olacakları öngörülebilir.

3.5.2.3. Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Çalışmanın Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli, firmanın Ar-Ge ve yazılım yöneticileri ile detaylı bir şekilde uygulanmıştır. Dokuz farklı boyut ve toplam 33 maddeden oluşan ölçeğin uygulanmasından önce firma yetkilileri ile ikili görüşmeler yapılmış, ardından saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler sonunda şirketin dijital olgunluk seviyesi/endeksi dört üzerinden 3,024 olarak hesaplanmıştır. Ölçeğin detaylı analiz sonuçları Ek 6'da yer almaktadır. Bu sonuca ve Dijital Olgunluk Analizi Anketi seviyelerine göre şirketin dijital olgunluğu 3. seviyededir.

Ek 3'e göre seviye 3 şirketin dijitalleşme süreçlerini tamamladığını ve departmanlar arasında dikey entegrasyon kurmaya başladığını belirtmektedir. Şirket

tedarikçi ve müşterileriyle görüşerek onların dijitalleşmesi konusunda katkıda bulunup, olası yatay entegrasyon girişimleri başladığını vurgulamaktadır. Buna göre;

- Olgunluk analizi çalışmasına göre şirketin dijitalleşme süreçler kısmen tamamlanmış ve birimler arası dikey entegrasyon kurulmaya başlandığı tespit edilmiştir.
- Şirket, tedarikçileri ve müşterileri ile bir araya gelerek yatay entegrasyon girişimlerini başlatmıştır.

Bu çalışmada, ortaya çıkan örümcek ağı diyagramındaki boyutların dijital olgunluk seviyesi, sonuçların görselleştirilmesine yardımcı olmuştur. Boyutların örümcek ağı diyagramında gösterilmektedir. Şirketin her bir boyuttaki dijital gelişimine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir:

Boyut E1 Strateji ve Organizasyon

- Strateji ve Organizasyon boyutu 3,029 puan ile beşinci sırada yer almaktadır.
- Şirketin Endüstri 4.0 faaliyetleri için 5 yıllık bir büyüme stratejisi olmasına rağmen, yazılı ve erişilebilir bir dijitalleşme planı/ stratejisi bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu dijital büyüme stratejisi şu anda şirket içi projelerle yönetilmektedir.
- Şirketin büyüme stratejileri arasında kültürel dönüşüm, operasyonel mükemmellik, tedarik zinciri yönetimi ve dijitalleşme yer alsa da bunlar için yazılı bir yol haritası bulunmadığı tespit edilmiştir.
- Şirketin Endüstri 4.0 çalışmaları MES, ERP ve PDM entegrasyonunun yanı sıra enerji yönetimi ve doküman yönetimi sistemlerini de içerdiği tespit edilmiştir.
- Şirket, dijital dönüşüm çalışmaları kapsamında gerekli tüm lisanslı yazılım kaynaklarına sahiptir ve sistemlerini bulut ortamına taşımayı başarmıştır.
- Şirkette bir dijitalleşme komitesi kurulmuş olup dikey ve yatay dijitalleşme çalışmaları yürütüldüğü tespit edilmiştir.
- Şirketin birimleri ortak bir veri tabanı kullanıp bu verileri kullanıp sistemden anlık raporlara ulaşılabilirdiği tespit edilmiştir.
- Elde edilen veriler hem otomatik hem de manuel olarak üretildiği ve PLC'ler üzerinden otomatik sinyaller yardımı ile süreçlerin OEE değerleri çıkarıldığı tespit edilmiştir.

- Şirketin MES sistemi (PMI) programına manuel olarak girilerek çalışanların üretimleri ile ilgili bilgilere (hangi üründen ne kadar üretildiği ve bunun standartlardan sapmaları) ulaşılabilmekte ve mühendisler tarafından manuel olarak kişiye özel raporlar üretilmektedir.
- Şirkette Op-Ex ekibi ile yoğun yalın yönetim faaliyetleri yürütülmektedir. YODA analizi bu konuda detaylı bilgi vermektedir.
- Şirket değişen piyasa koşullarına göre çevik bir üretim sistemine sahiptir. Şirket mühendisleri, ürünlerin yeni yasalarda belirtilen standartlara uygun olarak üretildiğinden ve ürün prototiplerinin testlerinin tasarım doğrulamalarıyla birlikte gerçekleştirmektedir.
- Değişen ürünlerle birlikte üretim yönetimi de gözden geçirilerek gerekli uygulamalar yapılmaktadır. Bu amaçla tedarikçilere performanslarına göre puan verilmekte ve düşük puan alanlarla geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir.
- Sipariş girişinden ürün sevkiyatına kadar şirkette inovasyon yönetimi uygulamaları yer almakta ve ilgili proje çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin amacı işleri kolaylaştırmak, verimliliği artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmektir.
- Şirkette Tedarik Zinciri Yönetimi uygulanmaktadır. Tedarik ve lojistik süreçleri müşteri taleplerine hızla adapte olabilmekte ve talep planlama, sipariş yönetimi, satış ve operasyon planlama, üretim yönetimi gibi süreçleri koordine edebilmektedir.
- Şirket, stratejik ve operasyonel satın alma, üretim yönetimi, depolama ve nakliye gibi kilit süreçleri etkin bir şekilde koordine etmeye ve yönetmeye odaklanmaktadır.
- Tedarikçilerle kapsam anlaşmaları hazırlanmaktadır ve yıl içerisinde tedarikçilerden gerçekleştirilecek sipariş miktarları belirlenmekte ve bunun için kapsamlı yıllık bütçe planları yapılmaktadır.

Boyut E2 Çalışanlar

- Çalışanlar boyutu 2,873 puanla altıncı sırada yer almaktadır.
- Şirketin Endüstri 4.0 çalışmaları için bir dijitalleşme ekibi vardır, ancak bu ekip belirlenen günlerde birlikte projeler üzerinde aktif olarak çalışmamaktadır. Ekip

üyeleri şirketin tüm birimlerinden gelip departmanlar projeleri şirketin genel hedeflerine uyacak şekilde kendi içlerinde yürütmektedir.

- Dikey entegrasyon için kapsamlı ve planlı ekip çalışmasının gelecekte ele alınması planlanmaktadır.
- Şirket çalışanları Bilgi ve İletişim Teknolojileri alanında son derece yetkin bir konumdadır. Aynı zamanda yazılım konusunda dış hizmetlerden de destek alınmaktadır. Şirket ve dış ekip IT konusunda çok güçlüdür.
- Şirketin makine ve Ar-Ge mühendisleri ile yöneticileri yazılım kullanma, veri analizi yapma, veri tabanı oluşturma ve cihazları etkin kullanma becerisine sahiptir. Gelecekte bu süreçlerin çalışanlar tarafından karar destek mekanizmasının dışına çıkarılması, analiz ve raporların sistem tarafından üretilmesi ve uygulanması hedeflenmektedir.
- Her birimde şirkette liderlik rolü üstlenecek kişi ya da kişiler bulunmaktadır. Şirketin Teknik Genel Müdür Yardımcısı bu konuda önemli bir rol modelidir ve çalışanları sürekli teşvik ederek başarıya giden yolu açmaktadır.

Boyut E3 Akıllı Üretim

- E3 Akıllı Üretim 2,54 puanla yedinci sırada yer almaktadır.
- Üretim alanında verilerin manuel ve otomatik olarak toplandığı hatlar bulunmaktadır. PLC'ler yardımıyla üretim bilgileri MES sistemine ulaşmakta ve aynı zamanda iş emirleri MES sisteminden PLC ekranlarına iletilmektedir.
- İş emirlerinin yürütülmesi PLC ekranında çalışanlar tarafından manuel olarak yapılır. Üretilen parça sayısı ve tamamlanan işler de yine PLC ekranında manuel olarak tamamlanır. Belirlenen standartlardan sapmalar olduğunda gerekli aksiyonlar alınmaktadır.
- OEE verilerine üretim alanındaki bir ekrandan canlı olarak ulaşılacak bir yapı bulunmaktadır. Ancak bunların altyapı çalışmaları devam etmektedir.
- Envanter faaliyetleri el terminalleri ile takip edilmekte ve paletler üzerindeki barkodlar okutularak sisteme işlenmektedir.
- Tüm depo hareketleri el terminalleri yardımıyla takip edilir. Ürüne ait ürün ağacının tamamı tüketildiğinde ürün için üretim sonu kaydı girilir. Bu süreçlerin kayıtları ERP üzerinden MES (FSM) yazılımları ve el terminalleri ile yapılır.

- Şirketin ileride canlı veriler üzerinden kestirimci bakım yönetebilmek için sensör çalışmaları bulunmaktadır. Bu tür sensörler için piyasa altyapısı henüz hazır olmadığından proje şimdilik ertelenmiştir.
- Gelecekte sensörleri kullanabilmek için şirket, ürünlerin ve üretimin dijital ikizini oluşturmaya başlamıştır.
- Üretim alanındaki duruşlar sistem üzerinden takip ediliyor ve duruş nedenlerine ilişkin kodlar üretilerek şirketin bakım birimine ve teknik çalışanlarına gönderiliyor. Böylece duruş problemlerinin sahada anında çözülebildiği tespit edilmiştir.
- Üretim bölümünün yaklaşık %10'unda (montaj, paketleme, talaşlı imalat ve dökümhane) otonom robotlar kullanılmaktadır.
- Dökümhane alanında İSG riski yüksek olduğu için otonom robotlardan yararlanılmaktadır.
- 2024 yılı bütçe çalışmalarında kolilerin paketlenmesi için otonom robotların kullanılması planlanmaktadır.
- Üretim hattının dijital bir modeli bulunmaktadır. . Ancak bu program henüz tam anlamıyla etkin bir şekilde kullanılmamaktadır. Gelecekte üretim esnasında oluşabilecek kaos/ dar boğazların öngörülebiyecek olması istenilmektedir.
- Ar-Ge'de ürün prototipleri oluşturmak için üç adet 3D yazıcı kullanılmaktadır. Bu yazıcılar yardımıyla üretilen plastik kalıplar dökümhane tarafından doldurularak fiziksel bir ürün elde edilebilmektedir.
- Tüm sistem Bulut Bilişim Sistemi üzerinden çalışmaktadır. Dikey entegrasyon çalışmaları böylece çok daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Bununla ilgili siber güvenlik çalışmaları ilerleyip çalışmaları devam etmektedir.
- Şirkette VR (Virtual Reality) uygulaması mevcut olup motorun montajı baştan sona fiziksel demolar üzerinden gerçekleştirilmektedir. AR (Augmented Reality) sistemi henüz kullanılmamaktadır.

Boyut E4 Üretim Teknolojileri ve Sistemleri

- Üretim Teknolojileri ve Sistemleri boyutu 4,0 ile en yüksek puana sahiptir.

- Şirket, üç ayrı 3-D yazıcı yardımıyla üretim öncesi prototipleri/ örnekleri hızlı bir şekilde üretebilmektedir.
- Ayrıca CAD/CAM desteği ile üretim ve tasarım tekniklerini uygulamaktadır.
- Şirket, genişletilmiş ISA-95 yapısına uygun olarak ERP, PDM ve MES yazılımlarını kullanmakta ve bunları birbirine bağlayarak gerçek zamanlı veri akışı sağlayabilmektedir.
- Bu boyutun soruları yazılım ağırlıklı olduğundan boyut oranı çok yüksek çıkmıştır. Üretim sahası genişletilmiş ISA-95 modeli incelendiğinde yatay ve dikey entegrasyonu kısmen gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Boyut E5 Bilgi ve İletişim Teknolojileri Altyapısı

- Bilgi ve İletişim Teknolojileri Altyapısı boyutu 3,791 puan ile en yüksek ikinci puana sahiptir.
- Şirketin üretim hatlarında kablosuz erişim noktaları bulunmaktadır. Şirket tüm gerekli yazılımlara sahip olup tüm verileri bulut sistemine aktarabilmektedir.
- Çalışanlar VPN yardımı ile bulut sistemine giriş yapabilmektedir.
- Çalışanlar mobil teknolojilerden de yararlanarak el terminalleri ve endüstriyel tabletler ile tüm üretimi izleyebilir.
- El terminalleri ile paletlerin üzerindeki barkodlar okutularak stok takibi yapılmaktadır. Böylece stok çıkışları, yarı mamul ve nihai ürünlerin stok bilgileri sürekli günceldir.

Boyut E6 Dikey ve Yatay Entegrasyon

- Dikey ve Yatay Entegrasyon 1,532 puanla dokuzuncu sırada yer almaktadır ve en düşük puana sahip boyuttur.
- Müşterilerle kısmen bir yatay entegrasyonu söz konusudur. Üretilen ürünler bayilere aktarılıp ürünler oradan müşterilere ulaştırılmaktadır. Bayilerle müşteri siparişlerini alıp, müşteri bilgilerini sisteme işler ve siparişleri şirkete iletmektedir.
- Müşteriler ürünlerin üzerindeki barkodları telefonları ile okutup ürünlerin tüm teknik bilgi ve dokümanlarına ulaşabilmektedir.

- Aynı zamanda müşteriler firmanın CRM sistemine giriş yapıp orada istedikleri ürünü oluşturabilmektedirler. Müşterileri ile kapsamlı bir yatay entegrasyonun oluşturulması şirketin projelerinden biridir.
- Benzer şekilde şirket ERP sistemi üzerinden tedarikçileri ile yatay entegrasyonu henüz sağlayamamıştır. Tedarikçilerle yapılan çerçeve anlaşmalar kapsamında üretim kotaları takip edilebilmektedir. Bu sistem şirketin sipariş bilgilerine ulaşmasını sağlarken, tedarikçi ile doğrudan bir entegrasyon bulunmamaktadır. İleride bunu sağlamaya yönelik çalışmalar yapılacaktır.
- Firmada ERP, PDM ve MES entegrasyonu olduğu için bu sistemler üzerinden departmanlar arası dikey entegrasyon mevcuttur.
- CPS, sensör ve IoT yapısına yüksek ağırlık verildiği için boyutun sonucu düşük çıkmıştır. Bu bileşenler olmadan da kısmen bir dikey entegrasyonun gerçekleştirilebildiği genişletilmiş ISA-95 yapısını analiz edilince tespit edilmiştir.

Boyut E7 Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT)

- Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) boyutu 2,434 puan ile sekizinci sırada yer almaktadır.
- Makineler ve üretim sistemleri arasındaki iletişim konusunda yeterli çalışmalar bulunmamaktadır.
- Ürünün üretimde olduğu iş istasyonuna veri akışı sağlanabilir ve ürünler üretimde izlenebilir.
- Yarı mamuller de parça ve palet bazında takip edilebilmektedir.
- Ürünlerde henüz hafıza, konum belirleme, kendini raporlama vb. ek özellikler bulunmamakla birlikte bununla ilgili proje çalışmaları devam etmektedir.

Boyut E8 Veri Güvenliği:

- Veri Güvenliği boyutu 3,447 puan ile dördüncü sırada yer almaktadır.
- Şirket yüksek bir veri güvenliği politikasına sahiptir ve bu konuda eğitimler vermektedir.
- Olası dış veri saldırılarına karşı iki katmanlı bir siber güvenlik sistemi bulunmaktadır.

- İlk siber saldırı koruma katmanında siber güvenlik için sızma testleri uygulanmakta ve anti-virüs programları, güvenlik duvarları gibi birçok koruyucu sistem devreye alınmaktadır.
- İkinci siber saldırıdan korunma katmanı ise bulutun koruyucuları tarafından gerçekleştirilir.
- Şirket, olası sistem açıklığını test etmek için düzenli aralıklarla sızma testleri gerçekleştirir. Bu testler hem şirket tarafından hem de dış hizmet sağlayıcılar tarafından uygulanır.

- Tüm yazılım verileri düzenli aralıklarla yedeklenmektedir (PDM 6 saatte bir yedeklenmektedir.) Veriler buluta taşınmadan önce disklere de yedeklenmektedir.

Boyut E9 Veri İşleme ve Depolama

- Veri İşleme ve Depolama boyutu 3,570 puanla üçüncü sırada yer almaktadır.
- Şirket tüm verilerini bulutta tutmakta ve internet üzerinden şirket bilgilerine erişim sağlamaktadır.
- Buradaki veriler programlar yardımıyla analiz edilebilmekte ve optimizasyon çalışmaları için kullanılabilir.

Yukarıdaki Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli bulgularına göre şirket departmanlar arası dikey entegrasyon kurmaya başlamıştır. Firma tedarikçileri ve müşterileri ile yatay entegrasyona başlamış ve bu nedenle kısmi bir yatay entegrasyonu söz konusudur. Çalışmanın genel dijital olgunluk seviyesi/endeksine dört üzerinden 3,024 olarak hesaplanmıştır. Şirketin buradaki boyutlara göre dijital dönüşüm yolunda hızla ilerlediği tespit edilmiştir.

3.5.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli

Bu başlık altında şirketin yazılım ve fiziksel yapısı genişletilmiş ISA-95 model yapısına göre detaylı olarak sunulmuştur. ISA-95 standardında eksik olan ve genişletilmiş ISA-95 model yapısına eklenen PDM yazılımları, nesnelerin interneti tarafından üretilen verilerin taşınmasını sağlayan siber fiziksel sistemler, bağlantı katmanı ve bulut bilişim genişletilmiş modele eklenmiştir. Amaç, şirketin hem dikey

hem de yatay entegrasyon açısından dijital ekosistem yapısını ne ölçüde sağlayabildiğini belirlemek için model kullanılmıştır.

Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Yazılım Yapısı

Çalışmada MIFA (Malzeme Bilgi Akış Analizi) malzeme ve bilginin süreçler arasında nasıl aktığı ve yazılım entegrasyonun bu veri akışı içindeki yapısını görselleştirmek için kullanılmıştır.

- MIFA'nın yardımı ile şirketin yazılım yapısı basit bir şekilde ortaya çıkarılıp atıl olup kullanılmayan yazılımlar tespit edilmiştir. Böylece yalın bir yazılım yapısı elde edilmiştir.
- Daha sonra şirketin yazılım yapısı ve birbirleriyle entegrasyonu (ERP, PDM ve MES) MIFA'ya göre çizilmiştir.
- CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi) şirketin B2B ve B2C kanallarını oluşturup müşteri bilgilerini kaydetmek için kullanılmaktadır.
 - Şirketin bayileri CRM'i sipariş oluşturmak ve müşteri şikayetlerini yönetmek için kullanmaktadır. Şirketin CRM programı bu sayede hem sipariş, hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir ve böylece bulut entegrasyonu içinde bir yatay entegrasyon yapısını oluşturma gücüne sahip olduğu tespit edilmiştir.
 - Şirketin müşteri bilgi sistemi ayrıca, müşterilerin ürünle ilgili tüm dokümanlara ulaşmasını, ürün taleplerini dijital ortamda oluşturmalarını ve şirkete aktarmasını sağlamaktadır. Talep bu sistem üzerinden Ar-Ge'ye ulaşır ve firma zaman kaybı yaşamadan ürün ve üretim hazırlıklarına başlar.
 - Müşteriler sipariş edilen ürünle ilgili ürünün üzerindeki barkodu okutup CRM sistemine giriş yaparak tüm teknik bilgilere (pdf formatında) ulaşabilmektedir.
- ERP sistemine aktarılan siparişe ait ürünün tanımlı olması durumunda, sipariş sistem üzerinden otomatik olarak oluşturulmaktadır.
 - Sistemde tanımlı olamayan yeni ürünler için ürünler öncelikle şirketin Ar-Ge birimine iletilmekte, burada yeni ürün için gerekli süreçler başlatılmaktadır. Tanımlanmamış ürünlerin tasarımı 2 hafta gibi kısa bir

sürede gözden geçirilip onaylandıktan sonra tanımlı bir ürün haline getirilerek ERP üzerinden sistemde üretim aşamasına aktarılır.

- Envanter ana verileri, ürün reçeteleri, lojistik, finans/ muhasebe gibi temel iş süreçleri, Malzeme ihtiyaç planlaması (MRP), depo yönetimi (WMS), hizmet yönetimi (SM), kalite yönetimi (QM) ve bakım yönetimi (PM) gibi temel modüller ERP- PDM entegrasyonu dahilinde ERP tarafından yönetilir.
- PDM sürecinde üretilen BOM ve rotalama bilgileri ERP'ye aktarılır ve bu sayede Üretim Planlama yazılımındaki (üretim simülasyonları içerir) üretim kapasitesine göre gelen tüm müşteri siparişlerinin en uygun çizelgelemesi yapılır.
- Üretim Planlama, gelen müşteri siparişleri üretim siparişlerine dönüştürür ve bu bilgileri ERP'ye aktarır. Böylece Üretim Planlama ile ERP arasında iki yönlü bir bilgi transferi mevcuttur.
- Üretim Planlama tarafından üretilen iş emirleri ve üretim talimatları ERP'ye aktarıldıktan sonra bilgiler şirketin MES sistemini oluşturan PMI ve FSM yazılım sistemlerine iletilir.
- FSM, ERP'den gerekli üretim bilgilerini çekip üretim için kullanılacak malzemelerin depo kontrollerini gerçekleştirir.
- Gelen bilgiler ERP'ye aktarılıp MRP'ye gerekli bilgiler sunulur ve tedarikçilerden gerekli hammadde ve yarı mamul satın alma siparişleri oluşturur.
- Gerekli siparişler şirketin hammadde deposuna giriş yapmadan önce kalite kontrolleri gerçekleşir ve kalite standartları ile uyumlu ürünler hammadde ve yarı mamul deposuna giriş yapar.
- Şirketin kalite standartlarını karşılayamayan ürünler ise tedarikçiye geri gönderilir.
- Buradan elde edilen depo bilgileri ERP'ye gönderilir ve Üretim Planlama tarafından oluşturulan iş emirleri PMI sistemine aktarılarak mavi yakalı çalışanların vardiya bazında yapacakları işlerin bilgileri PMI üzerinden aktif hale getirilir ve takip edilir.

- Bu işlemlere paralel olarak açılan iş emirlerinin gerçekleştirilebilmesi için FSM üzerinden gerekli depo kontrolleri sürekli olarak yapılır ve ürün reçetelerine göre depodan çekilen gerekli malzemeler iş emirlerine uygun olarak hatların beslenmesini sağlar.
- Tüm depo çıkış kayıtları ve üretim kayıtları el terminalleri kullanılarak yapılır.
- Tüm bu aşamalar gerçekleşirken FSM üretimde tüketilen hammaddelerin kaydını yapar.
- Üretimin OEE değerleri (süreç ve tezgah bazlı) ve diğer KPI'ları (örnek elektrik tüketimi, duruşlar, tezgahların üretime hazırlama süreleri, vb.) iş merkezlerinde hesaplanıp PLC ekranları üzerinden takip edilebilir.
- Nihai ürünler istenilen kalite ve miktarda üretildikten ve tüm iş emirleri kapatıldıktan sonra ERP üretimin bittiğini kayıt altına alır. Bunun için PDM'den aldığı ürün ve BOM bilgilerini, Üretim Planlama'dan aldığı iş emirleri bilgilerini, FSM'den aldığı stok bilgilerini, PMI'dan aldığı üretim bilgilerini ve stoktan tüketilen hammaddeleri, BOM bilgilerine uygun olarak işler ve üretilen nihai ürün miktarlarının stokunu oluşturur.
- Üretim sonu kalite kontrolleri gerçekleştirildikten sonra uygun olan ürünler bitmiş ürün deposuna alınırken, kalite standartlarını karşılamayan nihai ürünler üretim sürecine geri gönderilir.
- Son olarak ERP üzerinden siparişler teslimata dönüştürülür ve sevkiyat süreçleri gerçekleştirilir. Ürünler müşteriye teslim edildikten sonra ürünle ilgili olası şikayetler satış sonrası hizmet kapsamında bayilerin veya firmanın CRM yazılımı üzerinden firmanın yönetim kurulunda işleme alınır.

Şirket, şekil 31'de gösterilmeyen ancak ERP ile birlikte çalışan başka yazılımlar da kullanmaktadır. Bunlar, elde edilen verilerin en ince ayrıntısına kadar analiz edilmesine, uygun aksiyonların alınmasına ve süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur. Ürün bilgileri her zaman güncel ve doğru olup, çalışma ekibinin görev ve projelerinin durumu anlık olarak takip edilebilmektedir. Aynı zamanda projelerle ilgili gelişmiş rapor çıktıları alınabilir ve bu sayede iş süreçleri daha verimli yönetilebilir. Sistem içerisindeki ürün bilgileri firmanın Ar-Ge yönetimi tarafından güncel tutulmakta, kalite standartları ve üretim talimatları da yine bu birimde

oluşturulmaktadır. Yeni üretilecek ürünlerin ürün kodları ve tüm bilgileri sisteme işlendikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelir.

Şirketin, MIFA görselinde yer almayan diğer yardımcı yazılımlar aşağıdaki gibidir;

- İş Akışı ve Belge Yönetimi: İş akışına yardımcı olur ve çalışanların gerekli belgelere her yerden erişmelerini sağlayarak görevlerini yerine getirmelerini sağlar. İşlerin anlık takibi ve süreç yönetimi performanslarının ölçümü sağlanır. Bu sayede sorunlu noktalar tespit edilebilir ve uygun iyileştirme yöntemleri uygulanır.
- Bütçe Yazılımı: Şirketin bütçe çalışmaları da yazılım yardımıyla yürütülür. Finansal raporları analiz ederek geleceğe yönelik öngörülerde bulunabilir. Farklı parametrelere dayalı senaryoları oluşturarak raporların karşılaştırılmasına yardımcı olunur. Bu yazılım yapısı tüm temel verileri sistemden çektiği için hatalı sonuç ihtimalini en aza indirecek güce sahiptir.
- PDM'e ait yazılımlar (CAD, CAM vd.) ERP sistemini beslediği için (çift yönlü entegrasyon var) ürünle ilgili tüm bilgilere anında ulaşılabilir. Ar-Ge mühendislerinin alternatif bileşenleri görüntüleyebilmesi, teslimat süresi ve fiyat hakkında bilgi edinebilmesi ve üretim maliyetleri hakkında gerçek zamanlı bilgilere erişebilmesi, şirketin çevikliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Ürün bilgileri firmanın Ar-Ge yönetimi tarafından güncel tutulmakta, kalite standartları ve üretim talimatları da bu birimde oluşturulmaktadır. Yeni üretilecek ürünlerin ürün kodları ve tüm bilgileri sisteme girildikten sonra müşteri tarafından talep edilen ürün üretime hazır hale gelmektedir.
 - PDM yazılımları ile üretilen 3 boyutlu modellemelerle PMI beslenir ve üretim gereksinimleri (ürün bileşenleri, ürün tasarımı, yüzey kalitesi, malzeme özellikleri) doğrudan 3 boyutlu modelden yakalanıp üretime görsel ve metin olarak aktarılır.
- Kurumsal Varlık Yönetimi yazılımı: Bu yazılım, şirket varlıklarına ilişkin tüm envanter ve bakım süreçlerinin tek bir platform üzerinden yönetilmesini sağlar. Kısacası, işletme genelinde yönetilmesi ve izlenmesi gereken tüm lokasyonlardaki tesis, altyapı, makine, ekipman, tezgah gibi tüm varlıkların

bakım yönetimini gerçekleştirir. Bu yazılım sayesinde şirket, varlık ve bakım maliyetlerini düşürebilir ve katma değeri olmayan işleri azaltarak üretim zamanını daha verimli kullanabilir.

- Elektrik İzleme yazılımı: Şirket, sağlam bir enerji yönetim sistemi uygulamasına yardımcı olan ISO 50001 sertifikasına sahiptir.
 - Şirketin bulunduğu Organize Sanayi Bölgesi'ndeki tüm şirketlerin elektrik üretim ve tüketim bilgileri güneş panelleri yardımıyla sağlamaktadır. Firmalar kendi kimlik kartları ile sisteme giriş yaparak gerekli bilgilere ulaşabilir. Firma bünyesindeki süzme sayaç veya enerji analizörlerini filtreleme sistemi de enerji üretim ve tüketimine ilişkin tüm verileri firmanın SCADA sistemine aktarmakta ve böylece ilk sistemin enerji verilerinin doğruluğunu kontrol edebilmektedir. Bu sistemler yardımıyla her bir elektriksel varlık tarafından tüketilen bilgileri izlemek mümkündür.
- Kalite Doküman Entegre Yönetim Sistemi yazılımı: Firmanın bu doküman yönetim sistemi, uygulanacak her türlü standardı yönetmek ve izlemek için geliştirilmiş bir yazılımdır. Belirli zamanlarda uyarılar oluşturarak firmaya dokümanların güncellenmesini hatırlatır ve firmanın daha önce belirlediği tüm standartların güncel olmasını sağlar. Bu yazılım sayesinde firmaların denetimi bu belgeler üzerinden gerçekleştirilmekte ve zaman açısından büyük bir tasarruf sağlamaktadır. Belgelerin güncel olması sağlanarak kuruluşun iş süreçlerine olan güveni artmaktadır.
- İnsan Kaynakları Programı: Her seviyedeki çalışanın kayıtlarını içermekte, insan kaynakları ve bordro süreçlerini değerlendirmektedir. Çalışan performans değerlendirme, bütçeleme, ücret analizi ve raporlama faaliyetlerinde doğru işe alım kararı verme ve daha doğru kararlar alma sürecini destekler. Çalışanlar sisteme giriş yaptıklarında bilgiler Kalite Doküman Entegre Yönetim sistemine aktarılır ve yetkileri açılır ve çalışanlar yetki çerçevesinde gerekli bilgilere ulaşabilirler. Böylece İnsan Kaynakları Programı ile Kalite Doküman Entegre Yönetim sistemi arasındaki bağlantı şirketin doküman yönetim sistemini oluşturmaktadır. Şirket ayrıca şirket çalışanlarının performansını değerlendiren

KPI yönetim sistemini de buradan yönetmektedir. Bu sistem sayesinde personelin şirkete giriş çıkış saatleri, devamsızlık günleri, molalar, resmi tatiller, bireysel izinler, eksik ve fazla mesailer gibi tüm veriler kayıt altına alınarak bordro tablosu oluşturup bodro hesaplamalarına yardımcı olmaktadır.

Şirketin yazılım sistemi, ürün bilgilerinin her zaman güncel ve doğru olmasını, çalışma ekibinin görev ve projelerinin durumunun anlık olarak izlenebilmesini sağlamaktadır. İş süreçleri daha verimli yönetilebiliyor ve projelerle ilgili gelişmiş rapor çıktıları eş zamanlı olarak alınabilmektedir. Entegrasyondan elde edilen bilgilerin şirketin karar alma süreçlerinde kullanılması, daha doğru ve hızlı karar alınmasına olumlu katkı sağlıyor. Tüm sistem (PDM-ERP-MES) tek bir doğruluk kaynağını garanti etmek için senkronizedir. Tüm bu bilgiler dikkate alındığında, şirketin yazılım katmanlarının dijitalleşme düzeyi oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şirketin yazılım yapısının genişletilmiş ISA-95 modeline göre süreçlerin dijitalleşmesi için gerekli tüm yazılım koşullarını sağladığı ve dolayısıyla yazılım katmanlarının Akıllı Fabrika konseptine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca tüm yazılım katmanı bulut bilişim sistemi ile entegre edilerek verilerin bulutta toplanması ve anlamlandırılması sağlanmıştır. ERP, PDM ve MES, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminin (PLM) yapısını oluşturmaktadır. PDM ürün bilgilerini, MES üretim sürecini ve ERP iş verilerini izler ve kontrol eder. PLM, ilk fikirden hurdaya çıkana kadar ürün yaşam döngüsü boyunca ürünle ilgili verileri kontrol ederek ürün ve sipariş teslim sürecinin yönetimini ve kontrolünü sağlar. Endüstri 4.0'ın en büyük zorluğu olan, üreticiden müşteriye kadar olan uçtan uca süreci yeni, gelişmiş iş modelleriyle birbirine bağlamak için merkezi IT yönetim sistemlerinin entegrasyonunu sağlamak, şirket tarafından büyük oranda sağlandığı tespit edilmiştir.

Şirketin Genişletilmiş ISA-95 Modeli'ne Göre Fiziksel Yapısı

Şirketin yazılım yapısını genişletilmiş ISA-95 modeline göre sağladığı tespit edildikten sonra modelin fiziksel yapısı ve IT yapısı ile entegrasyonu açıklanmıştır. Bunun için aşağıdaki görsel, genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin yapısını ortaya koymaya yardımcı olmuştur.

Level 0 ve 1

- Genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin yapısı incelendiğinde, üretim sisteminde makineleri arası kısmen bir sensör yapısının bulunduğu tespit edilmiştir.
- Robot sistemlerinde kullanılan sensörler ürünleri algılayarak robotun ürünleri tezgah üzerine yüklemesini ve işlemesini sağlamaktadır.
- Firma ayrıca İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında sensörlerden yararlanarak iş kazalarının da önüne geçmektedir.
- Firmada, güneş enerjisi sistemlerinde bulunan analizör sensörler ile makinelerdeki enerji tüketimi ölçülüp ölçümlerden elde edilen raporlar bakım birimi tarafından takip edilip sapmalar olması durumunda düzenleyici aksiyonlar alınmaktadır.
- Bu bilgilerden yola çıkarak, yukarıda bahsi geçen üretim alanlarında sensör yapısı olmasına rağmen makineleri birbirine bağlayan ve veri akışını sağlayan bütünsel bir sensör yapısının olmadığı, bazı verilerin manuel PLC'ye aktarıldığı ve dolayısıyla Nesnelerin İnterneti (IoT) yapısının kısmen gerçekleştiği tespit edilmiştir.
- Bazı hatlarda bulunan sensörler verileri röle aracığıyla PLC'ye aktarıp buradan elde edilen bilgiler MES sisteminin PMI bileşenine ulaştırılmaktadır. Bu nedenle, üretimde toplanan veriler sensör yardımı ile veya manuel olarak gerçek zamanlı şirketin bulut sistemine iletilmektedir ve böylece büyük veri üretilmesi sağlanmaktadır.
- Bu bilgilerden yola çıkarak, şirketin sensör yapısı eksikliğini de dikkate alarak genişletilmiş ISA-95 modeline göre level sıfırın *Akıllı Nesneler* kavramına uyumu kısmen sağlandığı ve böylece Nesnelerin İnternetinin vaat ettiği otomasyon ve esnekliği hızlandırarak operasyonel verimliliğin iyileştirilmesi, üretkenliğin artırılması ve işletme maliyetlerinin azaltılması kısmen gerçekleştiği tespit edilmiştir.
- CPS sistemi henüz kullanımda olmadığı için veriler MES'e PLC yapısı üzerinden iletilmektedir. 3.4.2.1. altında belirtildiği gibi şirketin IT entegrasyonu genişletilmiş ISA-95 modeline göre uygundur ve burada üretilen tüm veriler

bulut sistemine aktarılır. Benzer şekilde sahadan elde edilen veriler de PLC üzerinden IT katmanına iletilmekte ve bulut sisteminde depolanmaktadır. Böylece bulut sistemi hem IT katmanından hem de OT katmanından gelen verilerle beslenir. Bu bilgiler doğrultusunda şirketin CPS yapısı olmadan da *Akıllı Üretim* gerekliliklerini kısmen karşıladığı söylenebilir.

Level 2

- Şirketin SCADA sistemi level 0'ın makinelerine bağlı olup, sadece enerji tüketen alanları tanımlayıp her bir makinenin enerji bilgilerini sağlamaktadır. Böylece sistem enerji tasarrufu yapılmasına ve sorunların çözülmesine yardımcı olmaktadır. Bunun için SCADA sistemi tarafından üretilen veriler kestirimci bakımda da kullanılır.

Ara Katman/ Level 3

- Mevcut ISA-95 standardında yer almayan ve genişletilmiş ISA-95 modeline CPS yapısı ile birlikte eklenen endüstriyel *bağlantı katmanı*, farklı iletişim protokollerine sahip nesnelerin bağlantı sorunlarını ortadan kaldırmaktadır. Şirketin tek tip PLC sistemi olduğu için sadece tek bir protokol kullanmaktadır. Bu nedenle bağlantı katmanına ihtiyaç duymaz. Farklı PLC yapılarında farklı protokol dilleri kullanılmadığı için bunların bağlantı katmanında toplanmasına ve tek bir protokole birleştirilmesine gerek yoktur. Makinelerden gelen veriler PLC üzerinden direk PMI (MES) sistemine aktarılır, böylece OT ve IT arasında bir entegrasyon oluşturulur. Bu nedenle genişletilmiş ISA-95 modeline göre şirketin ara katmanını oluşturan bir bağlantı katmanı olmadığı tespit edilmiştir.

Level 4 ve Dikey Entegrasyon

- Çalışmada daha önce de bahsedildiği üzere Endüstri 4.0'ın temeli, şirketlerdeki makine ve ekipmanların internet ve bulut teknolojilerini kullanarak birbirleriyle haberleşmesini sağlamak, ileri hesaplama ve ileri internet teknolojileri aracılığıyla büyük veri üretip bulut bilişim sistemlerinde depolayarak *Akıllı Fabrika* yapısı oluşturmaktır.
 - Şirket çalışanları bulut sisteminde depolanan verilere yetkinlikleri doğrultusunda internet erişimi olan her yerden bilgisayarları veya diğer şirket cihazları ile erişebilmektedir ve gerekli bilgilere ulaşır raporlar

elde edebilmektedir. Bu raporların yardımı ile karar destek mekanizması daha hızlı işleyerek şirkete çeviklik kazandırmaktadır.

- Bu bilgiler doğrultusunda şirketin *Akıllı Fabrika* yapısını genişletilmiş modele göre kısmen oluşturduğu söylenebilir. Tüm akıllı nesnelerin henüz sensörlerle bağlantılı olmadığı, CPS yapısının henüz hayata geçirilmediği bir ortamda sahadan alınan verilerin MES'e yarı otomatik ve manuel olarak aktarılabilmesine rağmen ve yazılım yapısının olgunluğu nedeniyle şirket genişletilmiş ISA-95 modeline göre dikey entegrasyonu kısmen sağlayabildiği sonucuna varılmaktadır.

Yatay Entegrasyon

- Şirket, ERP aracılığıyla yan sanayiler, tedarikçiler ve lojistik şirketleriyle işbirliğini kısmen yapmaktadır ve CRM sistemi ile müşteri bilgilerini kaydetmektedir. Şirketin CRM programı hem sipariş, hem satış hem de satış sonrası bilgileri işleyebilmektedir ve böylece bulut entegrasyonu içinde bir yatay entegrasyon yapısını oluşturma gücüne sahiptir ancak bunun üzerinde gerçekleşen çalışmalar devam etmektedir.
- Şirketin sensör yapısı eksikliğini de dikkate alarak genişletilmiş ISA-95 modeline göre level sıfırın *Akıllı Nesneler* kavramına uyumu kısmen sağlandığı ve böylece Nesnelerin İnternetinin vaat ettiği otomasyon ve esnekliği hızlandırarak operasyonel verimliliğin iyileştirilmesi, üretkenliğin artırılması ve işletme maliyetlerinin azaltılması kısmen gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Modelin 2. aşamasında yer alan dijital dönüşüm ölçeklerinin bulgularına göre şirketin Endüstri 4.0 Readiness Self-Check ölçeğinin seviyesi 2018 senesinde bu yanada seviye 1'den seviye 3'e (tecrübeli) yükseldiği tespit edilmiştir. Endüstri 4.0 ölçeği de bunu desteklemekte ve şirketi Ek 3'e göre 3. seviyede konumlandırmaktadır. Buna göre ölçek sonucu, şirketin dijitalleşme süreçlerini tamamladığı ve departmanlar arasında dikey entegrasyon kurmaya başladığını belirtilmektedir. Şirketin tedarikçileri ve müşterileri ile görüşerek onların da dijitalleşmesine katkı sağladığı belirtilerek şirketin yatay entegrasyon girişimlerinin başladığı da vurgulanmaktadır. D3A ölçeği de bu bulguları detaylı analizleriyle açıklamaktadır. Modelin üçüncü aşamasında genişletilmiş ISA-95 modeli, ölçeklerde tespit edilen dikey ve yatay ölçek sonuçlarını

bulgularıyla birlikte analizini sunmakta, böylece şirketin dijital ekosistem yapısını ne ölçüde sağlayabildiğini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Yukarıda verilen bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, sonuçlar şirkete dijital dönüşüm stratejisi oluşturmada önemli katkılar sağlamaktadır.

3.6. Tartışma

Bu başlıkta ilk olarak YODA'nın, ardından Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri'nin ve son olarak da genişletilmiş ISA-95 Modeli'nin bulguları tartışılmıştır.

3.6.1. Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi- YODA

Yalın olgunluk değerlendirme analizi sonucunda 93 puan alan şirketin yalın yönetim olgunluğu önceden belirlenmiş olan 50 puanın üzerinde olduğu için oldukça yüksektir. Bu nedenle şirketin yalın yönetim çalışmaları başarılı olup yalın yönetim konusunda yüksek bir olgunluğa sahiptir.

Çalışmanın birinci bölümünde ele alındığı üzere yalın yönetim, Endüstri 4.0 ile birlikte son yılların en baskın üretim paradigmasıdır ve süreçlerin karmaşıklığını azaltarak, akışı kolaylaştırarak, görsel kontrol ve standardizasyon sağlayarak süreç inovasyonunun önemini vurgulamaktadır. Yalın yönetim felsefesine göre, bir süreç veya ürüne değer katmayan her şey israf olarak kabul edilir (Lorenz vd., 2019; Lean Project Management Foundation, 2023).

Dijitalleşme çalışmaları başlatılmadan önce yalın olgunluğu düşük olan şirketlere öncelikle bu olgunluk seviyesinin yükseltilmesi önerilmektedir. Ancak akademik literatür incelendiğinde yalın yönetim ve dijitalleşme arasındaki ilişki üzerine bir tartışma vardır.

Geleneksel olarak, yalın yönetim literatürü, yalın yönetim ile IT sistemleri gibi modern teknolojiler arasında bir çatışma görmektedir çünkü bu teknolojiler genellikle yüksek düzeyde karmaşıklık içermektedir (Almada-Lobo, 2015).

Literatür, aynı zamanda dijitalleşmenin temeli olarak yalın yönetime işaret etmektedir. Yalın yönetim süreçleri şeffaf, sağlam ve standartlaştırılmıştır ve bazı araştırmalara göre bu temel, dijital teknolojilerin başarılı bir şekilde benimsenmesi için çok önemlidir (Mantravadi ve Møller, 2019). Tartışma daha çok süreç ve ürün

karmaşıklığını azaltan yalın düşüncenin dijitalleşmenin verimliliğini kolaylaştırdığı yönündedir. Endüstri 4.0'ın dijital teknolojilerinin benimsenmesi, yüksek derecede yalın uygulamaya sahip şirketler arasında daha olasıdır. Kolberg ve Zühlke (2015), bu konu ile ilgili yalın yönetim ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin birlikte uygulanması için kullanım örnekleri belirlemiştir.

Lorenz vd. (2019) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre iki paradigma arasında pozitif bir korelasyon olduğu savunulmaktadır. Bu ilişki, şirketlerin yalın yönetim ve dijital teknolojileri aynı anda uyguladığını göstermektedir. Bu çalışmaya göre dijitalleşme, üretimdeki operatörler için karmaşıklığı yönetme ve azaltma fırsatları sunduğundan yalın yönetimin uygulanmasını destekleyebilir. Ayrıca dijitalleşme, yalın ilkelerin uygulanmasına da yardımcı olur.

Bu bilgilere ek olarak bu iki felsefenin arasındaki etkileşime ilişkin bilimsel literatür azdır. Araştırmalar iki paradigma arasında olumlu bir bağlantı olduğunu öne sürse de, şu anda bu ilişkiyi test edecek yeterince ampirik çalışmalar bulunmamaktadır (Tortorella ve Fettermann, 2018).

Özetle, dijitalleşme ile güncel, yüksek kaliteli verilerin bulunması şeffaflığı artırır ve israfın tespit edilmesini kolaylaştırır ve yalın yönetim faaliyetlerini destekler. Dijitalleşme ile ürün özelleştirmesini veya son dakika sipariş değişikliklerini yerine getirebilme kabiliyeti, müşteri gereksinimlerine hızlıca cevap verebilir (Knoll, 2019; Davenport ve Spanyi, 2019).

Benzer şekilde, yalın yönetim de dijitalleşmeyi destekleyebilir. Yalın süreçler kullanılarak, dijital projeler için veri toplama yalın ilkelerle basitleştirilebilir ve bu da dijital çözümleri entegre etmek için gereken sürenin kısaltılmasına yardımcı olur (Mayr vd., 2018).

Yalın yönetim konsepti, müşteri faydasına ve israfın önlenmesine sürekli odaklanılmasını sağlayarak bu hedefleri destekleyen teknolojilerin belirlenmesini kolaylaştırır. Bu bilgilere bakıldığında başarılı bir dijitalleşme için temel olarak yalın yönetime ihtiyaç olduğu söylenebilir. Sonuçlar, müşteri odaklılık ve israfın ortadan kaldırılmasına yönelik yalın ilkelerin verimli üretimin temeli olmaya devam ederken, yalın düşünce ve dijital teknolojilerin birleşiminin, yalın veya dijital teknolojilerin tek

başına uygulanmasından daha iyi performans sağladığını göstermektedir (Tortorella ve Fettermann, 2018).

Bu bilgilere ek olarak bir şirket dikey ve yatay iş süreçlerinde birçok iş sürecine sahiptir. Bu süreçlerin ürettiği verileri değere dönüştürmek için genellikle sipariş, planlama, talep tahmini gibi iş süreçlerine dijital teknoloji bileşenleri eklemekten önce iş süreçlerinin yeniden yapılandırılması (BPR, Business Process Reengineering) gerekir. Bu süreçler teknoloji yoğun hale geldiğinde süreç inovasyonu sağlanabilir. Sonuç olarak yalın ve şeffaf organizasyon yapılarının iş süreçlerine eklenen teknoloji ve yazılımlar gerekli verimliliği sağlamaya ve değer üretmeye başlar. Süreçlerden elde edilen doğru veriler yardımıyla şirketler çevik bir karar destek mekanizması oluşturacak ve değişimlere hızla uyum sağlama becerisini geliştirecektir. Yalın ve şeffaf olmayan iş süreçlerine teknolojik bileşenlerin eklenmesinin süreçlerden beklenen verimliliği sağlamayacağı ortadadır. Dijital dönüşüm faaliyetleri, yalın ve şeffaf süreçler üzerinde dijital kurumsallaşmayı destekleyen yetkin bir işgücü ile birlikte beklenen faydayı sağlamaktadır. Tüm bu dijital dönüşüm faaliyetlerinin stratejisi şirketin genel kurumsal stratejisi ile uyumlu hale getirildiğinde, şirket genel kurumsal hedeflerine hızlı bir şekilde ulaşabilecektir (Soyuer, 2024).

Bu bilgilere göre yalın yönetim ve dijitalleşme çelişkili değil birbirini tamamlayıcıdır. Dijitalleşme, yalın yönetimi destekleyebildiği gibi yalın yönetim de dijitalleşmeyi destekleyebilir. Bu bilgiler ışığında, şirketlerin dijitalleşme faaliyetlerinde ne derece yalın oldukları da ölçülmelidir (Krijnen, 2007).

3.6.2. Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizi

Dijital dönüşüm olgunluk analizleri genel bulgulara göre şirketin dijitalleşme süreçleri kısmen tamamlanmış ve birimler arası dikey entegrasyon kurulmaya başlanmıştır. Şirket, tedarikçileri ve müşterileri ile bir araya gelerek yatay entegrasyon girişimlerini başlatmıştır. Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A) ölçeği bunların detaylı yazılı açıklamasını sunmaktadır.

Dijitalleşme, teknolojiler aracılığıyla uçtan uca bir dijital ekosistem yaratıp kullanılıyor olsa da (Pagani vd., 2017), sadece geniş bir teknoloji yelpazesini

beraberinde getirmekle kalmamakta, aynı zamanda şirketlerde ve toplumda kültürel ve demografik dönüşümlere de yol açmaktadır (Kupiainen, 2016: 280-287).

Dijital dönüşümle ilgili en yaygın ve en yanıltıcı anlayış, en son teknolojilerin uygulanması ve kullanılmasını içermesidir. Dijital olgunluk daha çok, görevlerin ve bilgi akışlarının bir işletmenin bilgi teknolojileri tarafından ne ölçüde yerine getirildiği ile ilgilidir (Kane vd., 2017).

Bu bilgiye göre şirketin üretim sahasında IoT teknolojisinin henüz oluşturulmamış olması ve buradan elde edilen verilerin otomatik olarak CPS yardımı ile PLC üzerinden IT katmanına ulaşmıyor olması bunun aksine çalışmanın bulgularına göre bazı verilerin sensörler yardımı ile bazılarının manuel olarak PLC ye aktarılıp IT katmanına ve de bulut sistemine ulaşıyor olması da veri akışını sağlayıp kısmen dikey entegrasyon yaratabilmektedir.

Dijital olgunluk, bir örgütün dijital dönüşüm faaliyetlerini yürütmek için neleri başardığını tanımlayan yönetsel bir yorumla karakterize edilir (Teichert, 2019: 1675).

Bu anlamda çalışmada şirketin yönetim kurulu desteği ile dijital dönüşüm stratejisini “Mega Hedefler” adı altında tanımlamış olup henüz yazılı bir formatı bulunmasa da şirket işbirliğine yüksek derecede önem verilmesi, işlerin tanımlanmış kurallara göre yapılması ve süreç otomasyonunu sağlayıp yetkin bir IT ekibinin bulunması ve dijitalleşme konularında şirket içi ve dışı eğitimlerin alınması, sipariş girişinden ürün sevkiyatına kadar şirkette inovasyon yönetimi gerçekleştirilmesi ve şirketin Kaizen Kurulu üretim sistemindeki ve diğer birimlerin sistemlerindeki sorunları belirleyip dijitalleşme çalışmaları ile ilgili projelerin sürdürülmesi ve olgun bir IT yapısı ile kısmi bir yatay ve dikey entegrasyonu yaratmış olması dijital olgunluk konusu ile ilgili çok şey başardığının bir kanıtıdır.

Dijital dönüşüm endeksi veya dijital hazırlık gibi karşılaştırılabilir başka kavramlar olsa da, dijital olgunluk en yaygın olanıdır (Remane vd., 2017: 143). İşletmeler, dijital dönüşümün temeli ve dijital dönüşümün son aşaması olan dijital olgunluğa ulaşmayı hedeflemektedir. Aslanova ve Kulichkina (2020: 444), dijital olgunluğa ulaşan işletmelerde, işletmelerinin işleyişinde önemli iyileşmeler ve müşteri memnuniyetinde artış gözlemlemişlerdir. Bir sistemin gelişimindeki ilerleme, tamlik, mükemmellik veya hazır olma durumunu ifade eden olgunluk kavramına yol

açmaktadır. Olgunlaşan sistemlerin zaman içinde belirli istenen gelecek durumları gerçekleştirme yeteneklerini geliştirmeleri gerekmektedir (Teichert, 2019: 1675).

Şirket bunu gerçekleştirebilmek adına çalışanlarının dijitalleşme faaliyetlerine uyum sağlamalarına yardımcı olmak amacıyla Ege Üniversitesi ile birlikte kapsamlı bir eğitim serisi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda şirket çalışanları dijitalleşme konularında şirket içi eğitimler de almaktadır. Bu amaçla şirketin bir kurum içi eğitim kampüsü de bulunmaktadır. Bu dijital platform üzerinden şirket grubunun tüm çalışanları istedikleri zaman istedikleri konuda farklı eğitimler alabilmektedirler. Şirketin insan kaynakları birimi alınan eğitimleri belgelendirip çalışanların eğitim performansını ölçebilmektedir.

Bir işletme, hem güçlü bir dijital altyapıya sahip olduğunda hem de stratejik iş avantajı için bu altyapıdan nasıl yararlanılacağını iyi anladığında en yüksek olgunluk seviyesine ulaşabilecektir. Dijital olgunluk sabit bir kavram değildir ve işletmenin dijital olgunluğunun zaman içinde değerlendirilmesi gerekmektedir. İşletmeler, değişen dijital ortama ve yenilik yapma yönündeki rekabet baskısına uyum sağlamak için stratejilerini uyarlamak zorundadır. Literatür, birçok işletmenin henüz dijital olgunluğa ulaşmadığını göstermektedir (Teichert, 2019: 1675).

Başarılı bir dijital dönüşüm için şirketlerin dijital bir yol haritası oluşturması ve süreci etkin bir şekilde yönetmesi gerekir. Dijital olgunluk modeli, şirketlerin mevcut dijital durumlarını değerlendirmelerine ve hedefleriyle uyumlu yol haritaları oluşturmalarına olanak tanıdığı için kritik bir başarı faktörüdür. Akademisyenler ve danışmanlar tarafından önerilen olgunluk modellerine ilişkin kapsamlı ve sistematik bir literatür taraması bulmak oldukça zordur. Buna ek olarak, mevcut modeller kuruluş odaklı değil sektör odaklıdır ve dönüşüm yolculuğuna bütünsel olarak bakmamakta, daha çok model boyutlarına odaklanmaktadır (Aras ve Büyüközkan, 2023).

Bu nedenle literatürde farklı sektörlerdeki şirketlerin ihtiyaçlarına göre tasarlanmış ölçekler bulunmaktadır. Şirketler kendi amaçlarına uygun bir yalın yönetim ve dijital dönüşüm ölçeği seçerek yalın ve dijital olgunluk seviyelerini hızlı bir şekilde belirleyebilecek ve ölçeklerin hangi boyutlarında güçlü ya da zayıf olduklarını tespit edebileceklerdir. Bu çalışmada da görüldüğü üzere şirketler yalın veya dijital dönüşüm olgunluklarını analiz etmek için farklı ölçekler kullanabilmektedir. Farklı ölçeklerin

sonuçları yardımıyla şirketlere dijital dönüşüm stratejisi oluşturma konusunda daha detaylı bilgi ve rehberlik sağlanabilir.

Teichert'in (2019) dijital olgunluk modelleri üzerine yaptığı araştırmaya göre, işletmeler dijital olgunluk yolculuklarını kolaylaştıracak modellere ihtiyaç duymaktadır ve geliştirilen modeller henüz ihtiyaçları tam olarak karşılamamaktadır. Bu anlamda dijital olgunluk modellerine ilişkin araştırmaların artırılması ve geliştirilmesi büyük önem taşıyor. Dijital dönüşüm sadece teknolojinin uygulanmasından çok daha fazlasını kapsıyor. Dijital dönüşüm için teknoloji ne kadar önemliyse strateji, yetenek yönetimi, organizasyon yapısı, kültür ve liderlik gibi diğer konular da en az teknoloji kadar önemlidir (Asiltürk, 2021).

Bu çalışmada kullanılan üç dijital olgunluk ölçeğinin birbirini tamamladığını ve şirketin dijital dönüşüm konularını bütünsel olarak ele aldığını belirtmek çok önemlidir. Bu nedenle, özellikle bakanlıklar tarafından önerilen D3A ölçeği, şirketin dijital olgunluk seviyesinin çok detaylı bir şekilde analiz edilmesine yardımcı olmuştur.

Geçtiğimiz yıllarda çok sayıda dijital olgunluk modeli geliştirilmiştir. Danışmanlık kurumları büyük ölçüde işletmelerin mevcut dijitalleşme düzeyini ölçmeyi amaçlayan ve dijital olgunluğa ulaşmak için bir yol haritası sunan dijital olgunluk modelleri geliştirmiştir. Modellerin geliştirilmesine rağmen, genelleştirilebilirlikleri ve tutarlılıkları açısından hala belirsizdirler (Thordsen vd., 2020). Dijital olgunluk modellerine genel yaklaşım, işletmelere standartlaştırılmış bir anket sunmak ve standart öneriler sunmaktır. Her işletmenin farklı özelliklere, ihtiyaçlara ve hedeflere sahip olması nedeniyle benzersiz olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle, dijital dönüşüm yol haritasının tanımlanması sürecinin işletmenin ihtiyaçlarına göre uyarlanması gerekmektedir (Colli vd., 2018: 1347).

Bu nedenle kullanılacak ölçeklerin boyutlarına verilen ağırlıkların şirketler tarafından kendi önem derecelerine göre uyarlanması gerekmektedir. Şirketin hangi boyutlarının öncelikli olduğu belirlenerek dijital dönüşüm faaliyetlerinin önceliği tespit edilebilir. Ölçeklerin henüz Endüstri 5.0 konularını içermediği, dolayısıyla şirketin dijital dönüşüm stratejisinin bu konuda eksik kaldığı da unutulmamalıdır.

Teichert 2019 yılında dijital olgunluk modelleri üzerine 22 farklı modelin yer aldığı 24 çalışmadan oluşan kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirmiştir.

Araştırma sonuçları aşağıdaki gibidir;

- Mevcut modellerin çoğu dijital olgunluğu doğru bir şekilde temsil etmemektedir.
- Dijital kültür, dijital dönüşüm çabalarının bir parçası olarak görülmemektedir.
- Elde edilen bulgulara göre, dijital olgunluk modellerinin %89'unun üretime odaklandığı tespit edilmiştir.
- Hizmetlere yönelik dijital olgunluk modelleri yeterli bulunmamıştır.

Bu araştırma sonuçlarına bakıldığında literatürde bulunan dijital dönüşüm ölçeklerinin boyut anlamında çoğu kez yetersiz olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, işletmeler dijital dönüşümün durumunu sistematik olarak değerlendirmeye ve gelecekte arzu edilen dijital olgunluk durumuna doğru etkili bir yol çizmeye daha fazla zorlanmaktadır (Teichert, 2019: 1673-1685).

Yukarıdaki bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, akademik literatürdeki dijital dönüşüm ölçeklerinin henüz şirketlerin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamadığı ve analiz sonuçlarının göreceli olduğu ve tartışılması gerektiği açıktır. Özellikle kültürel dönüşümü ve sürdürülebilirlik, insan odaklılığı ve dayanıklılık/ esneklik konularını ele alan ölçeklerin seçilmesi, Endüstri 4.0 paradigmasının stratejisinin tam olarak oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle şirketler ölçekleri seçerken birden fazla ölçekten yararlanmalı, ölçeklerin sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmalı ve dijital dönüşüm stratejilerini şirketin genel stratejisi doğrultusunda şekillendirmelidir.

Ayrıca ölçeklerin boyutlarına verilmiş olan ağırlıklar şirketler tarafından kendi önem derecelerine göre uyarlanmalı ve böylece şirketin hangi boyutları dijital dönüşüm faaliyetleri için öncelikli olduğu tespit edilmelidir. Ölçeklerin özellikle Endüstri 5.0 konularını da henüz içermediği ve böylece şirketin dijital dönüşüm stratejisinin bu konuda eksik kalmaması dikkat edilmesi gereken konular arasındadır.

3.6.3. Genişletilmiş ISA-95 Modeli

Yukarıda da belirtildiği üzere, dijital dönüşüm, bilgi teknolojilerinin bir işletmenin görevlerini ve bilgi akışlarını nasıl gerçekleştirdiğini gösteren teknolojik bir yorumdan daha fazlasıdır (Teichert, 2019: 1675). Çalışmanın birinci bölümünde detaylıca ortaya çıkarıldığı gibi dijital dönüşüm kavramının içinde dijitalleşme kavramı

yer almaktadır ve IT ve OT katmanları arasındaki bilgi akışının entegrasyonunu konu alır. Bu nedenle IT ve OT katmanlarının birbirleriyle olan dikey entegrasyonu dijitalleşme olarak ifade edilir. Şirketin bu nedenle ne kadar dijitalleştiğini detaylıca analiz edebilmek için Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modelinde ayrı bir aşama olarak ele alınmalıdır.

ISA-95, iş ve kontrol sistemleri arasındaki ilişkiyi hiyerarşik olarak tanımlayan bir standarttır. Modelin amacı, iş ve üretim süreçlerini entegre etmek için tutarlı bir çerçeve oluşturmak ve üretimdeki iş ve kontrol sistemleri arasında kesintisiz bilgi alışverişini kolaylaştırmaktır (Barber, 2023).

Bu nedenle bu standart, ERP ve MES arasındaki faaliyetleri, tanımlamayı ve entegre etmeyi amaçlamaktadır. Standart ayrıca sensörlerin ve fiziksel süreçlerin ayrıntılı seviyesini de kapsamaktadır (Siemens, 2024; Rossit vd., 2019).

Zippel (2018)'e göre, üretim endüstrisinin ISA-95'in önemini kavraması ve üretim ve yazılım süreçlerinin dijitalleştirilmesi için bunu bir referans model olarak kullanması gerektiğini ileri sürmüştür. Ancak NIST (1998)'e göre üretim operasyonları, iş (ERP), üretim (MES) ve ürün (PDM) Product Data Management, yani Ürün Bilgi Yönetimi alanlarının bir karışımı olarak kabul edilmelidir. ISA-95 standardında bulunmayan PDM sistemi, ürünlerin tasarlanmasından sorumludur ve ERP ve MES ile bağlantılı olmalıdır.

Bu üç IT bileşeni ERP, MES ve PDM, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetiminin (PLM) yapısını oluşturur. PDM ürün bilgilerini yönetir, MES üretim sürecinin atölyede yürütülmesini izler ve kontrol eder, ERP ise iş verilerini izler. PLM, ilk fikirden hurdalığa kadar ürün yaşam döngüsü boyunca ürünle ilgili verileri kontrol ederek ürün sürecinin ve sipariş teslim sürecinin yönetimini ve kontrolünü sağlar. Endüstri 4.0'ın en büyük zorluğu, üreticiden müşteriye kadar olan uçtan uca süreci yeni, gelişmiş iş modelleriyle birbirine bağlamak için merkezi IT yönetim sistemlerinin entegrasyonudur (Saaksvuori ve Immonen, 2008).

Bu nedenle PDM yazılımı, üretim ortamındaki üretim ve iş etki alanlarının temel bir bileşenidir. PDM yazılımı mevcut ISA-95 standardında bulunmamakta ve bu da onu yetersiz kılmaktadır.

Böylece ISA-95 standardının tüm IT bileşenlerini içerecek şekilde genişletilmesi gerekmektedir çünkü mevcut yapısı gereği dikey entegrasyon tam olarak sağlanamamaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın iletişim omurgası olan Siber Fiziksel Sistemler de (Zhong vd., 2017) mevcut modelde eksiktir, bu nedenle siber (IT) ve fiziksel dünya (OT) katmanlar birbirine yeterince bağlanamamaktadır (Aaldering ve Song, 2021). CPS, tüm IoT cihazları arasındaki etkileşimi kolaylaştırıp fabrikanın dikey entegrasyon yapısını oluşturmaktadır. Bu nedenle CPS, üretimde dijitalleşmenin temel unsurudur. CPS, birbirine bağlı sistemlerden gelen verilerin dönüştürülmesinde önemli bir rol oynar ve tüm sistemin etkileşime girebilmesi için bir ön koşuldur (Alc'acer ve Cruz-Machado, 2019).

Genişletilmiş ISA-95 yapısında OT ve IT katmanlarına eklenen yeni bileşenler sayesinde seviyeler arası iletişim kısıtlamaları ortadan kalkmakta ve tüm sistemler birbirleriyle uçtan uca iletişim kurabilmektedir (Apilioğulları, 2022a).

Çalışmada kullanılan bu model şirketin mevcut dikey ve yatay dijitalleşme durumunu ortaya çıkarıp şirketin dijital ekosistem açısından ne derece dijitalleştiğini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen bulgulara göre şirketin yazılım yapısının genişletilmiş ISA-95 modeline göre süreçlerin dijitalleşmesi için gerekli tüm yazılım koşullarını sağladığı ve dolayısıyla yazılım katmanlarının Akıllı Fabrika konseptine uygun olduğu ve PLM yapısının elde edildiği tespit edilmişti. Buna ek olarak tüm yazılım katmanı bulut bilişim sistemi ile entegre edilerek verilerin bulutta toplanması ve anlamlandırılması sağlanmıştır.

Firma, dördüncü sanayi devrimi kapsamında Akıllı Fabrikasında, tüm süreçlerin sensör yapısı içerisinde birbirleri ile haberleşebilen yeni nesil teknolojiler ile akıllı fabrika kapsamında veri üreterek ve bu verileri CPS ile bulut sistemine ileterek daha ucuz, daha esnek, daha hızlı ve daha verimli üretim sağlamayı hedeflemelidir. Firmanın 3.4.2.1. kapsamında yazılımsal olarak Akıllı Fabrika konseptine uyumluluğu, bir ağ içerisinde birbirine bağlı sensörler ve akıllı nesneler ile tam olarak birleştiğinde ve elde edilen veriler CPS ile veri tabanına iletilebildiğinde dikey entegrasyon tam olarak kurulmuş olacaktır. Bu akıllı nesneler, üretim süreçlerini analiz etmek ve iyileştirmek ve envanteri yönetmek için kullanılabilir, üretim süreçlerini tespit etmeyi ve izlemeyi ve ek bilgi sağlamayı mümkün kılar. Sensörler ve büyük veri analitiği ile donatılmış

makineler, arızaları tahmin edebilecek ve şirketin gereksiz duruş sürelerini önlemek için kestirimci bakım yapmasını sağlayacaktır. Dikey entegrasyonun sağladığı üretim ve otomasyon sistemlerinde farklı hiyerarşik seviyelerdeki bilgi teknolojilerinin entegrasyonu ile fabrika içindeki tüm makine, ekipman ve sistemlerin birbirine bağlanmasını ve tüm sistemin entegre olmasıyla birlikte anlık olarak izlenmesini ve sürekli iyileştirme için uyarlanmasını mümkün kılacaktır.

Microsoft CEO'su Satya Nadella'ya göre şirketler birer yazılım şirkettir. Doğru yazılım yapısı ile dijital dönüşümü ileriye taşıyacak dijital bir çerçeve oluşturulur (Markus ve Meuche, 2022; Thales, 2024).

Literatür incelendiğinde genişletilmiş ISA-95 modelinde önerilen PDM, ERP ve MES yazılım yapısını farklı entegrasyonları da mevcuttur. Bu bilgilere göre genişletilmiş ISA-95 modelindeki yazılım üçgeni ve de OT tarafında yer alan bileşenlerin kullanımı şirketlerin kendi ihtiyaçlarına göre uyarlanabilmektedir.

PDM ve ERP sistemlerinin entegre edilmesiyle ürün ve iş alanı verileri doğrudan ve otomatik olarak paylaşılabilir (Prashanth ve Venkataram, 2017). Bu iki alanın senkronizasyonu sayesinde, Ar-Ge biriminin mühendislik ekipleri ERP sisteminden iş düzeyindeki verilere erişebilirken, satın alma ekibi de BoM verilerine erişebilir. Benzer şekilde, PDM ve MES arasındaki bağlantı, ürün alanında geliştirilen belgelerin üretim alanıyla doğrudan paylaşılmasını sağlar. Teknik çizimler ve NC programları gibi ürünle ilgili verilere üretim ekipleri tarafından PDM sistemi üzerinden erişilebilir (Enríquez vd., 2019). İş emirlerinin ve üretim durumunun paylaşılması ERP ve MES arasındaki bağlantı sayesinde mümkün olmaktadır. Bu iki alanın senkronize edilmesi, planlama ekiplerinin üretim durumuna gerçek zamanlı olarak erişmesine ve geleceğe hazırlanmasına olanak tanır. Bu nedenle, PDM-ERP ve MES entegrasyonu Lu ve diğerleri (2016) tarafından en önemli öncelik olarak kabul edilmektedir.

Enríquez ve diğerlerine (2015) göre PLM, ERP ve MES sistemlerini PDM yazılımına dahil eden yapıdadır. PLM, ürünün oluşturulmasından kullanımdan kaldırılmasına kadar, ürünün oluşturulmasında yer alan alanlar arasındaki tüm etkileşimleri ele alır. Dolayısıyla, PLM tek bir program değil, birçok programın bir araya gelmesinden oluşur (Feng, 2015).

Birçok endüstriyel şirket, yazılımlar arasında entegrasyon gerektirmeyecek platformlar oluşturmaktadır. SAP, Oracle ve IFS gibi ERP şirketleri ERP ve MES segmentlerini bir arada sunabilmektedir. SolidWorks ve Autodesk'e benzer şekilde PDM Manage ve Fusion gibi şirketler de ürün alanında veri, süreç ve proje yönetimini yöneten tek platformlar sunarak entegrasyonu ortadan kaldırmaya çalışırlar. Siemens ve PTC gibi bazı şirketler ise ERP, PDM ve MES olmak üzere üç yazılımı da kapsayan PLM platformları geliştirmekle daha fazla ilgilenmektedir. Bu çalışmalar entegrasyon sorunlarını ortadan kaldırarak esneklik sunmaktadır. Mühendisler, PLM ile iletişimin hızını ve kalitesini artırarak zamanlarının ortalama yüzde altmışını alan iletişim kayıplarını en aza indirebilirler. Bu sayede anlamlı bilgiler hızla toplanıp doğru kararlar zamanında alınabilir. CPS ile merkezde yer alan IT altyapısı sayesinde çevik bir organizasyon oluşturulabilir (Apilioğulları, 2022a).

PLM sadece bir bilgisayar sistemi veya teknoloji değildir; bir ürünün yaşam döngüsünü kontrol etmek ve yönlendirmek için teknolojiye dayanan bir kavram ve stratejidir. PLM'nin en önemli işlevi, ürün ve üretim süreci tasarımıyla ilgili verileri yönetmektir ve bu nedenle PDM yazılımı olmadan bu işlevini yerine getiremez (Chang, T.C. Wysk, 1985).

Ancak PLM yapısına ulaşmak için mevcut PDM yazılımlarına modüller eklemek yeterli değildir, çünkü lisanslı PLM yazılımlarının etkisi hiçbir zaman sağlanamaz. Lisanslı PLM yazılımları binlerce şirket tarafından kullanılmakta, ortaya çıkan ihtiyaçlara göre test edilip güncellenmekte, böylece şirketlere diğer yazılım entegrasyonları için stratejik senaryolar ve ürün yaşam döngüsü için en iyi stratejileri sağlamaktadır (Mishra vd., 2024).

PLM kullanımı özellikle geniş ürün yelpazesine sahip, ürünlerini mevsimsel trendlere göre üreten, esnek üretim yapısına sahip firmalar için ürünlerin yaşam döngüsü boyunca takip edilebilmesi, talebin daha verimli tahmin edilebilmesi ve pazarlama stratejilerinin oluşturulabilmesi, tedarik sorunlarının giderilmesi ve optimize edilebilmesi, Endüstri 5.0 konuları arasında yer alan çevresel sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonominin uygulanabilmesi için önem arz etmektedir.

Ancak küçük ölçekli şirketlerde ve/ veya üretim standartları ve müşterilerin talepleri belli olduğu işletmelerde PDM yazılımı yeterli olacaktır. Aşağıda PLM entegrasyonları hakkında bilgi verilmektedir (Fischer, 2023):

PDM, ürünle ilgili verilerin yaşam döngüsü boyunca yönetilmesi ve kontrol edilmesi sürecidir. Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM), bir ürünün yaşam döngüsünün altı aşaması boyunca stratejik yönetimini ifade eder: Geliştirme, Giriş, Büyüme, Olgunluk, Doygunluk ve Gerileme. Bu süreç sadece ürünün üretimini değil, aynı zamanda pazarlamasını, satışını ve sevkiyatını da içerir.

Bir PLM yazılımı, yeni ürünlerin daha etkili bir şekilde geliştirilmesine ve pazara sunulmasına yardımcı olur. Yaşam döngüsü süreçlerini entegre eder, kontrol eder ve optimize eder. Ayrıca ürün bilgileri için tek bir kaynak sağlayarak ekip işbirliğini destekler. Yapay zeka gibi akıllı teknolojilerle modern PLM sistemleri, pazar eğilimleri ve ürün performansı hakkında gerçek zamanlı bilgiler de sağlayabilir.

PLM stratejik olduğundan, PDM içeren bir PLM sistemiyle çalışmak birçok avantaj sunar ve PLM ve ERP sistem entegrasyonu tam potansiyeline ulaşabilir. Bir PLM yazılımı ürün konfigürasyonu ile ilgilenirken, bir ERP çözümü envanter yönetimi, üretim planlama ve lojistik dahil olmak üzere malzeme hareketleri ile ilgilenir. Ayrıca kaliteli ürünlerin zamanında ve maliyet bilinciyle üretilmesini sağlar. Bu nedenle PLM ve ERP sistemleri önde gelen imalat şirketlerinin çoğunda el ele çalışır.

PDM, PLM ve ERP sistemleri farklı iş gereksinimlerini desteklese de birbirlerini tamamlarlar. Bu sistemleri birbirine bağlamak bir dizi avantaj sunar:

Veri doğruluğu: PDM, PLM ve ERP sistemleri entegre edildiğinde, veri güncelleme ve aktarma süreçleri tamamen otomatik hale gelir. Bu, insan hatası potansiyelini ortadan kaldırır ve çalışanların iş açısından kritik görevlere odaklanmasını sağlar. Ayrıca, otomasyon sayesinde veri aktarımı neredeyse gerçek zamanlıdır. Bu, herkesin her zaman güncel olduğu ve gerekli tüm bilgilere sahip olduğu anlamına gelir.

Maliyet azaltma: PLM, PDM ve ERP sistemlerinin entegrasyonu ile ilişkili verimlilik artışı doğrudan maliyet tasarrufu sağlar. Sistemler arasındaki veri aktarımı otomatik olduğu için manuel müdahaleler en aza indirilir. Bu da doğruluğu artırır ve sistemler arasında tutarlılık sağlar. Bununla bağlantılı olarak, şirketlerin tedarik darboğazları, teslimat siparişlerinde gecikmeler veya aşırı stoklar gibi sorunlardan

kaçınmasına olanak tanıyan gelişmiş tahminler sağlanır. Entegrasyon sayesinde ayrıca iş süreçleri şeffaflaşır ve yeni fırsatları fark edilir.

Daha yüksek müşteri memnuniyeti: Veri doğruluğunun artması ve hataların azalması müşterilerin daha memnun olmasını sağlar çünkü siparişler daha hızlı ve daha doğru bir şekilde işlenir. Çalışanlar aynı zamanda süreç şeffaflığından dolayı işlerine daha fazla odaklanabilirler.

Ancak PLM entegrasyonu, özellikle de PLM-MES entegrasyonu alanında çok az çalışma yapılmıştır (Rios vd., 2017). İlk girişim Ben Khedher ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Khedher, 2011). Bu ekip PLM ve MES sistemleri arasındaki veri alışverişini analiz etmiş ve bu entegrasyon için bir model önermiştir. Uygulamaya ilişkin herhangi bir kanıt gösterilmemiştir, bu nedenle bu modelin geçerliliği düşüktür. Bu çalışma ayrıca metodolojik bir yaklaşım öneren tek çalışmadır.

D'Antonio ve diğerleri (2016) önceki çalışmalarında, PLM ve MES arasındaki entegrasyondan kaynaklanan faydaları havacılık ve uzay bileşenlerinin üretiminde bir vaka çalışması aracılığıyla tanıtılmıştır. Her iki çalışmada da, iki sistem arasındaki entegrasyondan elde edilen ana fayda, bilgi yönetimindeki hataların azaltılması ve karar alma hızının artırılmasıdır.

PLM ve MES arasındaki entegrasyon, ürün tasarımı ve üretiminin yakından bağlantılı olduğu senkronize bir sistemin gerçekleştirilmesine olanak sağlayacaktır. Tasarımdan üretime akışta PLM, üretilecek sonlu parçanın özelliklerini tanımlamak için gerekli bilgileri içerir. MES, PLM'de tanımlanan ürünü fiziksel bir nesneye dönüştürmek için gereken talimatlar ve süreç parametreleri gibi bilgileri içerir. PLM aynı zamanda uygun bir ürün kalitesini sağlamak için gereken özelliklere ilişkin verileri içerirken, MES ürün kalitesini değerlendirmek için gereken süreç adımlarını içerir. Özetle, MES sadece süreç bilgilerini içermeli, ürün bilgileri ise PLM'de saklanmalıdır (Rios vd., 2017).

Ancak çoğu durumda MES ürün bilgilerini de içerir. Bu durum, potansiyel hata riskleriyle birlikte bilgilerin tekrarlanmasına (yani hem PLM hem de MES'de bulunan bilgiler) yol açabilir. Ters akışta (yani üretimden tasarıma) MES, atölyede sensör yardımı ile toplanan saha içi bilgilerin deposudur. PLM ve MES arasındaki bağlantı,

ürün yöneticilerinin ve tasarımcıların potansiyel kritik durumları her an belirlemelerini, etkilerini değerlendirmelerini ve olası çözümler geliştirmelerini sağlar (Rios vd., 2017).

Bu, ürün kalitesinde genel bir iyileşmeye yol açabilir: kritik bir durum bulunur bulunmaz, tasarımcılar üretim sahasında toplanan ve MES'de depolanan verilere dayanarak bunu çözmek için kararlar alabilir. Ayrıca, yeni bir ürün piyasaya sürüldüğünde, üretim aşaması MES aracılığıyla sıkı bir şekilde izlenebilir ve ürün özelliklerinde veya kontrol planlarında gerekli ayarlamalar hızlı bir şekilde yapılabilir. Bu nedenle, PLM-MES'e olan yüksek ilgiye rağmen, şirketlerin çoğunda PLM-MES entegrasyonu yoktur (Rios vd., 2017).

Kısacası her şirket kendi amacına uygun bir yazılım yapısı oluşturmalıdır. Önemli olan bu yazılım yapısını OT katmanı ile entegre ederek dikey ve yatay bir dijital entegrasyon yapısı elde etmektir. Yukarıda verilen bilgiler göz önüne alındığında, genişletilmiş ISA-95 modeli, şirketlerin dijitalleşme faaliyetlerinde dikey ve yatay entegrasyon oluşturmaları için kolay anlaşılır bir yol gösterici araçtır.

Bu çalışmaların sonunda elde edilen dijital ekosistem ile YZ çalışmaları daha verimli olacaktır. PLM yapısıyla birleşen YZ, üreticilerin kitlesel özelleştirme ve kişiselleştirmeye doğru dönüşmesini sağlamaktadır. Müşteriler doğrudan akıllı önerilere dayalı kişiselleştirilmiş siparişler verebilirken, üreticiler de akıllı fabrikalardaki ultra esnek üretim hatlarıyla özelleştirilmiş/ kişiselleştirilmiş siparişleri yerine getirebilir. Akıllı kişiselleştirme en çok, farklılaştırılmış, özelleştirilmiş ve kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetlere yönelik yüksek taleplerin olduğu tüketici ürünlerinin tasarımı ve üretimi için geçerlidir. Akıllı kişiselleştirmenin başarılı uygulamaları otomobil, bilgisayar, giyim, mobilya ve ev aletleri gibi ürünlerde bulunabilir (Wang vd., 2021).

Bu nedenle, CPS, IoT ve YZ'nın IT katmanı ile entegrasyonu, işletmelerin ve bireylerin zorluklarını ve sorunlarını çözmek için yeni, daha verimli çözümler oluşturmalarını sağlar. CPS, IoT ve YZ'nın birleşmesi, yazılımcıların öngörü oluşturmak ve gerçek zamanlı daha iyi kararlar almak amacıyla büyük hacimli verileri toplamak, depolamak ve analiz etmek için makine öğrenimi algoritmalarını kullanan uygulamalar, ürünler ve sistemler oluşturmalarını sağlar. CPS, IoT ve YZ cihazlarından toplanan verilerin analizi, müşteri tercihleri veya varlık performansı gibi veri akışlarındaki kalıpları ve eğilimleri ortaya çıkarmak için kullanılır (Chugh, 2021).

Yukarıda verilen bilgilere ek olarak, tezin Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'ne göre, ikinci aşamada kullanılan dijital dönüşüm ölçeklerine ek olarak, üçüncü aşamada genişletilmiş ISA-95 modelinin bileşenleri, doğru uygulandığında IoT, CPS ve YZ'nın faydalarını ortaya koymaktadır.

Dijital dönüşüm ölçekleri, şirketlerin mevcut dijital dönüşüm olgunluklarını nicel yöntemlerle hızlı bir şekilde ölçebilmekte ve şirketlerin hangi boyutlarda güçlü, hangi boyutlarda daha az güçlü olduklarını hızlı bir şekilde görselleştirip ortaya koyabilmektedir. Çalışmada kullanılan ölçeklerin boyutları incelendiğinde ölçeklerin daha çok üretim yönetimi odaklı olduğu ve bu konulara odaklandığı görülmektedir. Bunun amacı, şirketlerin dikey ve yatay entegrasyonu ne ölçüde gerçekleştirebildiklerini kabaca ortaya koymaktır. Bu amaçla Doç. Dr. Lütfi Apillioğulları'nın "Proje bazlı üretimde dijital dönüşüm" çalışmasında önerdiği model kullanılmıştır: Elsevier, International Journal of Production Economics'te yer alan "Developing the ISA-95 model for vertical integration" başlıklı çalışmada önerdiği model daha önce 3 şirkette test edilmiş (Apillioğulları, 2022a) ve şirketlerin uçtan uca dijital ekosistemini ortaya koymada faydalı bulunarak bu çalışmanın Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'ne entegre edilmiştir. Genişletilmiş model, çalışmaya konu olan şirketin dikey ve yatay dijitalliğinin ayrıntılı olarak analiz edilmesine yardımcı olmuştur.

Sonuç olarak, Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli şirkette test edilmiştir. İlk olarak YODA analizi yapılarak şirketin yalın yönetim olgunluğu ölçülmüş, ardından uygun dijital dönüşüm ölçekleri seçilerek olgunluk seviyeleri belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada, genişletilmiş ISA-95 modeli şirkette test edilmiş ve dikey ve yatay dijitalleşme alanları belirlenmiştir. Bu çalışmanın bulguları ve tartışması, şirketin genel hedefleri doğrultusunda bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmaya rehberlik edecektir. Bu nedenle Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin aynı veya farklı sektörlerdeki diğer şirketlere de dijital dönüşüm faaliyetlerini hızlandırarak yol gösterebileceği ve dolayısıyla akademik literatüre zengin bir içerik sağlayacağı düşünülmektedir.

3.7. Sonuç ve Öneriler

Bu başlık altında Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi, Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri ve genişletilmiş ISA-95 Modeli çalışmaları ile Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli sonuçlarının özetleri sunulmakta, ardından alandaki uygulayıcılar ve araştırmacılar için tavsiyelerde bulunmaktadır.

Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi- YODA

Yalın yönetim ve dijitalleşme çelişkili değil birbirini tamamlayıcıdır. Dijitalleşme, yalın yönetimi destekleyebildiği gibi yalın yönetim de dijitalleşmeyi destekleyebilir. Bu bilgiler ışığında, şirketlerin dijitalleşme faaliyetlerinde ne derece yalın oldukları da ölçülmelidir.

Dijital Dönüşüm Olgunluk Analizleri

Literatürdeki dijital dönüşüm ölçeklerinin henüz şirketlerin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamadığı ve analiz sonuçlarının göreceli olduğu ve tartışılması gerektiği açıktır. Özellikle kültürel dönüşümü ve çevresel sürdürülebilirlik konularını ele alan ölçeklerin de seçilmesi, Endüstri 4.0 paradigmasının stratejisinin tam olarak oluşturulmasında yardımcı olacaktır. Bu nedenle şirketler ölçekleri seçerken birden fazla ölçekten yararlanmalı, ölçeklerin sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmalı ve dijital dönüşüm stratejilerini şirketin genel stratejisi doğrultusunda oluşturmalıdır.

Ayrıca ölçeklerin boyutlarına verilen ağırlıklar şirketler tarafından kendi önem derecelerine göre uyarlanmalı, böylece şirketin hangi boyutlarının dijital dönüşüm faaliyetleri için öncelikli olduğu tespit edilebilmelidir. Ölçeklerin henüz Endüstri 5.0'ı içermediği, dolayısıyla şirketin dijital dönüşüm stratejisinin bu konuda eksik kalmaması dikkat edilmesi gereken konular arasındadır.

Genişletilmiş ISA-95 Modeli

Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin üçüncü aşamasında genişletilmiş ISA-95 modeli şirkette test edilerek şirketin dikey ve yatay dijitalleşme durumu ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın bulguları şirketin dijital ekosistem çalışmalarına yön

verecek ve şirketin genel hedefleri doğrultusunda dijital dönüşüm stratejisi oluşturmasına rehberlik edecektir.

Önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli

Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli sırayla uygulandığında ve bulgular elde edilip analiz edildiğinde, şirketler genel kurumsal stratejileri doğrultusunda bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturabileceklerdir. Modele göre şirketler öncelikle yalın olgunluklarını analiz edip uygun dijital dönüşüm ölçeklerini kullanarak bu konudaki seviyelerini belirledikten sonra genişletilmiş ISA-95 Modeli yardımıyla dijital dönüşüm faaliyetlerini şekillendirebilirler. Büyük bir titizlikle ele alınması gereken bu üç aşamalı çalışma, şirketlerin uygun bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmasını kolaylaştıracaktır.

Öneriler

Çalışmada önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli yardımıyla elde edilen yalın ve dijital dönüşüm ölçeği çalışmaları ve genişletilmiş ISA-95 modeli sonuçlarının, şirketin mevcut dijital dönüşüm durumunu göstererek kendi yönetim stratejilerine göre bir dijital dönüşüm stratejisi oluşturmalarına yardımcı olacağı ve böylece şirketin dijital dönüşüm faaliyetlerine hız kazandıracağı düşünülmektedir.

Çalışmanın bulguları ve tartışması, önerilen Üç Aşamalı Dijital Dönüşüm Modeli'nin aynı sektördeki daha fazla şirkette ve farklı sektörlerde test edilebileceğini göstermektedir. Proje bazlı üretim endüstrileri, süreç endüstrilerine göre çok daha düşük bir dijitalleşme seviyesine sahiptir. IT sistemleri yeterli değildir ve PDM, ERP ve MES bileşenlerini birlikte inceleyen bir literatür çalışması bulunmamaktadır. Birlikte çalışmayan büyük ve eski ekipman parkları, kaynak ve montaj gibi emek yoğun süreçler nedeniyle dijital dönüşümü kaçırmamak adına proje bazlı imalatçılar için dijital dönüşüme nasıl ve nereden başlanacağına dair çalışmalara ihtiyaç olduğundan, önerilen iş modeli proje bazlı imalat süreçlerinde test edilebilir ve önerilen tüm çalışmalar nicel yöntemlerle desteklenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aaldering, L. J., & Song, C. H. (2021). Of leaders and laggards-Towards digitalization of the process industries. *Technovation*, 105, 102211.
- Abburu, S., Berre, A. J., Jacoby, M., Roman, D., Stojanovic, L., & Stojanovic, N. (2020, June). Cognitwin-hybrid and cognitive digital twins for the process industry. In *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1-8). IEEE.
- Agreement, P. (2015, December). Paris agreement. In *report of the conference of the parties to the United Nations framework convention on climate change (21st session, 2015: Paris)*. Retrived December (Vol. 4, No. 2017, p. 2). Getzville, NY, USA: HeinOnline.
- Akbulut, U. (2011). Sanayi devrimleri dünya gidişini değiştirdi. <http://www.uralakbulut.com.tr/>(Erişim tarihi: 16.06.16).
- Bulut & Akçacı, (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi (ASSAM-UHAD)* ASSAM International Refereed Journal, 7, 55-77.
- Akgöz, E., Metin, F., & Şalvarcı, S. Yiyecek-İçecek İşletmelerinde Menü Mühendisliği Uygulamaları. *Selçuk Turizm ve Bilişim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 9-23.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), 899-919.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of innovation management*, 3(4), 16-21.
- Apilioğulları, L. (2022a). Digital transformation in project-based manufacturing: Developing the ISA-95 model for vertical integration. *International Journal of Production Economics*, 245, 108413.
- Apilioğulları, L. (2022b) Cad/Pdm-Erp Integration in Eto-Based Manufacturing. Available at SSRN 4125397.
- Apilioğulları, L. (2022c) ERP, PDM, MES (PLM Integration), <https://leanofis.com/erp-pdm-mes-plm-integration/> , son erişim 20.06.2024

- Aras, A., & Büyüközkan, G. (2023). Digital transformation journey guidance: A holistic digital maturity model based on a systematic literature review. *Systems*, 11(4), 213.
- Arica, E., & Powell, D. J. (2017, December). Status and future of Manufacturing execution systems. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 2000-2004). IEEE.
- Arnold, C., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2016). How Industry 4.0 changes business models in different manufacturing industries. In *ISPIM Conference Proceedings* (p. 1). The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM).
- Asiltürk, A. (2021). İşletmelerde dijital dönüşüm yönetiminde nihai hedef: Dijital olgunluk. *Alanya Akademik Bakış*, 5 (2), 647-669.
- Aslanova, I. V., & Kulichkina, A. I. (2020, May). Digital maturity: Definition and model. In *2nd International Scientific and Practical Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth" (MTDE 2020)* (pp. 443-449). Atlantis Press.
- Atwell, C. (2017). Yes Industry 5.0 is already on the horizon, <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835933/yes-industry-50-is-already-on-the-horizon> son erişim 02.06.2024
- Avvaru, V. S., Bruno, G., Chiabert, P., & Traini, E. (2020, July). Integration of PLM, MES and ERP systems to optimize the engineering, production and business. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 70-82). Cham: Springer International Publishing.
- Bagheri, B., Yang, S., Kao, H. A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622-1627.
- Baki, B., ve Serdar, D. (2020). Sanayi 4.0 Olgunluk Modeli Uygulamaları Üzerine Literatür İncelemesi. Kars: Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi.
- Bär, Kristina vd. (2018), "Considering Industry 4.0 Aspects in the Supply Chain for an SME", *Production Engineering*, 12 (6), 747-758.

- Barber, Matthew (2023). What is the ISA-95 model, and where does MES fit?
<https://www.mesmatters.com/post/what-is-the-isa-95-model-and-where-does-mes-fit>, son erişim 07.06.2024
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). Industrie 4.0 Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Studie des Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.(BITKOM). Berlin.
- Bharadwaj, Anandhi O. vd. (2013), “Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights”, *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482. Bimser (2024). Beam, <https://bimser.com/en/beam-enterprise-asset-management-system/>, erişim sağlanamıyor artık.
- Brennan S, Kreiss D (2014, September 8) Digitalization and digitization. <http://culturedigitally.org/2014/09/digitalization-and-digitization/>, son erişim 24.05.2024
- Bruno, G., Taurino, T., & Villa, A. (2018). An approach to support SMEs in manufacturing knowledge organization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29, 1379-1392.
- Büyüközkan, Gülçin & Göçer, Fethullah (2018), “Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research”, *Computers in Industry*, vol 97:157–177.
- Camba, J. D., Contero, M., Company, P., & Perez, D. (2017). On the integration of model-based feature information in Product Lifecycle Management systems. *International journal of information management*, 37(6), 611-621.
- Carlsen, H., Johansson, L., Wikman-Svahn, P., & Dreborg, K.H. (2014). Co-evolutionary scenarios for creative prototyping of future robot systems for civil protection. *Technological Forecasting and Social Change*, 84, 93-100.
- Çeliktaş, M. S. , & Koçar, G., (2015). Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası. *Mühendis ve Makina*, vol.662, 24-33.

- Chandrashekar, Anuradha (2024). A Review of Industry 4.0 and 6.0 In Manufacturing Industries, *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, ISSN: 1001-4055, Vol. 45 No. 1 (2024)
- Chang, M. K., Cheung, W., Cheng, C. H., & Yeung, J. H. (2008). Understanding ERP system adoption from the user's perspective. *International Journal of production economics*, 113(2), 928-942.
- Chang, T.C. Wysk, R.A.: An Introduction to Computer-Aided Process Planning Systems, Prentice Hall, NJ, 1985.
- Chen, H. (2017). Theoretical foundations for cyber-physical systems: A literature review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(3), 1750013.
- Chen, H., Hu, M., Yan, H., & Yu, P. (2019, September). Research on industrial internet of things security architecture and protection strategy. In *2019 International conference on virtual reality and intelligent systems (ICVRIS)* (pp. 365-368). IEEE.
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *Ieee Access*, 8, 75264-75278.
- Chen, X., & Voigt, T. (2020). Implementation of the Manufacturing Execution System in the food and beverage industry. *Journal of Food Engineering*, 278, 109932.
- Chofreh, A. G., Goni, F. A., Klemeš, J. J., Malik, M. N., & Khan, H. H. (2020). Development of guidelines for the implementation of sustainable enterprise resource planning systems. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118655.
- Christopher, M. (2000). The agile supply chain: competing in volatile markets. *Industrial marketing management*, 29(1), 37-44.
- Chrysosolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., & Georgoulas, K. (2009). Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(5), 451-462.
- Chugh, J. (2021). Cyber-Physical System (CPS) & Internet of Things (IoT) in Manufacturing.
- Chukalov, K. (2017). Horizontal and vertical integration, as a requirement for cyber - physical systems in the context of industry 4.0. *Industry 4.0*, 2(4), 155-157.

- Cimini, C., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2017). The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14952-14957.
- Colli, M., Madsen, O., Berger, U., Møller, C., Wæhrens, B. V., & Bockholt, M. (2018). Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. *Ifac-papersonline*, 51(11), 1347-1352.
- Collidu (2024). Industry 6.0, <https://www.collidu.com/presentation-industry-6-0>, son erişim 02.06.2024
- Correani, A., De Massis, A., Frattini, F., Petruzzelli, A.M. and Natalicchio, A. (2020), “Implementing a digital strategy: learning from the experience of three digital transformation projects”, *California Management Review*, Vol. 62 No. 4, pp. 37-56.
- Cottyn, J. 2012. “Design of lean manufacturing execution system framework“ Doctoral dissertation, Ghent University.
- Dahm, M. H., & Thode, S. (2019). *Strategie und Transformation im digitalen Zeitalter*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Dalenogare, Lucas Santos vd. (2018), “The Expected Contribution of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance”, *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394.
- Dassault Systemes (2024). MES and MOM do you know the difference? <https://blog.3ds.com/brands/delmia/do-you-know-the-difference-between-mes-and-mom/>, son erişim 20.06.2024
- Daugherty P, Banerjee P, Negm W, Alter AE (2015). Driving unconventional growth through the industrial internet of things. Accenture. <https://www.accenture.com/ph-en/acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growththrough-IIoT.pdf>. son erişim 02.06.2024
- Davenport, T.H., Spanyi, A. (2019): What process mining is, and why companies should do it. *Harv. Bus. Rev.* (2019)

- Demir, K.A ve Cicibaş, H. (2018). The next industrial revolution: industry 5.0 and discussions on industry 4.0." industry 4.0 from the management information systems perspectives. Peter Lang Publishing House,
- Dijital Solutions (2023). What is ISA-95? What are the Benefits?, <https://sequor.com.br/en/o-que-e-isa-95-quais-os-beneficios>, son erişim 30.06.2024
- Dijital Türkiye Platformu (2021). Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021, Trendler ve Rehber Hedefler, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tbv.org.tr/Content/userfiles/files/Dijitalles_me-Yolunda-Tu_rkiye-Raporu-v9.pdf , son erişim 04.06.2024
- Ding, D., Han, Q. L., Xiang, Y., Ge, X., & Zhang, X. M. (2018). A survey on security control and attack detection for industrial cyber-physical systems. *Neurocomputing*, 275, 1674-1683.
- Direction, S. (2004). Meeting the manufacturing challenge: Performance advantage of MES. *Strategic Direction*, 20(11), 28-30. EKOIQ. (2014). Endüstri 4.0 Akıllı Yeni Dünya: Dördüncü Sanayi Devrimi, 4-5
- Drucker, P. F. (2006). *Classic Drucker: essential wisdom of Peter Drucker from the pages of Harvard Business Review*. Harvard Business Press.
- Eldem, M. O. (2017). Endüstri 4.0. TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni, 3, 10-16.
- Elia, G., Polimeno, G., Solazzo, G., & Passiante, G. (2020). A multi-dimension framework for value creation through big data. *Industrial Marketing Management*, 90, 617-632.
- Elliott, R. F. 2013. "Manufacturing execution system (MES) an examination of implementation strategy".
- Enríquez, J. G., Sánchez-Begínes, J. M., Domínguez-Mayo, F. J., García-García, J. A., & Escalona, M. J. (2019). An approach to characterize and evaluate the quality of Product Lifecycle Management Software Systems. *Computer Standards & Interfaces*, 61, 77-88.

- Etkeser, S. (2019). *Endüstri 4.0a geçişte olgunluk modeli oluşturulması ve yol haritasının belirlenmesi: Türkiye'de KOBİler üzerine bir çalışma* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Fang, Y., Peng, C., Lou, P., Zhou, Z., Hu, J., Yan, J., DECEMBER 2019. Digital-Twin-based job shop scheduling toward smart manufacturing. *IEEE Trans. Ind. Inf.* 15 (NO. 12).
- Feng, Y. J. (2015). Integration Model Based on the Integration of “CAD/CAPP/PLM/ERP” Framework Research. *Chemical Engineering Transactions*, 46, 1111-1116.
- Feroz, A.K., Zo, H. and Chiravuri, A. (2021), “Digital transformation and environmental sustainability: a review and research agenda”, *Sustainability*, Vol. 13 No. 3, p. 1530.
- Fischer, Tim (2023). PDM vs. PLM vs. ERP: How the Systems Differ. <https://omr.com/en/reviews/contenthub/pdm-plm-er>
- Fraser, J. (2004). The MES performance advantage: best of the best plants use MES. *Industry Directions Inc.*
- Gartner (2020), “Digitalization”, <https://www.gartner.com/en/informationtechnology/glossary/digitalization>, son erişim 24.05.2024
- Geisberger, E., & Broy, M. (Eds.). (2012). *agendaCPS: integrierte forschungsagenda cyber-physical systems* (Vol. 1). Springer-Verlag.
- Gerçek, Alper (2023). Endüstri 5.0'in Çıkış Hikayesi, <https://www.linkedin.com/pulse/end%C3%BCstri-50in-%C3%A7iki%C5%9F-hikayesi-alper-ger%C3%A7ek/>, son erişim 30.05.2024
- Ghazani, S.H.H.N. Lotf, J.J. Alguliev, R.M. (2012). A study on QoS models for mobile adhocnetworks, *Int. J. Model. Optim.* 2 (5) (2012) 634–636.
- Giannantonio, C. M., & Hurley-Hanson, A. E. (2011). Frederick Winslow Taylor: Reflections on the relevance of the principles of scientific management 100 years later.
- Gibb, G. S. (1946). The Pre-Industrial Revolution in America: A Field for Local Research. *Bulletin of the Business Historical Society*, 20(4), 103-116.

- Gilchrist A (2016) Industry 4.0: the industrial internet of things, 1st edn. Apress, Berkeley, CA
- International Telecommunication Union (2005) ITU internet reports 2005: the internet of things. <https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf>. Son erişim 02.06.2024
- Görçün, Ö. F. (2017). *Dördüncü Endüstri Devrimi Endüstri 4.0*. İstanbul: Beta Yayınları.
- Grachev, M., & Rakitsky, B. (2013). Historic horizons of Frederick Taylor's scientific management. *Journal of Management History*, 19(4), 512-527.
- Gołda, G., Kampa, A., & Paprocka, I. (2016). Modeling and simulation of manufacturing line improvement. *International Journal of Computational Engineering Research*, 6(10), 26-31.
- Guillemin, A. (1881). *La vapeur*. Hachette.
- Gupta, Mark Sen (2020). What is Digitization, Digitalization, and Digital Transformation? <https://www.arcweb.com/blog/what-digitization-digitalization-digital-transformation>, son erişim 21.06.2024
- Gürsoy, Ö. 2021. “Yalın üretim sisteminde dijitalleşme ve endüstri 4.0 uygulamaları ile süreç iyileştirme analizi: bir imalat işletmesinde uygulama”.
- Henard, D. H., & Szymanski, D. M. (2001). Why some new products are more successful than others. *Journal of marketing Research*, 38(3), 362-375.
- Hofmann, E., Sternberg, H., Chen, H., Pflaum, A. and Prockl, G., (2019). Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 9(10), 945-955.
- Hui, H., Zhou, C., Xu, S., & Lin, F. (2020). A novel secure data transmission scheme in industrial internet of things. *China Communications*, 17(1), 73-88.
- Inductive, (2024). Ignition IIoT: The Building Blocks of Your Digital Transformation, <https://inductiveautomation.com/solutions/iiot>, son erişim 29.06.2024
- IMD (2024). International Institute for Management Development, World Competitiveness Center, 2024World Digital Competitiveness Ranking, <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/> , son erişim 04.06.2024

- Impuls (2015a). Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses, <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>, son erişim 05.06.2024
- Impuls (2015b). Industry 4.0 Readiness, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://impuls-stiftung.de/wp-content/uploads/2022/05/Industrie-4.0-Readiness-english.pdf, son erişim 06.06.2024
- Jacobs, F. R. (2007). Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of operations management*, 25(2), 357-363.
- Jaribion, A., Khajavi, S. H., Öhman, M., Knapen, A., & Holmström, J. (2020, December). A digital twin for safety and risk management: A prototype for a hydrogen high-pressure vessel. In *International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology* (pp. 369-375). Cham: Springer International Publishing.
- Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., & Abonyi, J. (2020). Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard-and ontology-based methodologies and tools. *Computers in industry*, 123, 103300.
- Java point, (2021). Retrieved from What is quantum computing—Javatpoint,<https://www.javatpoint.com/what-is-quantum-computing>, Accessed on 22 December 2021. Return to ref 2 in article
- Jazdi, N. (2014, May). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. In *2014 IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics* (pp. 1-4). IEEE.
- Jbair, M., Ahmad, B., Ahmad, M. H., & Harrison, R. (2018). Industrial cyber physical systems: A survey for control-engineering tools. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, 270–276.
- Kamble, S., Gunasekaran, A. and Sharma, R. (2018), “Analysis of the driving and dependency power of barriers to adapt industry 4.0 in Indian manufacturing industry”, *Computers in Industry*, Vol. 101, pp. 107-119, doi: [10.1016/j.compind.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004).

- Kane, G. C., Palmer, D., & Phillips, A. N. (2017). *Achieving digital maturity*. MIT Sloan Management Review.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013) Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0 - Final Report of the Industrie 4.0 Working Group; Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance, acatech: Frankfurt am Main, Germany, 2013.
- Khan, A., Turowski, K. (2016) A survey of current challenges in Manufacturing industry and preparation for industry 4.0. Proceedings of the first international scientific conference “intelligent information technologies for industry” (IITI’16), Adv. Intelligent. Syst. Comput. 450, DOI 10.1007/978-3-319-33609-1_2.
- Khedher, A. B., Henry, S., & Bouras, A. (2011, September). Integration between MES and product lifecycle management. In *ETFA2011* (pp. 1-8). IEEE.
- Khoshroo, M., & Talari, M. (2023). Scientific mapping of digital transformation strategy research studies in the Industry 4.0: a bibliometric analysis. *Nankai Business Review International*, 14(1), 3-34.
- Kimchia, Kihara (2023). What is Digitization vs. Digitalization vs. Digital Transformation? [https://www.channelinsider.com/business-management/digitization- vs-digitalization/](https://www.channelinsider.com/business-management/digitization-vs-digitalization/), son erişim 21.06.2024
- Kılıç, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri. Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 2(3), 29–49. <https://doi.org/10.31006/gipad.417536>
- Kletti, J., Deisenroth, R., Diesner, M., Kletti, W., Lübbert, J. P., Schumacher, J., & Strebel, T. (2015). Mes-manufacturing execution system: Moderne informationstechnologie unterstützt die wertschöpfung, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg.
- Klimecka-Tatar, D., & Ingaldi, M. (2022). Digitization of processes in Manufacturing SMEs-value stream mapping and OEE analysis. *Procedia Computer Science*, 200, 660-668.

- Klingenberg, C. O., Viana Borges, M. A. & Vale Antunes, J. A. (2022). Industry 4.0: what makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon, *Technology in Society*, 70, 102009.
- Knoll, D., Reinhart, G., Prüglmeier, Mantravadi M. (2019): Enabling value stream mapping for internal logistics using multidimensional process mining. *Expert Syst. Appl.* 124, 130–142 (2019)
- Koc, T. C., & Teker, S. (2019). Industrial revolutions and its effects on quality of life. *PressAcademia Procedia*, 9(1), 304-311.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870-1875.
- Kosgeb (2023) YODA, Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi, chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/birimler/SAVGMMFKOSGEBYalinDonusumDestegi.pdf, son erişim 05.06.2024
- Krijnen, A. (2007). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer.
- Kul'ga, K. S., & Gil'fanov, R. R. (2008). Integration of CAD/CAM/PDM/MES and ERP systems. *Russian Engineering Research*, 28, 169-172.
- Kupiainen, Jari (2016), "Translocalisation Over the Net: Digitalisation, Information Technology and Local Cultures in Melanesia", *E-Learning and Digital Media*, 3(3), 279–290.
- Kutin, A., Dolgov, V., Sedykh, M., & Ivashin, S. (2018). Integration of different computer-aided systems in product designing and process planning on digital manufacturing. *Procedia Cirp*, 67, 476-481.
- Kutlu, Hatice (2022) Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), <https://lojistikbilimi.com/kurumsal-kaynak-planlamasi/> , son erişim 20.06.2022
- Larsson, Ö., & Wallin, P. (2020). Digital transformation in the Swedish process industries: Trends, challenges, actions. *Journal of Business Chemistry*, 17(3), 17-31.

- Lean Project Management Foundation (2023). Lean Management, https://leanpm.org/lean-project-management-lean-concepts/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw8diwBhAbEiwA7i_sJQQigG3zz3HmtvOr_Tyl5e2-DzFgVCHnH5SWSlF3ijThw172gDHIIxoC0ywQAvD_BwE#The-Forms-of-Waste, son erişim 05.06.2024
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing letters*, 1(1), 38-41.
- Legner, Christine vd. (2017), “Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems Engineering Community”, *Business and Information Systems Engineering*, 59(4), 301–308.
- Leimeister, S., Böhm, M., Riedl, C., & Krcmar, H. (2010). The business perspective of cloud computing: actors, roles and value networks.
- Leng, Jiewu, et al. (2022). “Industry 5.0: Prospect and retrospect.” *Journal of Manufacturing Systems* 65 (2022): 279-295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>
- Li, Shancang vd. (2015), “The Internet of Things: A Survey”, *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259.
- Li, Q., Tang, Q., Chan, I., Wei, H., Pu, Y., Jiang, H., ... & Zhou, J. (2018). Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework. *Computers in Industry*, 101, 91-106.
- Lins, S., Grochol, P., Schneider, S., & Sunyaev, A. (2016). Dynamic certification of cloud services: trust, but verify!. *IEEE Security & Privacy*, 14(2), 66-71.
- Llena-Nozal A, Martin N, Murtin F. The economy of well-being: creating opportunities for people’s well-being and economic growth. OECD; 2019.
- Llopis-Albert, C., Rubio, F. and Valero, F. (2021), “Impact of digital transformation on the automotive industry”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 162, p. 120343.
- Lorenz, R., Buess, P., Macuvele, J., Friedli, T., & Netland, T. H. (2019). Lean and digitalization—contradictions or complements?. In *Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future:*

- IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019, Austin, TX, USA, September 1–5, 2019, Proceedings, Part I* (pp. 77-84). Springer International Publishing.
- Lu, Y., Riddick, F., & Ivezić, N. (2016). The paradigm shift in smart Manufacturing system architecture. In *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2016, Iguassu Falls, Brazil, September 3-7, 2016, Revised Selected Papers* (pp. 767-776). Springer International Publishing.
- Lucke D, Constantinescu C, Westkämper E (2008) Smart factory - a step towards the next generation of manufacturing. Paper presented at the 41st CIRP conference on Manufacturing systems, Tokyo, 26–28 May 2008
- Mahmoud, M. I. H. H. Ammar, M. M. Hamdy, and M. H. Eissa, “Production operation management using Manufacturing Execution Systems (MES),” *2015 11th Int. Comput. Eng. Conf. Today Inf. Soc. What’s Next?, ICENCO 2015*, pp. 111–116, 2016.
- Mantravadi, S., Li, C., & Møller, C. (2019). Multi-agent Manufacturing Execution System (MES): Concept, architecture & ML algorithm for a smart factory case.
- Marks, E. A. (1997). Manufacturing execution systems: enablers for operational excellence and the groupware for manufacturing. *Information Strategy: The Executive's Journal*, 13(3), 23-29.
- Markus, H., & Meuche, T. (2022). Auf dem Weg zur digitalen Verwaltung. *Ein ganzheitliches Konzept für eine gelingende Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung*. SpringerGabler.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing—The business perspective. *Decision support systems*, 51(1), 176-189.
- Maurer, W., Karamouzis, F., Lopez, J., Handler, R.A., Frank, A., Olding, E. and Welch, K. (2014), Top 10 Strategic Predictions for 2015 and beyond: Digital Business is Driving Big Change, (Report Number G00269904), Gartner Research, Stamford, CT.

- Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 72, 622-628.
- McKendry, D. A., Whitfield, R. I., & Duffy, A. H. (2022). Product Lifecycle Management implementation for high value Engineering to Order programmes: An informational perspective. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100264.
- McLaughlin, Shane (2024). Benefits of Industry 4.0 Vertical Integration - Where OT and IT Converge, <https://slcontrols.com/benefits-of-industry-4-0-vertical-integration-where-ot-and-it-converge/> , son erişim 05.07.2024
- MESA, (1997 a). The benefits of MES: a Report from the Field. Manufacturing Enterprise Solutions Association.
- MESA International (1997 b) MES explained: A High Level Vision White Paper 6
- Meyer, H. (2009). *Manufacturing execution systems: optimal design, planning, and deployment*. McGraw-Hill Education.
- Mishra Sunil, B., Liyakat, K. S. S., & Liyakat, K. K. S. (2024). Review of the Literature and Methodological Structure for IoT and PLM Integration in the Manufacturing Sector. *Journal of Advancement in Machines*, 9(1), 1-5.
- Mleczko, J. (2015). Integration of CAD/PDM and ERP Systems in Practice. *Applied Mechanics and Materials*, 791, 26-33.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia Cirp*, 17, 9-13.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. J. P. C. (2016). Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia cirp*, 55, 290-295.
- Naedele, M., Chen, H. M., Kazman, R., Cai, Y., Xiao, L., & Silva, C. V. (2015). Manufacturing execution systems: A vision for managing software development. *Journal of systems and Software*, 101, 59-68.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: total productive maintenance. (Translation). *Productivity Press, Inc.*, 1988,, 129.

- Napoleone, A., Macchi, M., & Pozzetti, A. (2020). A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories. *Journal of manufacturing systems*, 54, 305-335.
- National Performance Framework | National Performance Framework, n.d., <https://nationalperformance.gov.scot/>, son erişim 30.05.2024.
- Ning, H., & Liu, H. (2012). Cyber-physical-social based security architecture for future internet of things. *Advances in Internet of Things*, 2(01), 1.
- NIST, Feng, Shaw C. (1998). National Institute of Standards and Technology, Manufacturing Planning and Execution Objects Foundation Interfaces, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6232.pdf, son erişim 28.06.2024
- NIST (2011). Final Version of NISTCloud Computing Definition Published, <https://www.nist.gov/news-events/news/2011/10/final-version-nist-cloud-computing-definition-published> , son erişim 29.06.2024
- D'antonio, G., Bedolla, J. S., Genta, G., Ruffa, S., Barbato, G., Chiabert, P., & Pasquettaz, G. (2016). PLM-MES integration: a case-study in automotive manufacturing. In *Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things: 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers 12* (pp. 780-789). Springer International Publishing.
- OECD Better Life Index, n.d., (2020) <https://www.oecdbetterlifeindex.org/>, son erişim 30.05.2024
- Oğuz, A., & Perçin, S. (2022). Tedarik Zinciri Entegrasyonu ve Dijitalleşmenin Performans Etkisi: Alıcı-Tedarikçi Risk Yönetiminin Aracılık Rolü. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40(4), 837-860.
- Oktay Fırat, Seniye Ümit (2023). Endüstri 4.0'dan Endüstri 6.0'a Yolculuk. <https://www.sanayicidergisi.com.tr/endustri-40dan-endustri-60a-yolculuk-makale,857.html>, son erişim 26.06.2024
- O'Leary, D. E. (2023). Digitization, digitalization, and digital transformation in accounting, electronic commerce, and supply chains. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 30(2), 101-110.

- OSLO Manual (2005). *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. 3rd Edition, OECD, Paris.
- Orlicky, J. A. (1974). *Material requirements planning: the new way of life in production and inventory management*. McGraw-Hill, Inc..
- Oruç, S. (2021). A mobile flexible business process management system supporting daily life processes and decisions.
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0. Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, 21(1), 41–64.
- Pagani, M. & Pardo, C. (2017). The Impact of Digital Technology on Relationships in a Business Network. *Industrial Marketing Management*, 67 (May): 185-192.
- Pak, E. (2022). Stok yönetim sistemlerinde Endüstri 4.0 uygulamalarının gerçekleştirilmesi: Bir otomotiv firmasında komisyonlama (parça toplama-montaj hatlarına parça besleme) yönteminin dijitalleştirilmesi.
- Park, S. (2016). Development of innovative strategies for the Korean Manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, 744–750. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.067>
- Parlak, R. O. (2022). *Alüminyum Enjeksiyon Kalıplama Sektöründe Üretim Yürütme Sisteminin Uygulanması* (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Parlak, R. O. (2022). *Alüminyum Enjeksiyon Kalıplama Sektöründe Üretim Yürütme Sisteminin Uygulanması* (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Pasqualetti, F., Dörfler, F., & Bullo, F. (2013). Attack detection and identification in cyber-physical systems. *IEEE transactions on automatic control*, 58(11), 2715-2729.
- Pelletier Claudia, Cloutier L.Martin (2019) “Challenges of Digital Transformation in SMEs: Exploration of IT-Related Perceptions in a Service Ecosystem”, *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 4967-4976. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/handle/10125/59934>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Peterjohann, Horst (2024). Das V-Modell, Darstellung und Verwendung, <https://www.peterjohann-consulting.de/v-modell/> , son erişim 02.07.2024

- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard business review*, 92(11), 64-88.
- Pötter, T., Folmer, J., & Vogel-Heuser, B. (2017). Enabling Industrie 4.0–Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie. *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4: Allgemeine Grundlagen*, 71-83.
- Prashanth, B. N., & Venkataram, R. (2017). Development of modular integration framework between PLM and ERP systems. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2269-2278.
- Pro Manage (2024). OEE. <https://promanagecloud.com/tr/oe-nedir/>, son erişim 22.06.2024
- Pulkkinen, A., Leino, S. P., & Papinniemi, J. (2017). Transforming ETO businesses with enhanced PLM capabilities. *Procedia Manufacturing*, 11, 1642-1650.
- Qu, T., Lei, S., Chen, Y., Wang, Z., Luo, H., & Huang, G. Q. (2014, June). Internet-of-things-enabled smart production logistics execution system based on cloud manufacturing. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 45806, p. V001T04A030). American Society of Mechanical Engineers.
- Qiu, R. G. ve Zhou, M. (2014). Mighty MESs; State-of-the-Art and Future Manufacturing Execution Systems. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 11(1), 19–25.
- Ray, P. P. (2016). A survey of IoT cloud platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1-2), 35-46.
- Remane, G., Hanelt, A., Wiesboeck, F., & Kolbe, L. M. (2017, June). Digital Maturity in Traditional industries-an Exploratory Analysis. In *ECIS* (p. 10).
- Ren, S., Zhang, Y., Liu, Y., Sakao, T., Huisingh, D., & Almeida, C. M. (2019). A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions. *Journal of cleaner production*, 210, 1343-1365.
- Rios, J., Bernard, A., Bouras, A., & Foufou, S. (2017). *Product lifecycle management and the industry of the future*. Springer,.

- Rifkin, J. (2011). Üçüncü Sanayi Devrimi.
- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193-207.
- Rodríguez, R., Molina-Castillo, F. J., & Svensson, G. (2020). The mediating role of organizational complexity between enterprise resource planning and business model innovation. *Industrial Marketing Management*, 84, 328-341.
- Rossit, D. A., Tohme, F., & Frutos, M. (2019). Production planning and scheduling in Cyber-Physical Production Systems: a review. *International journal of computer integrated manufacturing*, 32(4-5), 385-395.
- Ruane, P., Walsh, P., & Cosgrove, J. (2022). Development of a digital model and metamodel to improve the performance of an automated manufacturing line. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 538-549.
- Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, P. Engel, M. Harnisch, et al. (2015) Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries 09 April Boston Consulting Group (2015)
- Saaksvuori, A., & Immonen, A. (2008). *Product lifecycle management systems* (pp. 27 - 44). Springer Berlin Heidelberg.
- Saaty, T. L., 1978. Modeling unstructured decision problems - the theory of analytical hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*. North-Holland, 20(3), ss. 147–158.
- Sadrzadehrafiei, S., Chofreh, A. G., Hosseini, N. K., & Sulaiman, R. (2013). The benefits of enterprise resource planning (ERP) system implementation in dry food packaging industry. *Procedia Technology*, 11, 220-226.
- SAP (2024). Saha Hizmeti Yönetimi (FSM) nedir?, <https://www.sap.com/turkey/products/scm/field-service-management/what-is-field-service-management.html> , son erişim 12.06.2024
- Sarkis, J., & Sundarraj, R. P. (2006). Evaluation of enterprise information technologies: a decision model for high-level consideration of strategic and operational issues. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part C (applications and reviews)*, 36(2), 260-273.

- Sarp, Göker, Erş, İzzet, Demirgiran, Gökhan (2022), MES & MOM, chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.theprowess.net/documents/mes_satin_alma_rehberi(kucuk).pdf , son erişim 20.06.2024
- Savela, N., Turja, T., & Oksanen, A. (2018). Social acceptance of robots in different occupational fields: A systematic literature review. *International Journal of Social Robotics*, 10(4), 493-502.
- Scheer, A.W. (2019), Enterprise 4.0 – from Disruptive Business Model to Automation of Business Processes, AWSi Publishing, Saarbrücken.
- Schleipen, M., Münnemann, A., & Sauer, O. (2011). Interoperabilität von manufacturing execution systems (MES).
- Schmidt, M., Spieth, H., Bauer, J., & Haubach, C. (2016). *100 Betriebe für Ressourceneffizienz –Band 1: Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 52, 161-166.
- Scholten, B. (2009). *MES guide for executives: why and how to select, implement, and maintain a manufacturing execution system*. ISA.
- Schwab, K. (2016). *Dördüncü Sanayi Devrimi*. (Çev. Dicleli, Z.) İstanbul: Optimist Yayıncılık (Eserin orijinali Dünya Ekonomik Forumu Yayınevi aracılığıyla 2016'da yayımlandı).
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Schwertner, K. (2017). Digital transformation of business. *Trakia Journal of Sciences*, 15(1), 388-393.
- Seethamraju, R., & Sundar, D. K. (2013). Influence of ERP systems on business process agility. *IIMB Management Review*, 25(3), 137-149.
- Selcen, Cemre (2024). TÜBİTAK VE TÜSSİDE, Dijital Dönüşüm Danışmanı Eğitim Programı, DDX Danışmanlık Modeli Teması, Dijital Dönüşüm Olgunluk Değerlendirme ve Yol Haritası Eğitimi.
- Seyhan, Ç. (2019). *Lojistik 4.0: Endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne uyarlanması üzerine bir araştırma* (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).

- Sezen, H. K., & Eren Şenaras, A. (2022). Dijitization, Dijitalization, Dijital Dönüşüm Kavramlarına ilişkin bir Değerlendirme. *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute/Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (51).
- Shilovitsky, Oleg (2021). A Look Into System LifecycleManagement Book by Martin Eigner, <https://www.linkedin.com/pulse/look-system-lifecycle-management-book-martin-eigner-oleg-shilovitsky/>, son erişim 02.07.2024
- Siemens. (2016). Endüstri 4.0 Yolunda: Dijital Fabrikalar. Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c6559c15-4a18-46f8-90f7-60243996a0f9/presentation-summary-d.pdf, son erişim 30.05.2024
- Siemens (2011). Product and Manufacturing Information (PMI) 3D Model Documentation, https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9645_tcm1023-4581.pdf , son erişim 11.06.2024
- Siemens (2024). ISA-95 framework and layers, <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/isa-95-framework-layers/> son erişim 07.06.2024
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53, 799-809.
- Soyuer, Haluk (2024). Üretici İşletmelerinde Dijital Dönüşüm, ABAS Webinar, 05.06.2024
- Soldatos, J., Gusmeroli, S., Malo, P., & Di Orio, G. (2022). Internet of things applications in future manufacturing. In *Digitising the Industry Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds* (pp. 153-183). River Publishers.
- Spear, B. (2008). James Watt: The steam engine and the commercialization of patents. *World patent information*, 30(1), 53-58.
- Sum, C. C., & Yang, K. K. (1993). A study on manufacturing resource planning

- Sunyaev, Ali (2020). Internet Computing. Principles of Distributed Systems and Emerging Internet-Based Technologies, ISBN 978-3-030-34956-1, Springer Nature Switzerland AG.
- Svensson, C., & Barfod, A. (2002). Limits and opportunities in mass customization for “build to order” SMEs. *Computers in industry*, 49(1), 77-89.
- Talberth J, Weisdorf M. Genuine progress indicator 2.0: pilot accounts for the US, Maryland, and City of Baltimore 2012–2014. *Ecol Econ* 2017;142:1–11.
- Tajiri M a GF. (1992). TPM implementation-a Japanese approach. McGraw-Hil
- Tamas, L., & Murar, M. (2019). Smart CPS: vertical integration overview and user story with a cobot. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4-5), 504-521.
- Tao, F., Cheng, Y., Da Xu, L., Zhang, L., & Li, B. H. (2014). CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(2), 1435-1442.
- Taş, H. Y. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi’nin (Endüstri 4.0) Çalışma Hayatına ve İstihdama Muhtemel Etkileri. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 9(16), 1817-1836.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2017), Türkiye’nin Sanayi Devrimi, “Dijital Türkiye” Yol Haritası, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2023_Dijital-Turkiye-Yol-Haritasi.pdf, son erişim 04.06.2024
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2020). Türkiye’de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A) 2019 - 2020 Sonuç Raporu Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu Raporu, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/turkiyede-dijital-donusum-degerlendirme-araci-d3a-2019-2020-sonuc-raporu.pdf, son erişim 05.06.2024
- Teichert, R. (2019). Digital transformation maturity: A systematic review of literature. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*.
- Tesla (2024). OPC-UA Nedir? <https://www.teslakontrol.com/tr/opc-ua>, son erişim 29.06.2024

Thales (2024). Die Vorteile der Digitalen Transformation.

<https://cpl.thalesgroup.com/de/software-monetization/benefits-of-digital-transformation>, son erişim 02.06.2024

Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International journal of automation technology*, 11(1), 4-16.

Thordsen, T., Murawski, M., & Bick, M. (2020). How to measure digitalization? A critical evaluation of digital maturity models. In *Responsible Design, Implementation and Use of Information and Communication Technology: 19th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2020, Skukuza, South Africa, April 6–8, 2020, Proceedings, Part I 19* (pp. 358-369). Springer International Publishing.

Tilson, David vd. (2010), “Digital Infrastructures: The Missing IS Research Agenda”, *Information Systems Research*, 21(4), 748–759. <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0318>, son erişim 24.05.2024

TÜBİTAK, «Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası,» 2016.

Türkmen, Şebnem Dicle (2022). Endüstri 4.0 Entegrasyonu İçin Bulut Tabanlı Üretim Yönetim Sistemi Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.

Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975-2987.

UIB, (2017) Yapay Zeka ve Yeni Teknolojiler, Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği Ar&Ge Şubesi, [yapay-zeka-ve-yeni-teknolojiler \(uib.org.tr\)](http://yapay-zeka-ve-yeni-teknolojiler(uiib.org.tr)) son erişim 02.06.2024

Ulas, D. (2019). Digital transformation process and SMEs. *Procedia computer science*, 158, 662-671.

Üstün, Çağrı (2022). Ebdüstri 5.0 Nedir? Nereden Buralara Geldik? <https://nttdatasolutions.com/tr/blog/endustri-5-0/>, son erişim 30.05.2024

Üstündağ, A., & Çevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.

- Üzmez, S. S., & Büyükbeşe, T. (2021). Dijitalleşme sürecinde bilgi yönetiminin işletmelerin teknoloji uyumuna etkileri. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 16(2), 117-127.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, 20, 233-238.
- Van der Ploeg (2016). What is MRP I and MRP II?, What does MRP mean? MRP stands for Material Requirements Planning, or planning the material requirements for producing products., https://www.odooexperts.nl/en_US/blog/blog-70/what-is-mrp-i-and-mrp-ii-133#:~:text=The%20abbreviation%20is%20the%20same,planning%20the%20entire%20production%20process.. , son erişim 13.07.2024
- V. Villani, L. Sabattini, P. Barańska, E. Callegati, J.N. Czerniak, A. Debbache, et al. (2020) The Inclusive system: a general framework for adaptive industrial automation IEEE Trans Autom Sci Eng (2020), 10.1109/TASE.2020.3027876
- Vogel-Heuser, B., Diedrich, C., & Broy, M. (2013). Anforderungen an CPS aus Sicht der Automatisierungstechnik/Requirements on CPS from the Viewpoint of Automation. *at-Automatisierungstechnik*, 61(10), 669-676.
- Wang, Lidong ve Alexander, Cheryl A. (2015), “Big Data Driven Supply Chain Management and Business Administration”, *American Journal of Economics and Business Administration*, 7(2), 60–67.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for Industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
- Wang, J., Ye, L., Gao, R. X., Li, C., & Zhang, L. (2019). Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3920-3934.
- Wang, H., Chen, K., Zheng, H., Zhang, G., Wu, R., & Yu, X. (2021). Knowledge transfer methods for expressing product design information and organization. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 1-15.

- Wang, L., Liu, Z., Liu, A., & Tao, F. (2021). Artificial intelligence in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 771-796.
- Wortmann, J. C., Muntslag, D. R., & Timmermans, P. J. (1996). Why customer driven manufacturing. In *Customer-driven manufacturing* (pp. 33-44). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Wu, G., Sun, J., & Chen, J. (2016). A survey on the security of cyber-physical systems. *Control Theory and Technology*, 14(1), 2-10.
- Yang, L. vd. (2013), “How the Internet of Things Technology Enhances Emergency Response Operations”, *Technological Forecasting and Social Change*, 80(9), 1854–1867.
- Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, (2024), Endüstri 4.0 – Eğitim İlişkisi, Modül 1: Sanayi Devrimlerinin Kısa Tarihçesi, <https://etwinningonline.eba.gov.tr/lesson/modul-1sanayi-devrimlerini-kisa-tarihcesi/> , son erişim 24.05.2024
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 546-556.
- Yılmaz, M., & Arslantaş, C. (2022). İşletmelerde endüstri 4.0 farkındalığı ve işgücü üzerindeki etkileri: yönetici görüşleri üzerine çoklu örnek olay çalışması. *Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 139-147.
- Yong, S. Z., Zhu, M., & Frazzoli, E. (2015, December). Resilient state estimation against switching attacks on stochastic cyber-physical systems. In *2015 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)* (pp. 5162-5169). IEEE.
- Younus, M., Peiyong, C., Hu, L., & Yuqing, F. (2010, June). MES development and significant applications in manufacturing-A review. In *2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer* (Vol. 5, pp. V5-97). IEEE.
- Yu, B., Wright, J., Nepal, S., Zhu, L., Liu, J., & Ranjan, R. (2018). IoTChain: Establishing trust in the Internet of Things ecosystem using blockchain. *IEEE Cloud Computing*, 5(4), 12-23.

- Yüksel, H. (2022). Industry 4.0 transformation: factors affecting adoption and impacts on companies. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 4(3), 63-89.
- Zeadally, S., & Jabeur, N. (2016). *Cyber-physical system design with sensor networking technologies*. Institution of Engineering and Technology.
- Zeng, J., Yang, L. T., Lin, M., Ning, H., & Ma, J. (2020). A survey: Cyber-physical, -social systems and their system-level design methodology. *Future Generation Computer Systems*, 105, 1028-1042.
- Zhang, C., Chen, D., Tao, F., & Liu, A. (2019). Data driven smart customization. *Procedia CIRP*, 81, 564-569.
- Zhong, R. Y., X. Xu, L. H. Wang (2017). "IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability using Laser-scanners." *Procedia Manufacturing* 10: 1-14.
- Zhou, C., Liu, X., Xue, F., Bo, H., & Li, K. (2018). Research on static service BOM transformation for complex products. *Advanced engineering informatics*, 36, 146-162.

EKLER

1. EK: Yalın Olgunluk Değerlendirme Analizi/ YODA

YALIN OLGUNLUK DEĞERLENDİRME ANALİZİ (YODA)*

A. ÜST YÖNETİM FARKINDALIĞI

Toplam Puan:...

1. Üst yönetimin yalın üretim kavramı ve felsefesi ile kısa, orta ve uzun vadeli kazanımları ve yalın yolculuk hakkındaki **farkındalığı ve/veya bilgisi** ne düzeydedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler doğrultusunda değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiç bilgi sahibi değil	Oldukça sınırlı bilgiye sahip	Kısmen yeterli bilgiye sahip	Yeterli bilgiye sahip

2. Yalın uygulamaların planlanması, takibi ve koordinasyonu, Kuruluşun **organizasyon yapısı** içerisinde nasıl gerçekleştirilmektedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler ve Kuruluş Organizasyon Yapısının incelenmesi doğrultusunda değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Yalın uygulamaları takip eden herhangi bir personel, ekip veya birim yok	Asıl görevi yalın uygulamalar olmayan bir personel tarafından kısmen üstlenilmiş	Tek/öncelikli görevi yalın uygulamalar olan bir personel veya ekip var	Yalın uygulamaların planlandığı, takip ve koordine edildiği özel bir birim kurulmuş

3. Üst yönetimin, Kuruluşun yalın yolculuğunda bulunduğu aşamaya bağlı olarak yalın üretim kapsamında değerlendirilebilecek uygulamalarına **gerekli desteği vererek katılımı sağlama** düzeyi nedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler doğrultusunda değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Destek ve katılım yok	Oldukça sınırlı destek ve katılım var	Kısmen yeterli destek ve katılım var	Yeterli destek ve katılım var

B. STANDARDİZASYON

Toplam Puan:...

1. Kuruluşun üretim süreçlerinde yer alan operasyonlara yönelik hazırlanması gereken **Standart Operasyon Prosedürleri (SOP)**'nin varlık düzeyi nedir? (Standart Operasyon Prosedürü olarak adlandırılmamış ise varsa Metot Etüdü formları dikkate alınacaktır.)

0	1	2	3
Hiçbir operasyon için SOP hazırlanmamış	Bazı operasyonlar için SOP'ler hazırlanmış	Çoğu operasyon için SOP'ler hazırlanmış	Nerdeyse tüm operasyonlar için SOP'ler hazırlanmış

2. Üretim süreçlerindeki operasyonlar, önceden oluşturulmuş ve **güncel SOP'lere** göre yapılmakta mıdır? (Herhangi bir işlemin SOP'sinde yazan adımlar ile süreçte bir çevrim izlenip izlenmediği dikkate alınarak kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiçbir operasyon için güncel SOP hazırlanmamış	Bazı operasyonlar güncel SOP'lere göre yapılmakta	Çoğu operasyon güncel SOP'lere göre yapılmakta	Neredeyse tüm operasyonlar güncel SOP'lere göre yapılmakta

3. Kuruluşun üretim süreçlerinde yer alan operasyonlara yönelik yapılması gereken **Zaman Etütlerinin** varlık düzeyi nedir? (Kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Kayıt altına alınmış hiçbir standart zaman bulunmamakta	Bazı operasyonların Zaman Etütleri yapılmış ve kayıt altına alınmış	Çoğu operasyonun Zaman Etütleri yapılmış ve kayıt altına alınmış	Neredeyse tüm operasyonların Zaman Etütleri yapılmış ve kayıt altına alınmış

4. Kuruluşun üretim süreçlerinde yer alan operasyonlara yönelik yapılmış **Zaman Etütlerinin** güvenilirlik düzeyi nedir? (Zaman Etütlerinin sistematik yöntemlerle yapılma düzeyi dikkate alınarak kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Kayıt altına alınmış hiçbir standart zaman bulunmamakta	Zaman Etütleri basit yöntemlerle yapıldığı için standart zamanların güvenilirliği düşük	Zaman Etütleri sistematik yöntemlerle yapılmış ancak sahayı yansıtmayacak şekilde güncel değil	Zaman Etütleri sistematik yöntemlerle yapılmış olup güvenilirliği yüksek ve güncel

5. Kuruluşun **Toplam Ekipman Verimliliği (OEE)** hesaplamakta ve buna yönelik aksiyon almakta mıdır? (Kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
OEE hesaplanmamakta	OEE hesaplanmış ancak buna yönelik analiz yapılmamakta ve aksiyon alınmamakta	OEE hesaplanmış, buna yönelik analiz yapılmakta ancak aksiyon alınmamakta	OEE hesaplanmış, buna yönelik analiz yapılmakta ve aksiyon alınmakta

6. **Takt zamanının**, periyodik olarak (aylar veya üretim dönemi bazında) gözden geçirilmesi, ilgili tüm birimlerin bilgilendirilmesi ve gerekli değişikliklerin yapılması (süreç stoklarındaki min/max seviyelerinin belirlenmesi vb.) düzeyi nedir? (Kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Takt zamanı hesaplanmamakta	Takt zamanı hesaplanmakta ancak periyodik olarak gözden geçirilmemekte	Takt zamanı periyodik olarak gözden geçirilmekte ancak ilgili birimlerin bilgilendirilmesinde ve gerekli değişikliklerin yapılmasında aksaklıklar bulunmakta	Takt zamanı periyodik olarak gözden geçirilmekte, ilgili birimler zamanında bilgilendirilmekte ve gerekli değişiklikler yapılmakta

7. İş istasyonları ve çalışma alanlarında **ergonomik prensipler** gözetilmekte midir? (Saha ziyareti gözlemlerine ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiçbir iş istasyonunda ergonomik prensipler gözetilmemiş	Bazı iş istasyonlarında ergonomik prensipler gözetilmiş	Çoğu iş istasyonunda ergonomik prensipler gözetilmiş	Neredeyse tüm iş istasyonlarında ergonomik prensipler gözetilmiş

C. DEĞER AKIŞI

Toplam Puan:...

1. Üretim süreçlerindeki **darboğazlar ve öncelikli iyileştirme alanları** belirlenerek bunlara yönelik aksiyonlar alınmakta mıdır? (Kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Darboğazlar ve öncelikli iyileştirme alanları belirlenmemiş	Darboğazlar ve öncelikli iyileştirme alanları belirlenmiş ancak bunlara yönelik aksiyon alınmamakta	Darboğazlar ve öncelikli iyileştirme alanları belirlenmiş ve bunlara yönelik sınırlı düzeyde aksiyon alınmakta	Darboğazlar ve öncelikli iyileştirme alanları belirlenmiş ve bunlara yönelik yeterli düzeyde aksiyon alınmaktadır.

2. Sipariş sevk sürelerini kısaltmak, toplam kapasiteyi artırmak ve üretim maliyetlerini düşürmek için **Değer Akış Haritaları** oluşturulmakta ve bunlara yönelik aksiyon alınmakta mıdır? (Kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Değer Akış Haritaları oluşturulmamış	Değer Akış Haritaları oluşturulmuş ancak buna göre aksiyon	Değer Akış Haritaları oluşturulmuş ve buna göre sınırlı düzeyde	Değer Akış Haritaları oluşturulmuş, gelecek durum haritaları

3. Kuruluştaki **israfların azaltılmasına yönelik** iyileştirme faaliyetleri yapılmakta ve kayıt altına alınmakta mıdır? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
İsrafların azaltılmasına yönelik uygulamalar yapılmamakta	İsrafların azaltılmasına yönelik uygulamalar oldukça sınırlı düzeyde yapılmakta	İsrafların azaltılmasına yönelik uygulamalar kısmen yeterli düzeyde yapılmakta	İsrafların azaltılmasına yönelik uygulamalar yeterli düzeyde yapılmakta ve kayıt altına alınmakta

D. ÜRETİM AKIŞI

Toplam Puan:...

1. Kuruluşun imalat süreçlerindeki istasyonların; **küçük partiler halinde, kabul edilebilir seviyede ara stokla ve düzgün malzeme akışını destekleyecek şekilde** yerleştirilme düzeyi nedir? (Saha ziyareti gözlemlerine ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiçbir istasyon küçük partiler halinde, kabul edilebilir seviyede ara stokla ve düzgün malzeme akışını destekleyecek şekilde yerleştirilmemiş	Bazı istasyonlar küçük partiler halinde, kabul edilebilir seviyede ara stokla ve düzgün malzeme akışını destekleyecek şekilde yerleştirilmiş	Çoğu istasyon küçük partiler halinde, kabul edilebilir seviyede ara stokla ve düzgün malzeme akışını destekleyecek şekilde yerleştirilmiş	Neredeyse tüm istasyonlar küçük partiler halinde, kabul edilebilir seviyede ara stokla ve düzgün malzeme akışını destekleyecek şekilde yerleştirilmiş

2. Kuruluşun imalat süreçlerinde; ayar ve hazırlık gerektiren makine, iş merkezi, imalat hattı ve istasyonlarındaki **model değişim (setup) sürelerini kısaltmaya yönelik uygulamaların (SMED vb.)** varlık ve kullanım düzeyi nedir? (Kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Uygulamalar hiç kullanılmamakta	Uygulamalar oldukça sınırlı düzeyde kullanılmakta	Uygulamalar kısmen yeterli düzeyde kullanılmakta	Uygulamalar yeterli düzeyde kullanılmakta

3. Kuruluşun **ana üretim çizelgelerinde** ürün bazlı parti büyüklüklerinin, ürün karmalarının ve ürün sıralamalarının **müşteri talepleri ile örtüşme düzeyi** nedir? (Kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Üretimde çizelgeleme kullanılmamakta	Ana üretim çizelgeleri müşteri talepleriyle	Ana üretim çizelgeleri kısmen müşteri	Ana üretim çizelgeleri neredeyse tüm müşteri

4. Kuruluşun müşteri taleplerinin ürün ve ürün grubu bazında **segmentasyona tabi tutularak** takt zamanı analizlerinin gerçekleştirilme düzeyi nedir? (Kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Takt analizi hiç yapılmamakta	Müşteri talepleri segmentasyona tabi tutulmadan takt analizi yapılmakta	Müşteri talepleri kısmen segmentasyona tabi tutularak takt analizi yapılmakta	Müşteri talepleri neredeyse tüm ürün ve ürün grubu bazında segmentasyona tabi tutularak takt analizi yapılmakta

5. Kuruluşun üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek kalite hatalarını önlemeye yönelik **kontrol araçlarının** (Poka Yoke vb.) varlık ve kullanım düzeyi nedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Kontrol araçları hiç kullanılmamakta	Kontrol araçları sınırlı düzeyde kullanılmakta	Kontrol araçları kısmen yeterli düzeyde kullanılmakta	Kontrol araçları yeterli düzeyde kullanılmakta

6. Süreçlerdeki **anormalliklerin** bir sonraki süreçte geçmeden tespit edilebilme düzeyi nedir? (Hataların nerede tespit edildiği dikkate alınarak kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiçbir süreçteki anormallikler bir sonraki süreçte geçmeden tespit edilememekte	Bazı süreçlerdeki anormallikler bir sonraki süreçte geçmeden tespit edilmekte	Çoğu süreçteki anormallikler bir sonraki süreçte geçmeden tespit edilmekte	Neredeyse tüm süreçlerdeki anormallikler bir sonraki süreçte geçmeden tespit edilmekte

7. Süreçte bir anormallik tespit edildiğinde **kök nedenin tespit edilerek giderilme düzeyi** nedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Tespit edilen hata, giderilmekte ama kök neden tespit edilmemekte	Kök nedenler nadiren tespit edilmekte ve giderilmekte	Çoğu durumda kök nedenler tespit edilmekte ve giderilmekte	Neredeyse her seferinde kök nedenler tespit edilmekte ve giderilmekte

8. Çalışma alanları ve iş istasyonlarında 5S ne düzeyde uygulanmaktadır? (Saha ziyareti gözlemlerine ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
İş istasyonları düzenli ve temiz değil, aramlan hemen bulunamamakta	5S kısmen kullanılmakta	Çalışma alanları ve iş istasyonlarının büyük bölümünde 5S kullanılmakta	İş istasyonlarında 5S kullanılmakta olup görsel öğelerle (5S kırmızı kart, 5S poster, 5S proje panosu vb.) desteklenmekte

9. Kuruluştaki makine ve ekipmanların bakımında benimsenen yöntem, **Toplam Verimli Bakım** yaklaşımına ne derece yakındır? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Makine ve ekipmanlara, sadece arıza ortaya çıktığında bakım yapılmakta	Periyodik ve önleyici bakım uygulanmakta	Toplam Verimli Bakım, makine ve ekipmanların bir bölümü için kullanılmakta	Toplam Verimli Bakım, makine ve ekipmanların geneli için kullanılmakta

E. ÇEKME SİSTEMİ

Toplam Puan:....

1. Kuruluşun üretim sisteminde yer alan süreçlerde üretimin başlamasını tetikleyen iş emirlerinin **bir sonraki süreç (müşteri süreç)** tarafından tetiklenme düzeyi nedir? (Kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Her süreç için iş emri tanımlanmamış	Süreçler için tanımlanan iş emirleri, sonraki süreç tarafından tetiklenmemekte	Süreçlerin bir kısmında tanımlanan iş emirleri sonraki süreç tarafından tetiklenmekte	Neredeyse tüm süreçler için tanımlanan iş emirleri sonraki süreç tarafından tetiklenmekte

2. Tesis yerleşimi, organizasyon yapısı ve teknik alt yapı, **Tam Zamanında Üretim** yaklaşımını ne düzeyde desteklemektedir? (Saha ziyareti gözlemlerine ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiç desteklememekte	Sınırlı düzeyde desteklemekte	Kısmen yeterli düzeyde desteklemekte	Yeterli düzeyde desteklemekte

3. Üretim planlama faaliyetlerinin, **müşteri talebi doğrultusunda** yürütülme ve takip edilme düzeyi nedir? (Kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Müşteri talebine bağlı planlama bulunmamakta	Müşteri talebine bağlı planlama faaliyetleri oldukça sınırlı düzeyde bulunmakta	Müşteri talebine bağlı planlama faaliyetleri kısmen yeterli düzeyde bulunmakta	Müşteri talebine bağlı planlama faaliyetleri yeterli düzeyde bulunmakta

F. SÜREKLİ İYİLEŞTİRME

Toplam Puan:....

1. Yönetim, sürekli iyileştirme kültürünü teşvik etmek ve sürdürmek için **araçlar** (A3 ekipleri, Asakai toplantıları, düzenli eğitimler, Kaizen kutusu, ödül sistemi vb.) kullanmakta mıdır? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak, saha ziyareti gözlemlerine ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Herhangi bir araç kullanılmamakta	Oldukça sınırlı düzeyde araç kullanılmakta	Kısmen yeterli düzeyde araç kullanılmakta	Yeterli düzeyde araç kullanılmakta

2. Yönetim, sürekli iyileştirme kültürüne **çalışanları dahil etmekte** ve katkıda bulunan çalışanları **teşvik etmekte** midir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak, saha ziyareti gözlemlerine ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Çalışanlar, iyileştirme kültürünün bir parçası değil ve bunun için teşvik edilmemekte	Çalışanlar, iyileştirme kültürünün sınırlı düzeyde bir parçası ve bunun için yönetim tarafından teşvik edilmemekte	Çalışanlar, iyileştirme kültürünün bir parçası ve sınırlı düzeyde teşvik edilmekte	Çalışanlar, iyileştirme kültürünün bir parçası ve ödüllendirme sistemi gibi bir teşvik mekanizması dahilinde teşvik edilmekte

3. Problem çözme faaliyetleri bir sistem dahilinde yürütülmekte midir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıtı dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Problemler kayıt altına alınmamakta ve çözümü için sistematik bir yaklaşım uygulanmamakta	Problemler kayıt altına alınmakta ancak bir sistem dahilinde çözüme kavuşturulmamakta	Problemler kayıt altına alınmakta ve kısmen sistematik bir yaklaşımla çözülmekte	Problemler kayıt altına alınmakta, sistematik bir yaklaşımla (Balık kılçığı grafiği, PUKÖ döngüsü vb.) kök nedenleri tespit edilerek kalıcı şekilde çözülmekte

4. Kuruluş süreç denetimi yaparak bunun sonucunda iyileştirici eylemleri belirleyip uygulamakta mıdır? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Süreç akışları mevcut değil ve süreç sahiplerinin yetki/ sorumluluk alanı ve faaliyetleri tanımlanmamış	Süreç akışları mevcut ancak net ve ölçülebilir hedefler ile süreç denetimi yapılmamakta	Süreç akışları mevcut, yetki ve sorumluluk alanları belirli. Düzenli olarak denetim yapılmakta ancak çıktılarına göre sürekli iyileştirme uygulanmakta	Süreç akışları mevcut, yetki ve sorumluluk alanları belirli. Düzenli olarak denetim yapılmakta ve çıktılar sonucunda sürekli iyileştirme uygulanmakta

5. Ana ve alt süreçlere ilişkin Anahtar Performans Göstergelerinin tanımlanma ve bunlara göre aksiyon alınma düzeyi nedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Net ve ölçülebilir göstergeler tanımlanmamış	Göstergeler tanımlanmış ancak bunlara göre aksiyon alınmamakta	Ana göstergeler tanımlanarak aksiyon alınmakta ancak alt göstergeler tanımlanmamış	Ana ve alt süreçler bazında göstergeler tanımlanmış ve bunlara göre aksiyon alınmakta

6. Kuruluşta görsel yönetim yaklaşımının (Grafikler, çizgiler, panolar vb. görsel yönetim araç ve tekniklerinin kullanımı) benimsenme düzeyi nedir? (Saha ziyareti gözlemlerine dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
İşletmede görsel yönetim benimsenmemiş	İşletmede görsel yönetim oldukça sınırlı düzeyde benimsenmiş	İşletmede görsel yönetim kısmen yeterli düzeyde benimsenmiş	İşletmede görsel yönetim yeterli düzeyde benimsenmiş

7. Kuruluşun üretim süreçlerinde dijital uygulamalara geçiş seviyesi ne düzeydedir? (Birimlerle yapılan görüşmeler dikkate alınarak, saha ziyareti gözlemlerine ve kanıta dayalı olarak değerlendirilecektir.)

0	1	2	3
Hiçbir üretim sürecine ilişkin veri toplanmamakta	Üretim sürecine dair veri toplanmakta ancak bu veriler işlenemeyen veri kategorisinde	Üretim sürecine dair veri toplanmakta ve bu veriler analiz edilebilen veriler kategorisinde	Üretim sürecine dair veri toplanmakta ve bu veriler karar almaya yönelik öneri oluşturan veri kategorisinde bulunmakta

Bütüncül bir bakış açısıyla bakıldığında işletmenin yalın olgunluk seviyesini nasıl değerlendirirsiniz? (Danışmanın Genel Kanaatı)				
0	1	2	3	4
Hiç	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Yeterli	Yüksek

Toplam Puan	
--------------------	------

EK 2: Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli

Sayın Katılımcılar,

Elinize ulaşmış bulunan anket formu, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı İşletme Programı bünyesinde gerçekleşen Doktora tezimin bünyesinde şirketinizin Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini ölçmeyi amaçlayan bir ankettir.

9 boyut ve 33 öğeden oluşan bu modeli kendi başınıza uygulayarak Endüstri 4.0'a geçişte hangi seviyede olduğunuzu görebilir, zayıf olduğunuz noktalarda ilerleme kaydedebilmek için yol haritası belirleyebilirsiniz.

Verilerin analizinde yanıtlanmamış bir soru ciddi problemlere yol açacağı için, lütfen tüm soruları cevaplandırmaya çalışınız. Anket, firmanızda yönetim süreçlerinde yer alan ve süreçler ile ilgili bilgilere sahip bir yönetici veya uzman tarafından doldurulabilecek şekilde tasarlanmıştır. Eğer anketi şahsen doldurmanız mümkün değilse, konu ile ilgili bilgiye sahip bir meslektaşınızın doldurması da yeterli olacaktır. Doktora tezimin tamamlanmasında çok büyük katkı sağlayacağı için araştırmaya katılımınız ve kıymetli vaktiniz için şimdiden çok teşekkür ederim. Anket ile ilgili bir sorunuz varsa benimle (bihterbiceroyamak@hotmail.com) veya Danışmanım Prof. Dr. Haluk SOYUER (haluk.soyuer@ege.edu.tr) ile iletişime geçebilirsiniz.

Katılımcıların Özellikleri

Katılımcının Adı:

Firmadaki pozisyonu:

2. Katılımcı varsa:

Katılımcının Adı:

Firmadaki pozisyonu:

Demografik Sorular

1. Şirketinizde kaç çalışan bulunmaktadır?
2. Şirketiniz hangi sektörde faaliyet göstermektedir?

Model Soruları

1. Şirketinizin Endüstri 4.0'a geçişte yol haritası vardır.

0() 1() 2() 3() 4()

2. Şirketinizde Yalnız Üretim/Yönetim sistemi uygulanmaktadır.

Açıklama: Kaizen, 5S, Yerinde Kalite, Tam zamanlı üretim, SMED vb.

0() 1() 2() 3() 4()

3. Şirketinizde Çevik Üretim sistemi uygulanmaktadır.

Açıklama: Değişen Pazar koşullarına esnek bir şekilde adapte olabilme yeteneğidir. Tedarikçi geliştirme, ürün hayat eğrisi takibi, üretim süreçleri esnekliği gibi kavramları içermektedir.

0() 1() 2() 3() 4()

4. Şirketinizde İnovasyon Yönetimi uygulanmaktadır.

Açıklama: Endüstri 4.0 yeni iş modellerini beraberinde getirmektedir. Şirketin yeni iş modelleri geliştirmesi ve adapte olabilme yeteneği analiz edilmektedir.

0() 1() 2() 3() 4()

5. Endüstri 4.0'a geçiş için belirlediğiniz bir bütçe ve finansman kaynağı vardır.

0() 1() 2() 3() 4()

6. Şirketinizde Tedarik Zinciri Yönetimi uygulanmaktadır.

Açıklama: Tedarik ve lojistik süreçlerinin müşteri taleplerine bağlı olarak hızlı bir şekilde adapte olabilmesidir. Talep planlama, sipariş yönetimi, üretim yönetimi gibi süreçlerin koordine olmasıdır. Stratejik / operasyonel satın alma, üretim yönetimi, depolama ve sevkiyat gibi ana süreçlerin etkin bir şekilde koordine edilip yönetilmesine odaklanan bir yapıdır.

0() 1() 2() 3() 4()

7. Endüstri 4.0'a geçiş için belirlediğiniz bir ekip vardır.

0() 1() 2() 3() 4()

8. Çalışanlarınızın Bilgi ve İletişim Teknolojileri alanında yetkindirler.

Açıklama: Yazılım kullanma, veri analizi yapma, veri tabanları oluşturma, cihazları etkin kullanma

0() 1() 2() 3() 4()

9. Şirketinizde bulunan Bilgi-İşlem ekibi alanında uzman kişilerden oluşmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

10. Şirketinizde liderlik rolünü üstlenecek kişi/kişiler mevcuttur.

0() 1() 2() 3() 4()

11. Üretim süreçlerinde makine veya insanlardan veri toplanmaktadır.

Açıklama: El terminali, PLC veya makinelerin dahilinde olan programlar aracılığıyla

0() 1() 2() 3() 4()

12. Üretimde otonom sistemlerden faydalanılmaktadır.

Açıklama: Paketleme robotları, montaj robotları, yazılımsal robotlar vb.

0() 1() 2() 3() 4()

13. Fabrikanızın/Üretim hattınızın dijital bir modeli vardır.

Açıklama: Lojistik, üretim, tedarik zinciri, malzeme akışı gibi alanlarda kullanılan simülasyonlar.

0() 1() 2() 3() 4()

14. Fabrikada Artırılmış Gerçeklik (AR)/Sanal Gerçeklik (VR) uygulamalarından yararlanılmaktadır.

Açıklama: Bakımda kullanılan AR modülü, iş güvenliği ve iş başı eğitimlerinde VR uygulamaları vb.

0() 1() 2() 3() 4()

15. Üretime geçmeden önce hızlı prototip/numune üretme çalışmaları

yapılmaktadır. *Açıklama: 3-D yazıcılar ve diğer katmanlı ve eklemeli (layer-by-layer) üretim teknikleri*

0() 1() 2() 3() 4()

16. Bilgisayar destekli üretim ve tasarım teknikleri uygulanmaktadır.

Açıklama: CAD/CAM, desen tasarımı, modelleme

0() 1() 2() 3() 4()

17. Şirketinizde üretim yazılımları kullanılmaktadır.

Açıklama: ERP, MRP, MES, CRM ve diğer üretim/yönetim programları

0() 1() 2() 3() 4()

18. Fabrikanızda/Üretim hattınızda kablosuz veya kablolu haberleşme sistemleri uygulanmaktadır.

Açıklama: Kablosuz erişim noktaları, Ortak Ağ vb.

0() 1() 2() 3() 4()

19. Şirketinizde mobil teknolojilerden faydalanılmaktadır.

Açıklama: Üretimde kullanılan el terminalleri, tablet gibi cihazlar. Satış veya sonraki süreçlerde kullanılan akıllı telefon uygulamaları

0() 1() 2() 3() 4()

20. Üretim süreçlerinde RFID, barkod veya NFC teknolojileri uygulanmaktadır.

Açıklama: Üründen üretim sistemlerine otonom şekilde veri akışı sağlanmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

21. Müşterilerle yatay entegrasyon vardır.

Açıklama: ERP sistemi müşteriyle koordine bir şekilde çalışmaktadır. Ör: Müşterinin deposunda malzeme eksildiğinde otomatik sipariş açılması

0() 1() 2() 3() 4()

22. Tedarikçilerle yatay entegrasyon vardır.

Açıklama: ERP sistemi tedarikçiyle koordine bir şekilde çalışmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

23. Departmanlar arası dikey entegrasyon vardır.

Açıklama: Üretim, satış, lojistik gibi birimler yazılım sistemleri üzerinden entegre şekilde çalışmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

24. Makine-Makine haberleşmesi uygulanmaktadır.

Açıklama: Makineler ve üretim sistemleri birbirleriyle haberleşmektedir.

0() 1() 2() 3() 4()

25. Yarı mamul veya son üründen veri akışı sağlanmaktadır.

Açıklama: Ürünün üretimde bulunduğu iş istasyonuna veri akışı sağlamaktadır.

Üretimde takip edilebilirlik vardır.

0() 1() 2() 3() 4()

26. Ürüne eklenen ek fonksiyonellikler vardır.

Açıklama: Ürün hafızası, konum belirleme, kendi kendine raporlama gibi ek özellikler vardır.

0() 1() 2() 3() 4()

27. Veri güvenliği politikası uygulanmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

28. Olası bir siber saldırıda uygulanması gereken adımlar bellidir.

0() 1() 2() 3() 4() |

29. Yedekleme ve kurtarma sistemi uygulanmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

30. Veri güvenliğini sağlamada yazılımlar uygulanmaktadır.

Açıklama: Güvenlik duvarı, Anti-virüs, mobil cihaz yönetimi, Active Directory vb.

0() 1() 2() 3() 4()

31. Veriler bulut ortamında tutulmaktadır.

Açıklama: Şirket dışında bulunan İnternet üzerinden erişim sağlanan dış sunucularda bulunmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

32. Şirketin faaliyetlerinden elde edilen veriler analiz edilmektedir.

Açıklama: Ör: Müşteriye ait veriler, satış verileri üretim optimizasyonu için kullanılmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()

33. Veriler şirkette bulunan sunucularda tutulmaktadır.

Açıklama: Elde edilen bütün veriler yerelde bulunan fiziksel sunucularda tutulmaktadır.

0() 1() 2() 3() 4()



EK 3: Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli'nin Seviyeleri

Seviye 0 Başlangıç: Şirketin Endüstri 4.0 şartlarını sağlamak için hiç çabası yoktur veya henüz yeni başlama kararı almıştır. Endüstri 4.0 konseptiyle alakalı çok az bilgisi olabilmekle birlikte, gerekli dönüşümü sağlayabilmek adına herhangi bir strateji bulunmamaktadır. Teknolojik altyapı yetersiz olup, ağın tamamı veya bir bölümü siber saldırılara açıktır. ERP ve MES yapıları mevcut değildir veya üretimle entegrasyon konusunda eksik kalmaktadır.

Seviye 1 Vizyon: Bu aşamada şirket Endüstri 4.0'a geçmek için bir strateji ve yol haritası oluşturmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 dönüşümünde öncü olacak ekip belirlenmiş, lider ataması yapılmıştır. Söz konusu stratejiyi uygulamak için gerekli bütçe belirlenmiş ve olası finansal araçlardan yararlanmak için planlama yapılmıştır. Şirket çalışanlarının IT becerilerini artırmak ve çalışanlara yeni yetkinlikler kazandırmak için eğitim planı yapılmıştır. Veri güvenliği politikası oluşturulmaya başlanmıştır. Akıllı üretim vizyonu ile adapte edebilecek teknolojiler belirlenmeye başlanmıştır.

Seviye 2 Dijitalleşme: Üretim başta olmak üzere şirketin farklı bölümlerinde dijital dönüşüm başlamıştır. ERP ve MES entegrasyonlarının tamamlanmasıyla birlikte üretim sistemlerinde iyileştirmeler yaşanmaktadır. Üretimde insanlardan ve makinalardan veri toplanmaya başlanmış olup; henüz bu aşamada aralarında bir iş birliği söz konusu değildir. Önceki aşamada belirlenen bütçe ve finansmana göre BİT altyapısını geliştirmek için gerekli yatırımlar yapılmaktadır. Veri güvenliği yazılımlarının kurulumuna başlanmıştır. Fabrikanın dijital modelinin oluşturulmasıyla akıllı üretim teknikleri üretime adapte edilmeye başlanmıştır.

Seviye 3 Entegrasyon: Bu aşamada dijitalleşme süreçleri tamamlanmış departmanlar arasında dikey entegrasyon kurulmaya başlamıştır. Şirket tedarikçi ve müşterileriyle görüşerek onların dijitalleşmesi konusunda katkıda bulunup, olası yatay entegrasyon girişimleri başlatılmıştır.

Seviye 4 Optimizasyon: Endüstri 4.0 kavramı tamamıyla uygulanmış olup dijital dönüşüm tamamlanmıştır. Bütün siber güvenlik yazılımları devrede olup, olası açık noktalara karşı penetrasyon testi gerçekleştirilmiştir. ERP ve MES kurulumları komple gerçekleşmiş olup fabrikadaki makinelerden, ürünlere her türlü nesne birbiriyle haberleşir durumdadır. AR/VR veya 3-D yazıcı gibi gelişmiş üretim teknikleri adapte edilmiş olup, üretimde simülasyonlardan yararlanılmaktadır. Şirket içi entegrasyonla birlikte tedarikçi ve müşterilerle olan dijital entegrasyonu daha ileriye taşımak için optimizasyon çalışmaları başlamıştır. Olası kablosuz ağ haberleşmesindeki arızaların önüne geçmek ve sistemin haberleşme protokollerini iyileştirmek için donanımsal optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır.

EK 4: Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Boyutları ve Olgunluk Noktaları

Boyutlar	Kısaltmalar	Olgunluk Öğeleri
E1: Strateji ve Organizasyon	E1.1	Yol Haritası
	E1.2	Yalın Üretim
	E1.3	Çevik Üretim
	E1.4	İnovasyon Yönetimi
	E1.5	Finansman ve Bütçe
E2: Çalışanlar	E1.6	Tedarik Zinciri Yönetimi
	E2.1	Endüstri 4.0 Ekibi
	E2.2	Bilgi ve İletişim Teknolojileri Yetkinliği
	E2.3	IT Ekibi
	E2.4	Liderlik Becerisi
E3: Akıllı Üretim	E3.1	Makine ve İnsanlardan Veri Toplanması
	E3.2	Otonom Sistemler
	E3.3	Dijital Modelleme
	E3.4	AR ve VR Teknolojileri
E4: Üretim Teknolojileri ve Sistemleri	E4.1	Hızlı Prototip Üretme (3-D Yazıcılar ve diğer Eklemeli Üretim Teknolojileri)
	E4.2	Bilgisayar Destekli Üretim ve Tasarım
	E4.3	Üretim Yazılımları(İmalat Yürütme Sistemi (MES), Kurumsal Kaynak Planlama(ERP) vb.)
E5 : Bilgi Ve İletişim Teknolojileri Altyapısı	E5.1	Haberleşme ve Ağ Sistemleri
	E5.2	Mobil Teknolojiler
	E5.3	RFID, NFC ve Barkod Kullanımı
E6: Dikey ve Yatay Entegrasyon	E6.1	Müşterilerle Yatay Entegrasyon
	E6.2	Tedarikçilerle Yatay Entegrasyon
	E6.3	Departmanlar arası Dikey Entegrasyon
E7: Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIOT)	E7.1	Nesneler arası etkileşim
	E7.2	Üründen veri akışı sağlanması
	E7.3	Ürüne eklenen ek fonksiyonellikler(yer belirleme,kendi kendine raporlama, entegrasyon, ürün hafızası vb.
E8: Veri Güvenliği	E8.1	Veri Güvenliği Politikası
	E8.2	Siber suçların tehdidi
	E8.3	Back-up Sistemi
	E8.4	Veri Güvenliği Yazılımları
E9: Veri İşleme ve Depolama	E9.1	Bulut Bilişim
	E9.2	Verilerin Analizi
	E9.3	Kendi Sunucularında Depolama

EK 5: Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Boyutu ve Öge Ağırlıkları

Boyutlar	Boyut Ağırlıkları (g)	Olgunluk Öğeleri	Öge Ağırlıkları(w)	Toplam Ağırlıklar(t) [gxw]
E1	0,247	E1.1	0,347	0,086
		E1.2	0,115	0,029
		E1.3	0,111	0,027
		E1.4	0,083	0,020
		E1.5	0,226	0,056
		E1.6	0,118	0,029
E2	0,150	E2.1	0,331	0,050
		E2.2	0,248	0,037
		E2.3	0,204	0,031
		E2.4	0,217	0,032
E3	0,085	E3.1	0,540	0,046
		E3.2	0,247	0,021
		E3.3	0,108	0,009
		E3.4	0,105	0,009
E4	0,116	E4.1	0,275	0,032
		E4.2	0,192	0,022
		E4.3	0,533	0,062
E5	0,104	E5.1	0,537	0,056
		E5.2	0,254	0,027
		E5.3	0,209	0,022
E6	0,072	E6.1	0,293	0,021
		E6.2	0,294	0,021
		E6.3	0,413	0,030
E7	0,058	E7.1	0,379	0,022
		E7.2	0,419	0,024
		E7.3	0,202	0,012
E8	0,076	E8.1	0,553	0,042
		E8.2	0,143	0,011
		E8.3	0,174	0,013
		E8.4	0,130	0,010
E9	0,090	E9.1	0,482	0,044
		E9.2	0,430	0,039
		E9.3	0,088	0,008

EK 6: Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Analizi Sonuçları

Sorular	Boyutlar	Boyutun Adı	Olgunluk Öğeleri	Olgunluk Öğeleri	Öğe Ağırlıkları (w)	Skor (S)	Boyut Puanı (M _D)= w x S	Toplam Boyut Puanı MD
1	E1	Strateji ve Organizasyon	E 1.1.	Yol Haritası	0,347	2	0,694	3,029
2			E 1.2.	Yalın Üretim	0,115	4	0,460	
3			E 1.3.	Çevik Üretim	0,111	3	0,333	
4			E 1.4.	İnovasyon Yönetimi	0,083	2	0,166	
5			E 1.5.	Finansman ve Bütçe	0,226	4	0,904	
6			E 1.6.	Tedarik Zinciri Yönetimi	0,118	4	0,472	
7	E2	Çalışanlar	E.2.1.	Endüstri 4.0 Ekibi	0,331	2	0,662	2,873
8			E 2.2.	Bilgi ve İletişim Teknolojileri Yetkinliği	0,248	3	0,744	
9			E 2.3.	IT Ekibi	0,204	4	0,816	
10			E 2.4.	Liderlik Becerisi	0,217	3	0,651	
11	E3	Akıllı Üretim	E 3.1.	Makine ve İnsanlardan Veri Toplanması	0,54	3	1,620	2,540
12			E 3.2.	Otonom Sistemler	0,247	2	0,494	
13			E 3.3.	Dijital Modelleme	0,108	2	0,216	
14			E 3.4.	AR ve VR Teknolojileri	0,105	2	0,210	
15	E4	Üretim Teknolojileri ve Sistemleri	E 4.1.	Hızlı Prototip Üretim (3-D Yazıcılar ve diğer Eklemeli Üretim Teknolojileri)	0,275	4	1,100	4,000

16			E 4.2.	Bilgisayar Destekli Üretim ve Tasarım	0,192	4	0,768	
17			E 4.3.	Üretim Yazılımları	0,533	4	2,132	
18	E5	Bilgi ve İletişim Teknolojileri Alt Yapısı	E 5.1.	Haberleşme ve Ağ Sistemleri	0,537	4	2,148	3,791
19			E 5.2.	Mobil Teknolojiler	0,254	4	1,016	
20			E 5.3.	RFID, NFC ve Barkod Kullanımı	0,209	3	0,627	
21	E6	Dikey ve Yatay Entegrasyon	E 6.1.	Müşterilerle Yatay Entegrasyon	0,293	1	0,293	1,532
22			E 6.2.	Tedarikçilerle Yatay Entegrasyon	0,294	0	0,000	
23			E 6.3.	Departmanlar arası Dikey Entegrasyon	0,413	3	1,239	
24	E7	Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT)	E 7.1.	Nesneler arası etkileşim	0,379	2	0,758	2,434
25			E 7.2.	Üründen veri akışı sağlanması	0,419	4	1,676	
26			E 7.3.	Ürüne eklenen ek fonksiyonellikler(yer belirleme,kendi kendine raporlama, entegrasyon, ürün hafızası vb.	0,202	0	0,000	
27	E8	Veri Güvenli	E 8.1.	Veri Güvenliği	0,553	3	1,659	3,447

		ği		Politikası				
28			E 8.2.	Siber suçların tehdidi	0,143	4	0,572	
29			E 8.3.	Back-up Sistemi	0,174	4	0,696	
30			E 8.4.	Veri Güvenliği Yazılımları	0,13	4	0,520	
31			E 9.1.	Bulut Bilişim	0,482	4	1,928	
32			E 9.2.	Verilerin Analizi	0,43	3	1,290	
33	E9	Veri İşleme ve Depolama	E 9.3.	Kendi Sunucularında Depolama	0,088	4	0,352	3,570
Toplam Endüstri 4.0 İndeksi (MT)								3,024

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışması sürecinde bana yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Haluk Soyuer'e, jüri hocalarım Prof. Dr. Murat Kocamaz, Doç. Dr. Aydın Koçak, Prof. Dr. Kaan Yaralıoğlu ve Doç. Dr. Mustafa Gerşil'e teşekkür ediyorum. Düşüncelerini paylaşarak tezin şekillenmesindeki destekleriyle Doç. Dr. Lütfi Apilioğulları, Cemre Selcen, Vural Kömürcü, Emre Mestandoğan, Murat Kocamaz, Hasan Kemahli tezin yazımının bitmesinin ardından biçim ve içerik olarak son şeklini almasına büyük destek veren Dr. Öğr. Üyesi Deniz Merdin'e, değerli vakitlerini ayırarak tez çalışmamıza verdikleri mülakatla destek olan Gökhan Yakan, Tarık Dizer, Muhammed Taha Çetiner, Burcu Üz Toska, Rasim Yılmaz, Adnan Kaya, Nevzat Kumrular, Cüneyt Karadağ, Nasuf Mutlu'ya, Muharrem Günister, Atanur İz, Hakan Topal, Hakan Civan ve Bilal Şerefhanoglu'na çok teşekkür ederim. Nitel araştırma sürecinde desteklerinden dolayı Ferište Sönme'e, tez döneminde zaman zaman artan tez dışı işlerin yürütülmesinde destekleriyle beni rahatlatan Öğr. Gör. Zehra Gülcan Madran, Dr. Öğr. Gör. Fatma Tombak ve Ömer Faruk Akçil'e en samimi duygularıyla teşekkür ediyorum.

Ayrıca bugünlere ulaşmamı sağlayan aileme ve özellikle çalışma sürecinin zorluklarına ortak olan ve karşılığını veremeyeceğim fedakârlıklarda bulunan kızım Ekin Emilya'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Eğitim Bilgisi:

Ön Lisans ve Lisans:

- 2004- 2005 NOVA Community College, Virginia U.S.A.
- 2006- 2009 FHDW Hannover Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Programı
- 1.Tez "Kalite Belgelendirmenin Ürün Algısı ve Pazarlama Başarısı Üzerindeki Önemi"
2. Tez "It`s Mathai Group Örneğinde Kozmetik Sektöründe Yalın Yönetim Uygulaması"

Yüksek Lisans:

- 2012- 2015 Adnan Menderes Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Programı
- Tez: "Altı Sigma Yönteminin Zeytinyağı Sektöründe bir Uygulaması"

Doktora:

- 2019- 2024 Ege Üniversitesi, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Programı