



ANKARA

HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 VE
ARAÇLARI İLE İLİŞKİSİ VE SAVUNMA SANAYİİ'NDE
BİR UYGULAMA**

Ayça Beyza ALARSLAN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İŞLETME ANABİLİM DALI

ÜRETİM YÖNETİMİ BİLİM DALI

OCAK 2023



**YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 VE ARAÇLARI İLE
İLİŞKİSİ VE SAVUNMA SANAYİİ'NDE BİR UYGULAMA**

Ayça Beyza ALARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ BİLİM DALI**

ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OCAK 2023

ETİK BEYAN

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

Ayça Beyza ALARSLAN

....../.../2023

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 VE ARAÇLARI İLE İLİŞKİSİ VE
SAVUNMA SANAYİİ'NDE BİR UYGULAMA
(Yüksek Lisans)

Ayça Beyza ALARSLAN

ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Endüstri 4.0 kavramı, teknolojinin hızla gelişmesi ile üretim faaliyetinin her aşamasında dijitalleşmenin benimsenerek iş süreçlerinin iyileştirilmesidir. Yalın üretim terimi, ürünün üretilmesinden teslimatına kadar gerçekleştirilen iş süreçlerin bütününde bütün israfların ortadan kaldırılmasıdır. Üretim sürecinde yalın üretim tekniklerinin benimsenerek israfların ortadan kaldırılması ve bu tekniklere Endüstri 4.0'ın ile sunulan araçların entegre edilmesi işletmelere birçok avantaj sağlayacaktır. Bu avantajlar, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması, süreçlerin iyileştirilmesi bu sayede verimliliğin artırılması ve müşteri taleplerine hızlı şekilde karşılayabilme olarak sıralanabilir. Tez çalışmasının temeli, Endüstri 4.0 ve araçları ile yalın üretim teknikleri arasındaki ilişkinin varlığının ortaya çıkarılmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada yalın üretim sistemi ve teknikleri ile Endüstri 4.0 ve araçlarına yönelik literatür incelenmiştir Aynı zamanda Türkiye'nin Savunma Sanayii sektöründe yer alan Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren işletmelere yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 ve araçlarını uygulama düzeylerini ölçmek, bu iki kavram arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla anket uygulanmıştır. Çalışmada yalın üretim ve Endüstri 4.0'a yönelik farkındalığın artması ve Savunma Sanayii sektörüne olumlu yönde katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bilim Kodu	: 118708, 118709
Anahtar Kelimeler	: Yalın Üretim, Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm
Sayfa Adedi	: 169
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ

THE RELATIONSHIP OF LEAN MANUFACTURING TECHNIQUES WITH
INDUSTRY 4.0 AND ITS TOOLS AND AN APPLICATION IN THE DEFENSE
INDUSTRY
(M.Sc Thesis)

Ayça Beyza ALARSLAN

ANKARA HACI BAYRAM VELİ UNIVERSITY
THE INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2023

ABSTRACT

The concept of Industry 4.0 is the improvement of business processes by adopting digitalization at every stage of production activity with the rapid development of technology. The term lean manufacturing is the elimination of all wastes in the entirety of the business processes carried out from the production of the product to its delivery. By adopting lean production techniques in the production process, eliminating waste and integrating the tools offered with Industry 4.0 to these techniques will provide many advantages to enterprises. These advantages can be listed as reducing production costs, increasing customer satisfaction, improving processes, thereby increasing efficiency and being able to meet customer demands quickly. The basis of the dissertation work is based on Deciphering the existence of the relationship between Industry 4.0 and its tools and lean production techniques. In this study, we examined the literature for vehicles with Industry 4.0 and lean production techniques in the system and at the same time, Turkey's defense industry in the sector of Electro-optic Industry 4.0 and lean manufacturing techniques and tools for businesses that operate in the area to assess the application level, completed the questionnaire in order to reveal the relationship between these two concepts. In the study, it is aimed to increase awareness about lean production and Industry 4.0 and to contribute positively to the Defense Industry sector.

Science Coce : 118708, 118709
Key Words : Lean Manufacturing, Industry 4.0, Digital Transformation
Page .Number : 169
Supervisor : Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLoların LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. YALIN ÜRETİM	5
2.1. Yalın Üretim Tanımı	5
2.2. Yalın Üretimin Tarihi Gelişimi	6
2.3. Yalın Üretim İlkeleri	10
2.4. Yalın Üretim Teknikleri	17
2.4.1. Değer Akış Haritalama	18
2.4.2. 5S	22
2.4.3. Kanban	24
2.4.4. Toplam Verimli Bakım (TVB)	26
2.4.5. Andon Sistemi.....	29
2.4.6. Jidoka (Otonomasyon).....	30
2.4.7. Heijunka (Sıralı Üretim-Üretim Seviyelendirme)	32
2.4.8. Poka-Yoke	33
2.4.9. Tek Parça Akışı ve Hücresel İmalat	35
2.4.10. Shojinka- U-tipi Üretim Hattı	38
2.4.11. SMED (Single Minute Exchange of Dies-Tekli Dakikalarda Kalıp Değişirme).....	39
2.4.12. Tam Zamanında Üretim (TZÜ)	40

2.4.13. Kaizen	41
3. ENDÜSTRİ 4.0 VE TEKNOLOJİLERİ	45
3.1. Sanayi Devrimi Tarihsel Arka Planı.....	45
3.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0).....	46
3.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0).....	48
3.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0).....	50
3.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)	53
3.2. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ve Araçları.....	56
3.2.1. Büyük Veri ve Veri Analitiği.....	56
3.2.2 Bulut Bilişim Teknolojisi.....	59
3.2.3. Nesnelerin İnterneti-Internet of Things (IoT)	62
3.2.4.Eklemeli Üretim (3D Yazıcılar)	65
3.2.5. İleri Robotik Teknolojisi.....	67
3.2.6.Simülasyon Teknolojisi	69
3.2.7.Siber Güvenlik Teknolojisi	70
3.2.8.Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu	72
3.2.9.Artırılmış Gerçeklik.....	74
3.2.10. RFID Teknolojisi	76
3.2.11.Sensör Teknolojisi	77
3.2.12.Yapay Zekâ Teknolojisi.....	79
3.3. Dördüncü Sanayi Devriminin Avantajları ve Zorlukları.....	80
3.4. Dünyada ve Türkiye’de Endüstri 4.0.....	84
3.4.1. Dünyada Dijital Olgunluk Seviyesi ve Endüstri 4.0.....	84
3.4.2. Türkiye’de Dijital Olgunluk Seviyesi ve Endüstri 4.0	89
4. YALIN ÜRETİM VE ENDÜSTRİ 4.0	95

5. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 VE ARAÇLARI İLE İLİŞKİSİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA.....	103
5.1. Araştırma Konusu.....	103
5.2. Araştırmanın Amacı	103
5.3. Araştırmanın Kapsamı.....	103
5.4. Araştırmanın Sınırlılıkları	103
5.5. Araştırmanın Yöntemi	103
5.6. Araştırma Metodolojisi.....	104
5.6.1. Anket Formunun Hazırlanması.....	104
5.6.2. Örneklem Seçimi	105
5.6.3. Verilerin Toplanması	106
5.6.4. Verilerin Değerlendirilmesi	106
5.7. Anket Uygulamasının Bulguları ve Geçerlilik ve Güvenirlik Analiz Sonuçları.....	107
5.7.1. Birinci Bölüm “Sosyodemografik Sorular” ile ilgili Analiz Sonuçları ..	107
5.7.2. Katılımcıların Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Konusundaki Algılarına İlişkin Bulgular.....	109
5.7.3. İkinci Bölüme Yönelik “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” ile ilgili Geçerlilik ve Güvenirlik Analiz Sonuçları	110
5.7.4. Üçüncü Bölüme Yönelik “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” ile ilgili Geçerlilik Güvenirlik Analiz Sonuçları.....	118
5.7.5. Yalın Üretim Teknikleri ve Endüstri 4.0 Araçları ile Arasındaki İlişkiye Yönelik Bulgular	124
6. DEĞERLENDİRME.....	135
7. SONUÇLAR	143
KAYNAKLAR	147
EKLER.....	163
EK-1 Anket Formu	163

ÖZGEÇMİŞ	169
----------------	-----



TABLoların LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Yalın Düşünceye Yönelik Tanımlar	6
Tablo 2.2. Emek Sanat Türü Üretim, Seri Üretim, Yalın Üretim Karşılaştırması.....	9
Tablo 2.3. Fordizm ve Yalın Üretim Karşılaştırması.....	10
Tablo 2.4. İsrar Türleri Tanımları ve Kullanılabilecek Yalın Üretim Teknikleri	17
Tablo 2.5. Değer Akış Haritalama Yönteminin Uygulama Adımları	21
Tablo 2.6. Kanban Çeşitleri ve Saptamalar.....	25
Tablo 3.1. İkinci Sanayi Devrimi özellikleri.....	50
Tablo 3.2. Endüstri 4.0 Temel Özellikleri.....	55
Tablo 3.3. RFID iletişim sistemleri öğeleri.....	77
Tablo 3.4. Endüstri 4.0 Avantajları	81
Tablo 3.5. Endüstri 4.0 Dezavantajları.....	83
Tablo 4.1. Yalın Üretim Teknikleri ve Endüstri 4.0 Bileşenleri Arasındaki İlişki	97
Tablo 4.2. Literatürde Yalın Üretim ve Endüstri 4.0	98
Tablo 5.1. Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular	107
Tablo 5.2. Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Konusuna İlişkin Bulguları	109
Tablo 5.3. Örneklem Yeterliliği Ölçüleri.....	111
Tablo 5.4. TBA Sonuçları	112
Tablo 5.5. Faktörlere Ait Öz Değer ve Açıklayıcı Varyans Oranı.....	112
Tablo 5.6. Doğrulayıcı Faktör Analizi Parametre Tahmin Sonuçları	115
Tablo 5.7. Uyum Ölçüleri ve Standart Uyum Kriterleri	116
Tablo 5.8. TBA Sonucunda Belirlenen 3 Boyutlu Yapıya Ait Ortalama, Standart Sapma ve Güvenirlik Değerleri	117
Tablo 5.9. Örneklem Yeterliliği Ölçüleri.....	119
Tablo 5.10. TBA Sonuçları	119
Tablo 5.11. Faktörlere Ait Öz Değer ve Açıklayıcı Varyans Oranı.....	120

Tablo	Sayfa
Tablo 5.12. DFA Parametre Tahmin Sonuçları	121
Tablo 5.13. Uyum Ölçüleri ve Standart Uyum Kriterleri	122
Tablo 5.14. Boyutlu Yapının Ortalama, Standart Sapma ve Güvenirlik Değerleri .	123
Tablo 5.15. "Yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları Değerlendirme Ölçeği" Maddeleri Arasındaki İlişki	125
Tablo 5.16. İki Ölçeğin Boyutları Arasındaki İlişkiler	133



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yalın Üretim Felsefesi İlkeleri Modeli	12
Şekil 2.2. 3M (Muda, Mura, Muri)	15
Şekil 2.3. DHA Tekniği Adımları	20
Şekil 2.4. Kullanım Sembolleri.....	22
Şekil 2.5. 5S Tekniği Adımları	23
Şekil 2.6. 5S Tekniği Adımları Açıklamaları.....	23
Şekil 2.7. TVB – Sekiz Sütun Yöntemi	27
Şekil 2.8. Andon Uyarı Sistemi.....	29
Şekil 2.9. Jidoka İşleyişi	31
Şekil 2.10. Heijunka'lı Üretim Sistemi Şematik Gösterimi	33
Şekil 2.11. Poka-Yoke Tekniği İlkeri	34
Şekil 2.12. Poka-Yoke Tekniğinde Hedef İçin Amaç ve Görev İlişkisi.....	35
Şekil 2.13. Tek Parça Akış.....	36
Şekil 2.14. Hücreli İmalat	37
Şekil 2.15. U Tipi Üretim Hattı.....	38
Şekil 2.16. TZÜ Yönetiminin İşleyişi	41
Şekil 2.17. Kaizen Şemsiyesi	43
Şekil 3.1. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi	46
Şekil 3.2. İplik Eğirme Makinesi	47
Şekil 3.3. Endüstri 4.0'ın Ayırıcı Özellikleri	54
Şekil 3.4. Büyük Veri Yapısal Özellikleri	58
Şekil 3.5. Bulut bilişim alt yapısı	60
Şekil 3.6. Bulut Bilişim Hizmet Modeli.....	61
Şekil 3.7. IoT Teknolojisi Yol Haritası.....	63
Şekil 3.8. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları	65

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Ürün Geliştirme Döngüsü	66
Şekil 3.10. Akıllı Fabrika Yatay ve Dikey Entegrasyon	73
Şekil 3.11. Yatay- Dikey Entegrasyonun Sağladığı Avantajlar	74
Şekil 3.12. Milgram'ın gerçeklik-sanallık sürekliliği	75
Şekil 3.13. Endüstri 4.0 İşletme Düzeyinde Sağladığı Avantajlar	82
Şekil 3.14. Dünyada Endüstri 4.0 Kullanım Düzeyi.....	84
Şekil 3.15. Dünya ülkelerinde ve Türkiye'de dijital dönüşüm.....	85
Şekil 4.1. Endüstri 4.0 ve Yalın Anlayışın Ortak Noktaları.....	95
Şekil 5.1. Paralel Analiz Sonucu Yamaç Paraşütü Grafiği (Scree Plot)	113
Şekil 5.2. DFA Ölçüm Modeli	114

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

DAH

Değer Akış Haritalama

SMED

Tekli Dakikalarda Kalıp Değişirme

TVB

Toplam Verimli Bakım

TZÜ

Tam Zamanında Üretim

3M

Muda, Muri, Mura

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte değişen müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılayabilecek miktar ve çeşit esnekliğini sağlayan işletmeler rekabet avantajı elde etmektedir. Ayrıca, işletmelerin maliyetlerini azaltmaları, müşteri taleplerini hızlıca karşılayabilmeleri, kaliteli çıktı sunmaları ve hızla gelişen teknolojilere uyum sağlamaları gerekmektedir. Stratejik bakış açısıyla maliyet, kalite, hız ve esneklik üzerine odaklanmak isteyen işletmelerin, sürekli ve sistematik bir yaklaşım kullanmaları zorunluluk haline gelmiştir.

İşletmelerin değer zinciri içerisinde ürünlerinin ve süreçlerinin katma değerini artıracakları çeşitli modern üretim sistemleri vardır. Toplam kalite yönetimi, yalın üretim, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir üretim işletmelerin günümüzde tercih ettiği yönetim şekillerinden bazılarıdır. Yalın üretim felsefesi, üretim süreçlerindeki verimin artırılması, ürün maliyetlerinin azaltılması, kaliteli mal ve hizmet üretimi, tasarım ve üretim sürelerinin kısaltılması vb. işletmelere çeşitli faydalar sağlayan bir üretim sistemidir. Yalın üretim; yapısında hiçbir gereksiz unsur taşımayan, hata, fire, maliyet, stok, işçilik, geliştirme süreci, üretim alanı, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların en aza indirildiği üretim sistemi olarak ifade edilmektedir (Womack vd, 1990: 16).

Yalın üretim uygulayan işletmelerin mükemmelliğe ulaşması için birçok teknik kullandıkları bilinmektedir. Kullanılan tekniklerin bazıları; değer akış haritalama, 5S, kanban, toplam verimli bakım, andon sistemi, Jidoka, Heijunka, Poka-Yoke, tek parça akışı ve hücreli imalat, Shojinka- U-tipi üretim hattı, SMED (Single Minute Exchange of Dies- Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme), tam zamanında üretim ve kaizen olmak üzere sıralanabilir. Yalın üretim tekniklerinin günümüz şartlarında daha verimli kullanılabilmesi için Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) teknolojileri ile entegre edilmesi gerekir. Endüstri 4.0 kavramı Alman hükümetinin uyguladığı ileri teknoloji içerikli bir proje ile ortaya çıkmıştır. Proje önceki sanayi devrimlerinin değişimlerinden etkilenmiş ve bu yeni dönemi Endüstri 4.0 olarak ifade etmiştir. Kavram, ilk olarak 2011 yılında Hannover Fuarı'nda kullanılmıştır (Banger, 2017a). Endüstri 4.0, bilgi ve iletişim teknolojilerinin üretim sistemleriyle birlikte kullanılması olarak ifade edilmektedir (Meissner, 2017). Endüstri 4.0, birçok bileşenden oluşan bir kavramdır. Endüstri 4.0 bileşenleri; siber fiziksel sistemler, nesnelerin ve hizmetlerin

interneti, artırılmış gerçeklik, RFID (Radyo Frekanslı Tanımlama), akıllı fabrika, siber güvenlik, sensör, yapay zekâ, 3 boyutlu (3D) yazıcılar, büyük veri, robotlar, simülasyon, yatay ve dikey sistem entegrasyonu, bulut bilişim sistemi ve dijital tedarik zincirinden oluşmaktadır (Koçak, 2019).

Literatürde Endüstri 4.0 teknolojileri üzerine çok çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür. Geçmiş çalışmaların bir kısmı genel olarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletmelerin öz yeterliliğine etkisi üzerine odaklanırken (Banger, 2017a), diğer çalışmalar dinamik yeterlilik yaklaşımı çerçevesinde ilgili teknolojilerin diğer işletme uygulamalarına etkisi üzerinde durmaktadır (Bulut ve Akçacı, 2017). Yalın üretimle ilgili genellikle bazı yazarların yalın üretim uygulamalarının işletmelerde nasıl gerçekleşeceği üzerinde odaklandığı (Arslan, 2018; Çelik, 2020) görülmektedir. Türkiye’de yalın üretim ve Endüstri 4.0 teknolojilerini beraber ele alan çalışmaların (Gürsoy, 2020) sınırlı sayıda olmasının yanı sıra, yalın üretim tekniklerinin ve Endüstri 4.0 araçlarının ilişkisini uygulamalı olarak inceleyen çalışmalara pek rastlanılmamaktadır. Dünya literatüründe ise, bu iki kavrama yönelik ilişkinin incelendiği çeşitli çalışmalar mevcuttur (Dombrowski vd, 2017; Bauer vd, 2018; Rossini vd, 2019). Aynı zamanda, kavramlar arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik anket uygulaması gerçekleştiren çalışmalar da bulunmaktadır (Tortorella ve Fettermann, 2017; Rossini vd, 2019; Buer vd, 2021). Dolayısıyla, Türkiye’de yalın üretim ve Endüstri 4.0’ın ilişkisinin incelenmesine yönelik literatürde bir boşluk olduğu görülmektedir.

Çalışmada, yalın üretimin ve Endüstri 4.0’ın önemine değinilerek, literatüre katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 araçlarının yalın üretim sistemi ile ilişkisini görmek ve yalın üretim sistemini kullanan işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik farkındalık düzeylerini belirleyebilmektir. Bu doğrultuda, yalın üretim tekniklerinin ve Endüstri 4.0 araçlarının kullanılma durumları incelenerek yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları arasında ilişki üzerinde durulacaktır. Çalışmada, Türkiye’de savunma sanayiinde Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren ve yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 araçlarının kullanma potansiyeli yüksek işletmelere uygulanan anket çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar aktarılacaktır. Ayrıca, işletmelere Endüstri 4.0 araçlarına ve yalın üretime yönelik çeşitli önerilerde bulunulacaktır.

Çalışmada, öncelikle yalın üretim ve Endüstri 4.0'a yönelik literatür taraması yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde; yalın üretim ve tekniklerine, üçüncü bölümünde; Endüstri 4.0 ve araçları ile dünyada ve Türkiye'de Endüstri 4.0 teknolojilerinin mevcut durumuna değinilmiştir. Dördüncü bölümde yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın ilişkisi incelenmiştir. Beşinci bölümde, savunma sanayiinde Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren başlıca işletmelere yönelik gerçekleştirilen araştırma aktarılacak ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.





2. YALIN ÜRETİM

Bu bölümde, literatür taraması yapılmış, yalın üretimin tanımı, tarihsel gelişimi, ilkeleri ve yalın üretimde kullanılan temel teknikler anlatılmıştır.

2.1. Yalın Üretim Tanımı

Üretim faaliyeti ülkelerin ekonomik ekosistemlerinin temel yapıtaşını oluşturmaktadır. Üretim yönetimi ise, bir ürünün istenilen miktarda, beklenen kalitede ve istenilen zaman aralığında elde edilebilmesi için mevcut bulunan kaynakları kullanarak en düşük maliyetle üretilmesini amaçlamaktadır (Kobu, 2006). Yalın üretimde, üretim faaliyeti temel olarak talep bazlıdır. Yalın üretim, kendinden önceki üretim sistemlerinden öğrendiği deneyim sonucu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, yalın üretim mevcut üretim tekniklerine yönelik iyileştirmeler olarak da ifade edilmektedir (Ansal, 1994). Literatür incelendiğinde, yalın üretim yönelik birçok tanımlama bulunmaktadır. Yalın düşünceye yönelik tanımlamalar Tablo 2.1.'de sunulmuştur.

Yalın üretim, ürün elde edilmesine yönelik bütün süreçlerdeki etkinliği üst seviyelere çıkarmayı amaçlayan bir üretim anlayışına sahiptir. Yalın üretim, sadece işletmenin üretim akışında geçen çalışmalar ile sınırlı değildir. Nihai çıktının geliştirime aşamasından tedarige, üretim aşamasından dağıtım aşamasına kadar değişmekte olan faaliyetlerle ilgilidir. Bir işletmede yalın üretim uygulanmasının asıl amacı kaliteyi yükseltmek, verimliliği artırmak, ürün teslim sürecini kısaltmak, maliyetleri en aza indirmektir. Bunlar yalın üretim anlayışının performansını ortaya çıkaran unsurlardır (Christer ve Ahlström, 1996).

YAZARLAR	TANIMLAR
Hayes ve Pisano (1994)	Yalın düşünce bir çıktı elde etmek veya bir hizmet sunmak amacıyla kullanılması gerekli olan bütün faktörlerin en düşük düzeyde sınırlamak olarak ifade edilebilir.
Aydemir (1995)	John Krafcik göre yalın felsefeye dayanan üretim sistemi, bünyesinde gereksiz olan unsuru barındırmayan ve ayrıca maliyet, hata, stok, işçilik, üretim alanı, fire, geliştirme süreci, tüketici memnuniyetsizliği gibi faktörlerin en aza indirildiği bir üretim sistemidir.
Liker (1997)	Yalın felsefe tüketici talebinden başlayarak talebin dağıtılmasına kadar olan süreci, üretim aşamasında var olan her türlü israfları uzaklaştırarak azaltmayı benimsemektedir.
Storch ve Lim (1999)	Yalın üretim sistemi günümüz rekabet koşullarında tüketici ihtiyaçlarını ön planda tutmayı bu sayede tüketici tatmini sağlamayı hedeflemektedir.
Çelikçapa (2000)	Yalın üretim özünde üretim aşamasında girdi ve çıktıların barındırdığı israfları ortadan kaldırmak amacıyla oluşturulan bir üretim tarzıdır. Üretim türleri bakımından el sanatları ve seri üretimin uygun bir birleşimi olarak da tanımlanabilmektedir.
Gökşen (2003)	Yalın felsefesi oluşacak israfların önlenmesi ve gereksiz unsurların ortadan kaldırılması ifade eder. Bu anlayış çerçevesinde detaylar ile uğraşmadan işin özünden ayrılmamayı ve etkin olarak yönetimin sağlanmasını amaçlamaktadır.
Womack ve Jones (2003)	Yalın üretim; çıktının değeri doğru bir biçimde belirlemek bu değer seviyesini artırmak, dışardan bir kesintiye olanak vermeden ürün akışını sağlamak, bütün ürünler yönelik değer zinciri belirlemek ve israfa yol açan faaliyetleri yok etmek, müşterinin ürün için belirlenen değeri almasını sağlamak ve mükemmeli başarak sürdürülebilir hale getirmek gibi faaliyetleri içeren bir süreçtir.
Zerenler ve Iraz (2006)	Yalın anlayış; yalın olan üretim yapısında, yalın bir değer akışına, yalın bir firmaya ulaşma düşüncesidir. Yalın felsefenin temelinde idarenin odak noktasının değişmesiyle birlikte değer israftan uzaklaştırılması sağlamak, teknolojiler, organizasyonlar, sabit olan kıymetlerin karşılığında kaynakların üretimini bununla birlikte çıktıyı etkileyecek faaliyetlere odaklanmak ve israflardan kaçınarak zenginliğe ulaşmak yer almaktadır.
Ertuğrul, Özveri ve Gündoğan (2013)	Yalın üretim anlayışında; işletmeler tarafından talep edilen stok seviyesinin daha azının bulundurulması, çok az seviyede hatalı ürün elde edilmesi, müşteri odaklı esnek yapıya sahip bir firma olması önemlidir.

Tablo 2.1. Yalın Düşünceye Yönelik Tanımlar

2.2. Yalın Üretimin Tarihi Gelişimi

Birinci Sanayi Devrimiyle birlikte modern sanayi İngiltere’de ortaya çıkmıştır. Japonya’da ise, imalat sanayi 125 yıl sonra 1960-70 yılları arasında görülmektedir.

Ancak geç rastlanılmasını yanı sıra Japonya kendi üretim sistemini değişik ideolojiler üzerine kurarak bu alanda gelişme yoluna gitmiştir (Liker vd, 2015). Japonya’nın o zamanki durumu düşünöldüğünde, kaynak yetersizliğinden dolayı gelişme hedefini sadece ithal hammaddeyi yenileyerek tekrardan ihraç yaparak sağlayabilmiştir (Womack vd, 1990). 1970-80 yılları arasında ABD’nin dış ticarete olan bağımlılığı iki katına artarken, Japonya’nın ithalatının artış gösterdiği ve Japon işletmelerinin pazar paylarını artıkları görölmüştür (Harvey, 2012). Tüm dünyanın dikkatini üzerine çeken Japonya’nın elde ettiği bu başarı “ekonomik mucize” olarak adlandırılmıştır.

Yalın üretimin çıkış noktası 1950’li yıllarda Eiji Toyada ve Taiichi Ohno’nun öncülüğünde Japon Toyota işletmesine dayanmaktadır. 1950 yılında Enji Toyada Ford işletmesinin seri üretim sistemini incelemek için gittiği Amerika gezisinde elde ettiği bilgiler ile, Japonya için bu sistemin uygun olmadığı görüşleri ile yalın üretim düşüncesinin doğmasını sağlamıştır (Womack vd, 1990).

Yalın üretimin kurucusu Taiichi Ohno bu kavramın ortaya çıkışını kendi eliyle yazdığı kitabında şöyle özetlemektedir;

“Gözümüz petrol kriziyle açıldı. 1973 yılının son aylarından itibaren tüm batı dünyasını altüst eden petrol krizi ve onu izleyen ekonomik durgunluk, hükümetleri, dev sinai gruplarını ve tüm dünya toplumlarını etkisi altına almıştı. 1974 yılında Japon ekonomisi “sıfır büyüme” düzeyine inecek kadar çökerken, bu durum tüm endüstri sistemini derinden sarsmıştı. Şirketlerin kar grafiklerinde genel bir düşüşle şekillenen bu kritik manzara içinde, yalnızca Toyota Motor Company yerini korumuş, 1915 yılından itibaren de büyümeyi başarmıştı” (Ohno, 2017: 39).

Taiichi Ohno üretim sürecindeki ilk çalışmaları işçileri gruplara bölerek ustabaşı yerine grup lideri olarak takımlara ayırmayla başlamıştır. Grup liderinin görevi takımı koordine etmek ve ekipte eksik olduğu zaman onun sorumluluğunu almaktır. İkinci dünya savaşından sonraki dönemlerde Ford’un T model türü otomobillerinin hepsi siyah renkliydi ve Ohno, Japon pazarındaki müşterilerin taleplerinin büyük montaj hatlarını ve üretimleri karşılamayacak kadar az olmasından ve Toyata’nın parasal ihtiyacını bu yavaşlıkta karşılamayacağından dolayı, küçük miktarlarda üretim yapmanın bir yolunu aramaya çalışmıştır. Bu sebeple yalın üretim sistemi, ihtiyaç sonucu meydana gelmiştir (Womack vd, 1990).

Toyata Üretim Sisteminin önemli isimlerinden biri olan Eiji Toyoda, yüksek adetli üretim metotlarını Toyota’da hayata geçirmek için Taiichi Ohno ile çalışmıştır.

Ayrıca, Sakichi Toyada icat ettiği makine ile ip koptuğu anda durabilen bir sistem bulmuş ve bugün Toyota'nın tüm makinelerinde kullandığı, ayrıca bir sorun meydana geldiğinde makinanın durması ilkesi anlamına gelen Jidoka'nın temelini atmıştır. Kiichiro Toyoda ise, babası Sakichi'nin kurduğu örme makineleri üretimi işinden araç üretimi işine geçişi sağlamış ve ihtiyaç olduğu zamanda, gerektiği kadar üretimin temeli olan Tam Zamanında Üretim (Just In Time – JIT) kavramını geliştirmiştir. Shigeo Shingo ise, Toyota Üretim Sistemi'nin gelişmesine olan büyük katkılarıyla birlikte Sıfır Kalite Kontrol, Poka-Yoke (Hata önleyici sistemler) SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi) metodlarının yaratıcısıdır. Kaoro Ishikawa da Kaizen çemberlerinde en çok tercih edilen 7 problem çözme metodunu ortaya koymuştur (Çelikliay, 2012).

Ohno'nun çalıştığı Toyota Üretim Sisteminin üretim yönetimine katkı sağladığı en kritik ilke; tüketicilerin istediği anda ve miktarda çıktı üretmek ve gereksiz stokları tamamen ortadan kaldırarak kaynakları daha etkin olarak kullanabilmektir. Ayrıca, yalın üretimde mühendisler işlerini yaparken, yöneticiler personel arasından seçilerek ve eğitim alarak yeni rolleri öğrenirler. Makinelerin konumu hem üretim aşamalarının akış sırasına uyumlu olacak şekilde hem de U biçiminde yerleştirmektedir. Sistemde, çalışanlar birden fazla teçhizattan sorumlu tutulmakta, işlemler beklemeden hızlı ilerlemekte ve daha az işgücü ile işçilik maliyetlerinden tasarruf edilmektedir. Ayrıca, işyerinde temiz ve düzenli çalışma koşulları sayesinde hatalar azaltılmakta ve zaman israfı engellenmesine katkı sağlanmaktadır (Arslan, 2008).

Yalın üretim felsefesinin temelinde, değer nihai tüketiciye ulaşabilmesi için üretim zincirine bir bütün olarak bakmak ve bu süreç boyunca israfları ortadan kaldırmak, maliyetleri düşürmek, müşteri memnuniyetini ve işletme karlılığını artırmak yer almaktadır (Arslan, 2008).

Yalın üretimin diğer üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında, 18. yy.'a kadar etkili olan emek sanat türü üretimdeki gibi basit ve esnek aletler kullanılarak, yüksek kalitede ve her üretimde bir çıktı çıkaracak şekilde müşteri talebine yönelik üretim yapmak esastır. Seri üretimde, tek amaca hitap eden makineler kullanılarak fazla miktarda standart ürün üretilmektedir. Yalın üretimde ise, var olan kaynakları elde minimum seviyede kullanarak yüksek hacimde üretim yapmak amaçlanmıştır

(Arslandere, 2017). Tablo 2.2’de üç üretim sistemine yönelik karşılaştırmalara değinilmiştir.

	Emek Sanat Türü Üretim	Seri Üretim	Yalın Üretim
Odaklanma	Görev	Ürün	Müşteri
Operasyonlar	Tek parça	Kuyruk ve Yığın	Senkronize akış ve çekme
Amaç	Müşteri talebine yönelik az miktarda üretim	Fazla miktarda standart üretim	Minimum kaynak ile fazla miktarda üretim
Kalite	Entegrasyon (Sanatın bir parçası)	Muayene (Üretim aşamasının ardından 2. bir safha)	Önleme (tasarım ve yöntemlerle inşa edilir)
İşletme Stratejisi	Kişiselleştirme	Ölçek ekonomisi ve otomasyon	Esneklik ve adapte edilebilirlik
İyileştirme	Usta odaklı olarak sürekli iyileştirme	Uzman odaklı periyodik iyileştirme	İşgücü odaklı olarak sürekli iyileştirme
İş Standardizasyonu	Düşük	Yüksek, Yöneticiler tarafından	Yüksek, ekipler tarafından
Kontrol Alanı	Büyük	Küçük	Orta
Ekip Çalışması	Orta	Düşük	Yüksek
Üretim			
Yapısındaki gereksiz unsurlar	Büyük	Büyük	Küçük

Tablo 2.2. Emek Sanat Türü Üretim, Seri Üretim, Yalın Üretim Karşılaştırması

Kaynak: (Doğan, 2011; Arslan, 2018)

Seri üretimin geliştirilerek yürüyen bant (conveyor) sistemi üzerine inşa edilmesi olarak ifade edilen Fordist üretimde, çalışanın ürüne gitmeden bant aracılığı ile kedisine gelmesini sağlanmaktadır. Bu sistemde, işçinin gerçekleştireceği tek faaliyet

belirlenen sürede kendisine atanan rutin işini yerine getirmesidir. Fordist üretimde, bir el işinde sorun ya da gecikme olması halinde bütün üretimin gidişinin bozulması sisteminin eksikliği olarak görülmektedir (Dobretsberger, 1940).

Yalın üretim, fordist üretimin önemli bir zayıf noktası olarak bilinen kaynakların boşa harcanması durumundan kaçınmakta ve sistemde her şeyin çok daha azını kullanmaktadır (Zerenler ve Iraz, 2006). Aşağıda Tablo 2.3.'de fordist üretim ile yalın üretimin karşılaştırması sunulmaktadır.

Fordizm	Yalın Üretim
Kitle halinde standart üretim ve düşük maliyet	Esnek üretim (küçük parti, hacim, çeşitlilik)
Uzun dilimli kurulum süreleri ve ürüne adanmış makineler	Kısa dilimli kurulum süreleri ve esnek makineler
Eğitimli personel seçimi ile az eğitim ver anlayışı	Daha çok işletme içi eğitim
Rutin vazifeler, bireysel işler ve herkese tek bir iş anlayışı	Çoklu yetenekler, değişebilir vazifeler, herkes her işi yapar anlayışı ve takım çalışması
Tedarikçiler arasında rekabet ortamı sağlayarak fiyat düşür	Tedarikçiler ile uzun vadeli güvene dayalı ilişkiler kurarak maliyetleri düşür
Tedarikçi bilgi saklar ve tasarım aşamasına dahil olmaz	Her şey şeffaftır, tasarım tedarikçisinin sorumluluğunda
Stok sıkıntısını bayilere devret	Tam zamanında üretim, ihtiyaç duyulan kadar gereken yerde stok
Ortaya çıkan hata çok önemli değilse üretim hattını durdurma	Hata varsa hattı durdur ve takım olarak 5 neden analizi yap

Tablo 2.3. Fordizm ve Yalın Üretim Karşılaştırması

Kaynak: (Sezen, 2011: 34)

2.3. Yalın Üretim İlkeleri

Toyata üretim tarzı, uzun vadeli felsefeye dayanan üretim anlayışı olmasının yanı sıra sürekli gelişim ve insana saygı temellerine kurulu bir yapıdır (Liker, 2012). Toyata

Üretim Sisteminde sürekli gelişim ve insana saygı temellerinin alt başlıkları şu şekilde sıralanabilir (Ćwiklicki ve Obara, 2011).

Sürekli gelişim;

- Challenge: Çalışanlara çabalayarak başarabilecekleri hedeflerin verilmesi,
- Kaizen: Çok fazla miktarda yatırım ihtiyacı olmayan ve her konuda gerçekleştirilen iyileştirme önerileri,
- Genchi Genbutsu: İnelemenin yerinde yapılmasını sağlayarak değerin gerçeğini görerek, hızlıca kavranması suretiyle uygulamaya geçmek kısacası sorunların merkezine giderek karar verilmesi.

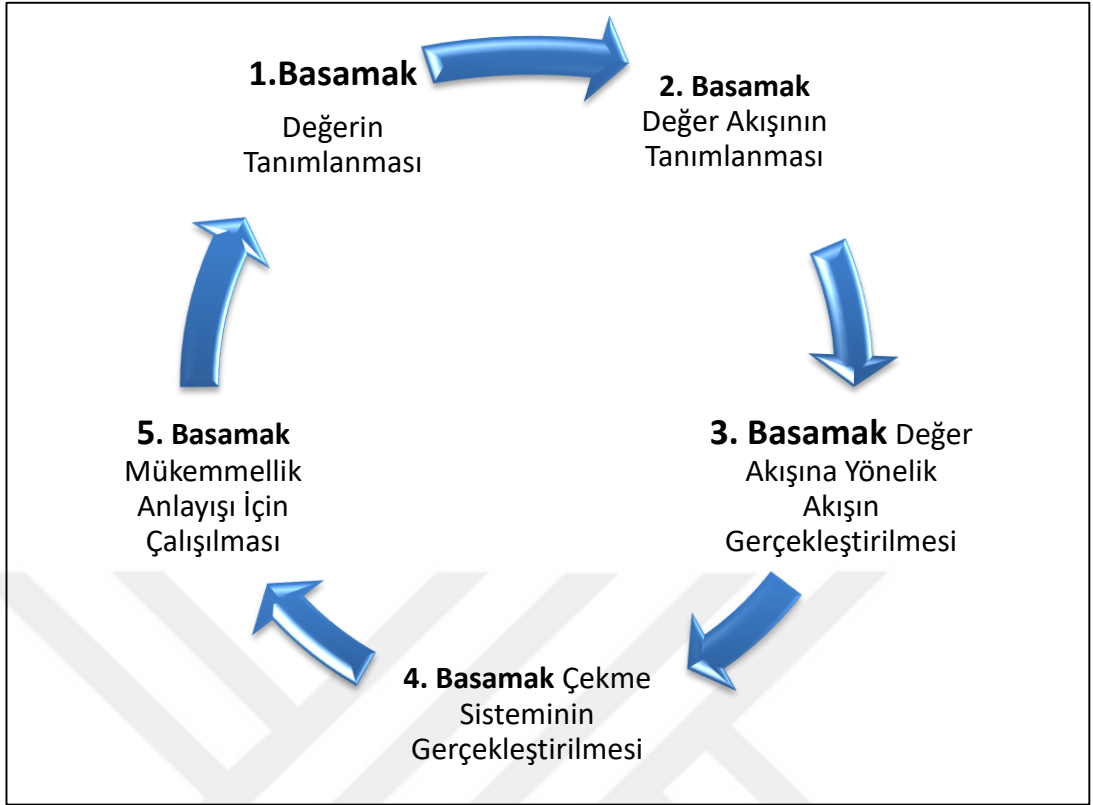
İnsana saygı;

- Saygı: Karşılıklı anlayış çerçevesinde herkese saygı duyulması ve sorumlulukların yerine getirilmesi.
- Takım Çalışması: nitelikli personel yetiştirilmesi ile güç oluşturulması anlamında kullanılmaktadır.

Yalın üretim felsefesinin temelinde israfların ortadan kaldırılmasıyla birlikte maliyet, stok, fire ve müşteri memnuniyetsizliğini en aza indirmeyi hedeflerken Womack ve Jones (2003)'e göre sisteme yönelik 5 temel ilkeden bahsedilmektedir. Bu ilkeler şu şekildedir:

- Değer
- Değer Akışı
- Akış
- Çekme
- Mükemmellik

Beş ilkeden ilki üretilen ürüne ilişkin değerin tam manasıyla belirlenmesidir. Ardından üretilen her bir ürün için farklı değer akışlarının tanımlanması, değerin bir sorun ile karşılaşmadan yoluna devam edilmesinin sağlanması, müşterilerinin değeri asıl üretim yapan işletmelerden çekmesine olanak verilmesi ve son olarak da mükemmellik için faaliyet gösterme ilkesinin benimsenmesi gerekmektedir. Şekil 2.1.'de 5 ilkeye yönelik aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yalın Üretim Felsefesi İlkeleri Modeli

Kaynak: (Kennedy ve Brewer, 2005)

- **Değer:** Yalın üretim felsefesinin ilkelerinin temelinde “değer” kavramı yer almaktadır. Yalın düşüncenin çıkış noktası değer ilkesidir. “Değer” kavramını işletmeler oluştursa bile çıktının nihai haline ulaşan müşteri aracılığıyla belirlenebilir (Okur, 1997). Değer, müşterilerin elde ettiği nihai ürüne yönelik fiyat ve başka diğer nitelikleri ile gereksinimlerini karşılama ölçüsüdür (Arslandere, 2017). Bu ölçünün iyi olarak tanımlanması için müşteri talebine göre üretim faaliyeti göstermek müşteri memnuniyetini esas almak işletme hedefleri arasında yer almalıdır.

Tüketicilerin gereksinimlerine yönelik istediği ve elde etmek için bedelini ödediği çıktı özelliklerinin bütünü değer olarak ifade edilmektedir. Değer üretilen ürünün temel katmanında dinamik ve vazgeçilmez olarak bulunan bir etkidir. Değer kavramı, işletmede var olan yöneticiler tarafından alınan kararlarla ilgili olmamakla birlikte direk müşteri tarafından tanımlanmaktadır (Mcnaire vd, 2006).

- **Değer Akışı:** Yalın anlayışının temel ilkesi olarak bilinen değer kavramı değer akış süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Değer kavramının tüketiciler aracılığıyla

daha iyi bir konum kazanması ve daha fazla kazanç elde etmesi için değer akış süreçlerinin mükemmelleştirilmesi önemlidir. Ayrıca değer akışlarında israflar ortaya çıkmaktadır. Oluşan israfları yok edecek faaliyetlerde bulunulması ve iyileştirme çalışmalarına başlanması gerekmektedir (Özçelik ve Ertürk, 2010).

Yalın üretim anlayışı benimseyen işletmeler değer kavramı için üretim süreçlerini sadece yapılması gereken faaliyet olarak görmemekle birlikte, süreçleri değer akışı gözüyle değerlendirmektedir. Dolayısıyla, değer akışı kavramı temel ilkeler arasında yer alarak yalın felsefenin yararlarından biri haline gelmektedir (Bernard vd, 2008).

Değer akışı boyunca meydana gelebilecek üç tip hareket değer akışı analizleri ile gösterilmektedir. Bunlar şu şekildedir (Womack ve Jones, 2003):

1. Tüketicilerin gereksinimleri gereği talep edilen şekilde değer oluşturan faaliyetler.
2. Herhangi bir değer oluşturmayan fakat mevcut teknolojiler ve olanaklar sebebiyle kaçınılmaz ve zorunlu olan çalışmalar (Birinci Tip İsrar).
3. Herhangi bir değer oluşturmayan ve acilen yok edilmesi gerekli olan çalışmalardır (İkinci Tip İsrar).

Bahsedilen aktiviteler en doğru biçimde yönetilmelidir ve işletmelerin gerçekleştirdiği faaliyetler tüketici için değer oluşturacak çalışmalar olmalıdır.

- **Akış:** İşletmede üretime yönelik değer tanımlanır, ardından değer akışı çizilir ve akış ilkesi başlar. Hat akışı boyunca bir aşamadan diğer aşamaya parçaların, malzemelerin arzu edilen biçimde ilerlemesi “akış” olarak tanımlanır (Corporation, 2008).

Akış kavramı malzemelerin yapmış olduğu hareketler olarak ifade edilmektedir. Ayrıca israfları ortadan kaldırmak amacıyla tüketiciden sipariş alma aşamasından, üretilen çıktının teslim edilmesine kadar geçen süreyi iyileştirirken çıktı odaklı bir sistem geliştirir. Yalın üretim anlayışında hat akışı üzerinde parçaların daha kısa sürede ilerlemesi sağlanarak akış iyileştirilme hedeflenir (Ayçın, 2016).

Akış ilkesi için ilk olarak tüketicilerin işletmeden aldığı ürünlere yönelik hangi değeri satın aldıklarını bilmek gereklidir. Alınan değer belirlenmesinin ardından, değer akışına ilişkin planlama yapılması ve değer unsuru oluşturmayan tüm çalışmaların yok edilmesi gereklidir. Değer unsuru oluşturmayan tüm faaliyetler kaldırılarak sürekli bir akışın sağlanmasına yönelik düzenlemeler gerçekleştirilir. Akış ile az miktarda stok, iyi bir kalite, açık iletişim, sorunlara hızlı yanıt verme gibi hususlar sağlanabilmektedir (Ayçın, 2016).

- **Çekme:** Çekme sistemi bir üretim kontrol aracı olarak hat akışında birbirinden önceki süreçlerden istenildiği şekilde ürün gelmesine imkân tanır ve bu şekilde fazla ürün üretilmesine engel olmayı amaçlar (Corporation, 2008). Ayrıca çekme sistemi yalnızca gerçek tüketicilerin talebine istinaden gerçekleşme hususuna dayanır (Ohno, 1988).

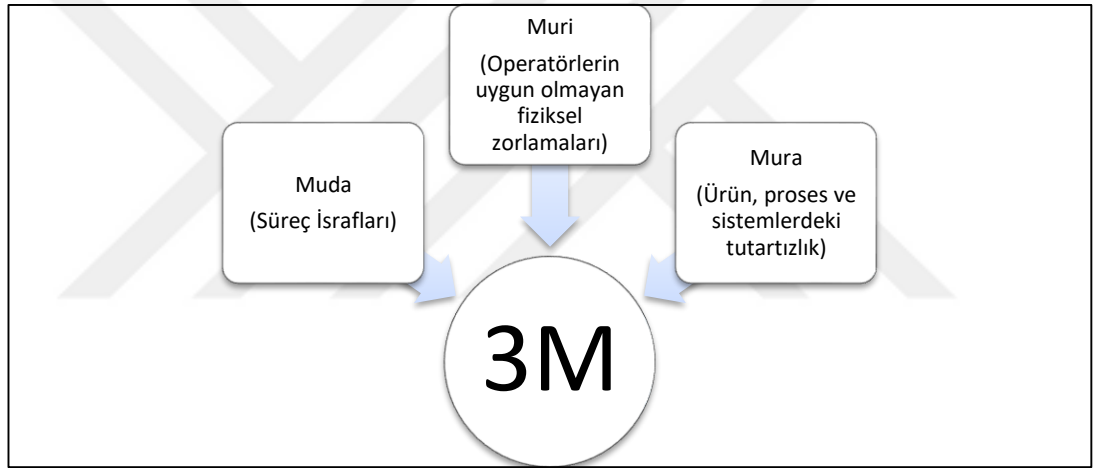
İşletmelerin üretim süreçlerine ilişkin çekme sisteminin birçok faydası vardır. Faydaların en başında parçaların üretilme sürecinden önce hatalarını bularak her adımda kalitenin doğrulanması söylenebilir. Bununla birlikte, çekme sistemini kullanan imalathanelerde (Ayçın, 2016);

- Ürün stoğuna yönelik değişkenlik minimum seviyededir.
- Stoklara ve imalata ilişkin kontrol etme faaliyeti daha kolaydır.
- Üretimin daha çok miktarda yapılmasından kaynaklı israfların engellenir.
- Tüketici taleplerine ilişkin meydana gelecek dalgalanmalar engellenir.
- Üretilen ürün kapsamında tasarım değişikliği gibi nedenlerden dolayı ürünün tekrar üretilmesi ya da atılması gibi hususlar ile karşı karşıya gelinmez.
- **Mükemmellik:** Yalın anlayışın beş temel ilkesinin son aşamasıdır. Mükemmelleştirme faaliyeti süreklilik içeren bir süreçtir. Diğer aşamaların doğru bir şekilde tamamlanmasının ardından israfın ortadan kaldırılmasıyla mükemmelleştirme ilkesi ile sürekliliği sağlanır (Womack ve Jones, 2003).

Mükemmellik ilkesi işletmenin üretim faaliyetlerini iyileştirmek ve tüketicilere daha çok değer sağlamak amacıyla sürekli ve kalıcı olarak uygulanan bir ilkedir. Diğer bir taraftan mükemmellik ilkesinin devamlı olarak sürdürülmesi ve sadece faaliyet aşamaları ile kalmayıp tüm işletme tarafından benimsenerek kültür haline getirilmelidir (Womack ve Jones, 2003).

Yalın üretim felsefesi 3M olarak da ifade edilen israfların ortadan kaldırılmasına yönelik faaliyetleri bir bütün olarak kapsayan (Gürsoy, 2020);

- Muda
- Mura
- Muri kavramlarına odaklanmaktadır.



Şekil 2.2. 3M (Muda, Mura, Muri)

Kaynak: (Çelik, 2020)

- **Muda(Waste):** Muda kelimesinin Tüççe'deki anlamı israf olarak belirtilmiştir. Yalın düşüncesinin temelinde olduğu üzere, Muda kavramı genel olarak israfları ortadan kaldıracak çalışmalar üzerinde durmaktadır. İşletmelerde 2 çeşit Muda bulunmaktadır. Bunlardan birinci çeşit Mudalar işletmeler tarafından sorun olmakla birlikte, ikinci tip Mudalar işletme içinde kaizen yöntemi ile rahatlıkla yok sayılabilir (Scodanibbio, 2020).
- 1. Tip Muda; üretim sürecine ilişkin düşünölemeyen bir işlemten dolayı mükemmel bir çıktının ortaya çıkamamasını ifade etmektedir. 1. Tip Mudayı üretim sürecinden kısa süre içerisinde çıkartmak kolay değildir.

- 2. Tip Muda; hücre taşınması veya konumlandırma planında yapılan değişiklik ile akışın sürekli olarak devam etmesi koşulu ile kısa sürede yok sayılabilir (İnce, 2018).
- **Muri (Overburden):** Muri kelimesi aşırı yük olarak tanımlanmaktadır. Bir işletmedeki üretim sürecinde bulunan işçi, makine veya diğer unsurların normal şartlardan daha fazla emek düzeyinin üstünde çok yüklenilerek çalışılması demektir. Üretim sürecindeki unsurlara aşırı yük bindirilmesi sonucunda güvenlik ve kalite sorunları ortaya çıkabilmekte ve arızaların sorunların oluşması ile sonuçlanabilmektedir (Aykül, 2018).
- **Mura (Unevenness):** Mura istemlerin fazlalaşması ve azalması ya da üretim sorunlarının değişmesinden dolayı değil, üretim sürecindeki değişkenlikten dolayı oluşan düzensiz iş yükü olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, Mura üretim sürecindeki hazırlık düzeyindeki uygulama ve dalgalanmaların ortadan kaldırılmasına odaklanmaktadır (Mor vd, 2018).

Yalın üretim anlayışının kurucularından biri olan Ohno'ya göre, israf tüketicilerin aldığı çıktı üzerinde bir değer unsuru yaratmayan, ancak maliyet artışına sebep olan bütün hususlar olarak ifade edilmiştir. İsraf, tüketicilerin ödemek konusunda zorunluluğu bulunmayan ve işletme tarafından yok edilmesi gereken bir faaliyettir (Ohno, 1988). Ohno'nun tanımladığı yedi temel israf türü, bu israflara neden olabilecek hususlar ve çözümlemek için kullanılabilecek yalın üretim teknikleri Tablo 2.4.'de sunulmuştur (Ayçın, 2016).

İsraf Türleri	Açıklama	Neden Olabilecek Hususlar	Kullanılabilecek Yalın Üretim Teknikleri
Ürün/Süreç Kusurları (Defects)	Kusurlu oluşan çıktıdan ve üretim faaliyeti öncesinde engellemesi gereken süreç tasarımlarından dolayı meydana gelen israf türüdür.	Süreç kontrollerinin olmaması, tedarikçiden gelen kalitesi hammadde, eğitim eksikliği ve kötü çalışma talimatları.	Poka-Yoke Jidoka Andon Sistemi
Fazla Üretim (Overproduction)	Üretim akışında sonraki hat tarafından istenilenden çok daha fazla miktarda üretim faaliyeti yapılmasından kaynaklı israf türüdür (Liker, 2004).	Otomasyonun yanlış kullanımı, uzun ayar süreleri, yetersiz tahminde bulunma.	Tek Parça Akışı SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) Kanban
Fazla Stok (Excessive Inventory)	Fazla üretim yapılması ile ilişkili olarak tüketici ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik gereğinden fazla parça stoku bulunmasından kaynaklı israf türüdür (Kilpatrick, 2003).	Kalite sorunları veya dikkatsizlik kaynaklı üretim planlamasından dolayı olumsuzlukları gizlemek, müşteri isteminden daha fazla üretim gerçekleştirilmesi ve buna yönelik çekme prensibinin kullanılmaması, dengelenmemiş veya tutarlı olmayan üretim programları, belirsiz durumlardan kaynaklı olarak talep tahminin oluşan sapmalar.	Tek Parça Akışı SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) Kanban
Gereksiz İşlen (Over Processing)	Talebe ilişkin üretim sürecinde gerekli olanın yanı sıra gereksiz süreç adımlarından, çıktı ile ilgili yanlış spesifikasyonlardan ve temel sistemlerde bulunan yanlış süreçlerden kaynaklı olan israf türüdür (Bodek, 2004).	Açık olmayan tüketici gereklilikleri, tüketici ile olan iletişimin ve firma içindeki iletişimin doğru olmaması, çıktı ile ilgili olarak karmaşık tasarımların olması.	Değer Akışı Haritalama
Gereksiz Taşıma (Transportation)	Üretim hattında hammaddelerin ve parçaların bir yerden diğer bir konuma gereksiz olarak hareket ettirilmesi, taşınmasından kaynaklı israf türüdür (Rich vd, 2006).	Optimize olmamış ve eski kalmış düzen yerleşimleri, kitlesel üreticiler tarafından çok miktarda üretim yapılması, stok raflarının fazlalığı ile birlikte büyük depoların varlığı, malzemelerin bir iş tezgâhından başka bir tezgâha transfer etme ihtiyacı.	Hücreyel İmalat Tek Parça Akışı
Gereksiz Hareket (Excessive Motion)	Operatörler tarafından işlem sırasında boşa gerçekleştirilen ve firma için bir değer katmayan gereksiz olan eylemlerden kaynaklı israf türüdür (Bodek, 2004).	Gerekli malzeme ve ekipmanların çalışan yakınında olmaması ve ulaşmak için araması, iş yapış şeklinin karmaşık olması basitleştirilmemesi,	5S
Bekleme (Personelin, süreçteki donanımın işini bitirmesini ve önceki aşamadaki çalışmayı beklemesi) (Waiting)	Çalışanların üretim sürecinde bulunduğu akıştan önceki aşamadaki malzemeleri, parçaları, ekipmanları, işlemleri beklemekten veya makinelerin durma durumlarından kaynaklı israf çeşididir (Yorke ve Bodek, 2005).	Kötü planlama ve planlanmamış şekilde makinelerin durması, bekleme anlarında işgücü ve geçen zamanın etkin kullanılamaması, akışa yönelik planlamanın sistematik olarak yapılmaması.	Shojinka

Tablo 2.4. İsraf Türleri Tanımları ve Kullanılabilecek Yalın Üretim Teknikleri

2.4. Yalın Üretim Teknikleri

Yalın üretim anlayışı, özünde süreçte var olan israfları ortadan kaldırarak üretimin etkin, verimli ve sağlıklı olmasını amaçlamaktadır. Günümüzde ileri teknolojinin

sayesinde kalite artmakta ve teslim süreleri kısalmaktadır. Yalın üretim teknikleri işletmenin mevcut üretim faaliyetinde performansını, karlılığını ve verimliliğini artırılması hususunda önemli bir konuma sahiptir. Aynı zamanda işletmeler rekabet ortamında tutunabilmek amacıyla maliyetleri azaltmak, kaliteli bir çıktı sunmak, üretim aşamasında geçen süreyi kısaltarak, daha kısa sürede müşteriye ürünü iletmek için yalın üretim tekniklerine başvururlar (Yıldırım, 2017). Literatür incelendiğinde, yalın üretim teknikleri aşağıda özet olarak verilmiştir:

- Değer Akış Haritalama
- 5S
- Kanban
- Toplam Verimli Bakım
- Andon Sistemi
- Jidoka
- Heijunka
- Poka-Yoke
- Tek Parça Akışı ve Hücresel İmalat
- Shojinka - U-tipi Üretim Hattı
- SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme)
- Tam Zamanında Üretim
- Kaizen

2.4.1. Değer Akış Haritalama

Yalın üretim tekniklerinin kullanılmasında ilk adımda, değer oluşturan ve oluşturmayan üretim faaliyetlerinin tanımlanması yer almaktadır. Değer Akış Haritalama (DAH), yalın üretim anlayışının temel ögesidir (Yıldırım, 2017).

Günümüzde, işletmeler maliyet etkinliği, üretim sisteminin kalitesi ve üretim süreçleri açısından birçok zorlukla mücadele etmek zorunda kalmaktadır. Bu zorluklar ile mücadele edebilmek için gereken üretim kalitesini sağlamalı ve bunun içinde uygun çözümleri seçmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, faaliyet akışının yapılandırmasını

çözümlemek ve tasarlamak için destekleyici ve kolay bir şekilde uygulanabilen planlama tekniklerine ihtiyaç duyar (Haefner vd., 2014). Dolayısıyla, DAH çok sık kullanılmakta olan bir tekniktir.

Değer akış haritalama yalın üretim anlayışının ilk faaliyetlerinden ve belirleyici araçlarından birisi olmasıyla birlikte, işletmelerde zarar oluşturan süreçlerin analizini yapmaktadır (Wolniak vd., 2014). Ayrıca, üretim süreçlerine genel anlamda bir bakış sunmakla birlikte, süreç iyileştirmelerini de gösterir (Morlock ve Meier, 2015). Değer akış haritalamanın esas amacı, üretim faaliyeti boyunca iş istasyonlarında bir değerlin hangi yöntemle ve nasıl bir değerde üretildiğini belirtmektir (Gürsoy, 2020).

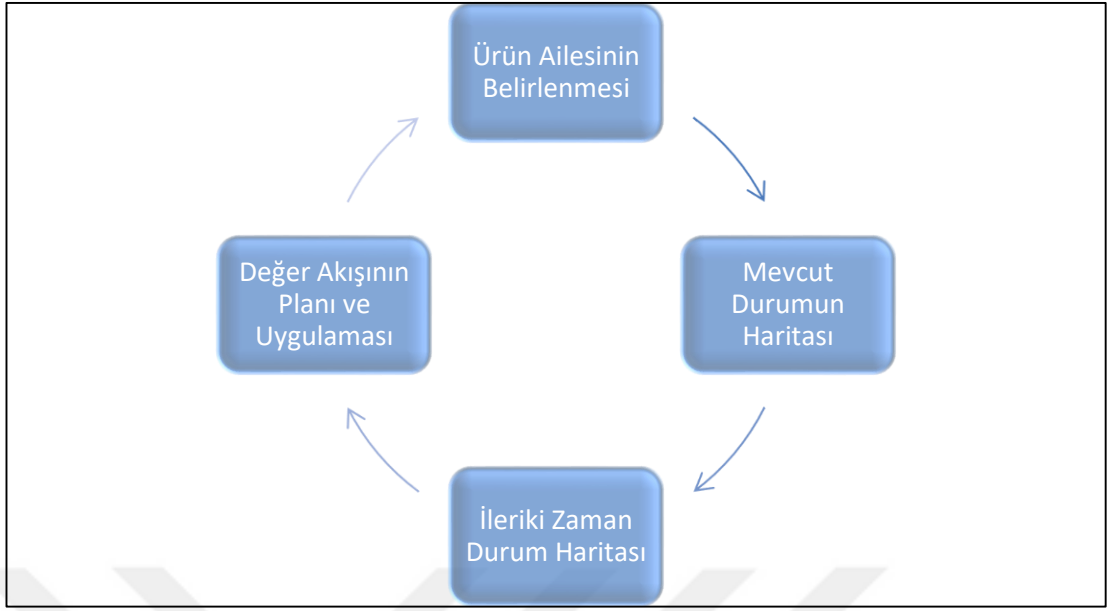
Rother ve Shook (1999) üretim sürecinde üç tip faaliyetten bahsetmektedir. Bunlar;

- Tüketicilerin istediği yönde dönüşümü sağlayan “değer oluşturan” faaliyetler (montaj, boyama gibi)
- Tüketici açısından bir şey ifade etmeyen ancak işin gerçekleştirilmesi için gerekli olan “değer oluşturmeyen fakat zorunlu” aktiviteler (ayar, nakliye gibi)
- Sayma, sıralama, hata, tamir ve bekleme gibi “değer oluşturmeyen ve kaçınılmaz” işler.

Önceki araştırmalar neticesinde üretim sürecinin her aşamasında çok fazla israfın olduğu gözlemlenmiştir (Yıldırım, 2017).

Değer akış haritalama; yalın anlayış ile yalın üretim tekniklerini birbirine bağlayan, sadece israfları değil, kaynaklarını da gösteren, üretim süreçlerine ilişkin genel konuşma dili oluşturan ve süreçlerin tüm yönleriyle eksiksiz olarak analiz edilmesini sağlayan, üretim süreçlerinden tek birinden, kaynak, montaj vb. daha fazlasını görmeye yardımcı olan ve süreçleri bilgi, araç ve gereçler aracılığı ile birbirine bağlayan, bilgi ve malzeme akışları arasında olan ilişkiyi gösteren, akışı oluşturmak için işletmenin nasıl çalıştırılması gerektiği hususlarını detaylı olarak tanımlamayı sağlayan, ayrıca süreçlerin yanı sıra ortaya çıkabilecek problemlerin kaynağının personel tarafından yerinde incelenerek çözüm bulmasına olanak sağlayan bir yalın üretim tekniğidir (Liker ve Meier, 2006).

DHA tekniğinin kullanabilmesi için adım adım izlenmesi gereken işlemler aşağıda Şekil 2.3.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. DHA Tekniği Adımları

Kaynak: (Birgün vd., 2006)

Değer akış haritalama adımları; ürün ailesinin sınıflandırılması, bulunduğu konumun belirlenmesi, gelecekteki zaman tasarısının hazırlanması ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin planlanması gibi girişimleri içermektedir (Gürsoy, 2020).

Birgün vd. (2006) ve Allen vd. (2001), DHA işlem basamaklarının ilk basamağı olarak mevcut olan durumun ortaya koyulmasına yönelik sahadan veri toplanması gerektiğini değinmektedir. Bu sayede mevcut durum haritası çizilebilecektir. İkinci basamak olan gelecek durumu tasarlama basamağı için ihtiyaç duyulan veriyi sunar. Mevcut ve gelecek durumda oluşan değişiklikler birbirini etkileyen faaliyetlerdir. Gelecek durum ile alakalı düşünceler, mevcut durum haritası çizilirken oluşturulur. Son basamak ise, iyileştirme planının hazır hale getirilmesi ve aktif bir biçimde kullanılmaya başlanmasını ifade eder. Çalışma planında mevcut durumdan tasarlanmış olan yeni duruma geçiş işleminin ne zaman, nasıl ve kimler aracılığı ile gerçekleştirileceğine değinilir. Gelecek durum kapsamında planlar gerçekleştirildikçe, bu zamanlar mevcut durum haline gelecektir ve bundan dolayı yeniden bir gelecek durum haritası oluşturulacak ve haritalama işlemi tekrarlanacaktır. Yani, değer akış sürecinde sürekli bir iyileştirme faaliyeti söz konusudur.

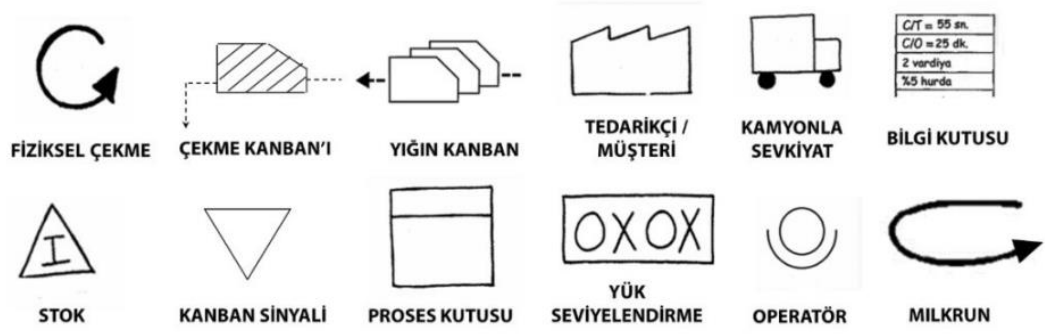
Rother ve Shook (1999) ve Allen vd. (2001), değer akış haritalama yönteminin uygulama basamaklarını Tablo 2.5. 'deki gibi sıralamıştır.

Adımlar	Yapılacak İşlem Açıklaması
1.	Sadece bir tane ürün ailesi seçilir.
2.	Değer akış yöneticisi belirlenir.
3.	Haritalama faaliyetine “kapıdan kapıya” seviyesinden başlanır.
4.	Bilgi ve malzeme akışları birlikte izlenerek haritalama işlevi gerçekleştirilir.
5.	Hâlihazırdaki durumun değer akış haritalandırması yapılır.
6	Çevrim süresi, operatör sayısı, kalıp değiştirme süresi vb. süreç bilgileri mevcut durum değer akış haritalama sürecinde toplanarak haritaya kaydedilir.
7.	Mevcut durum değer alış haritasından faydalanarak israf sağlayıcıların kaldırılması ve tüketici açısından değer artırılması amacıyla yalın teknikler kullanılmasıyla ileriki zamana ilişkin durum değer akış haritası çizilir.
8.	İleriki zaman durum haritası için eylem planı oluşturulur.
9.	Sürekli iyileştirme çalışmaları ile gelecek durumu gerçekleştirilir.

Tablo 2.5. Değer Akış Haritalama Yönteminin Uygulama Adımları

Kaynak: (Rocher ve Stock,1999; Allen vd., 2001)

Haritalama işlemi için; bilgi akışı, donanım akışı ve genel olmak üzere üç alt sınıfta ortak dil görevi gören belli semboller kullanılmaktadır (Rother ve Shook, 1999). Genel olarak kullanılan semboller Şekil 2.4.’de sunulmuştur.



Şekil 2.4. Kullanım Sembolleri

Kaynak: (Kaizen Atölyesi, 2022)

2.4.2. 5S

İşletmeler ürün kalitesini artırırken verimlilik artışı sağlayan yalın üretim tekniklerine başvururlar. Yalın üretim tekniklerinden sıklıkla ve temel olarak kullanılan bileşenlerden birisi de 5S tekniğidir (Yıldırım, 2017). 5S kavramının açılımı şu şekildedir (Veres vd., 2018):

- Seiri (sort – ayıklama)
- Seiton (set in order – düzenleme)
- Seiso (shine – temizleme)
- Seiketsu (standardize – standartlaştırma)
- Shitsuke (sustain – disiplin)

5S tekniği, çalışılan alanın temiz, kusursuz, güvenli olabilmesi hususunda alanın düzenlenmesine yardımcı olarak verimli bir faaliyet ortamı elde edilmesine fırsat sunan ve dünya genelinde en çok tanınan ve uygulanmaya çalışılan bir yalın üretim tekniğidir. Dünya standartlarında bir statüye sahip olabilmek, sorumlu bir üretici olarak bilinmek isteyen işletmeler için 5S bir başlangıç noktasıdır (Gürsoy, 2020).

5S yöntemi gereçten, zamandan artırmayı ve kalite firelerini minimum seviyeye indirmeyi sağlamak amacıyla düzenli bir çalışma ortamı sunan sürekli bir süreçtir (Kennedy ve Brewer, 2006). Ayrıca; bu teknik ile iş ortamının düzenli olması, fazladan stok oluşmasına engel olunması, donanım ve çalışan çabasının boşa harcanmaması gibi unsurlar ön plana çıkmaktadır (Tekin vd., 2018a). 5S tekniğini oluşturan beş basamak Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. 5S Tekniği Adımları

Kaynak: (Veres vd., 2018)

Yalın üretim tekniklerinden 5S yöntemi adımları; ayıklama, düzenleme, temizleme, standartlaştırma ve disiplin aşağıda Tablo 2.6.'da detaylı olarak açıklanmıştır.

AŞAMALAR	AÇIKLAMA
1 Ayıklama (Seiri)	Sadece ihtiyaç duyulacak materyalleri bulundurmaya ilişkin malzemeleri ayırmak ve gerekli olmayan şeyleri ortadan kaldırarak işyerini temizlemek ve düzeni sağlamak.
2 Düzenleme (Seiton)	Gerekli olan takım ve donatının kolay bir şekilde kullanılmasını sağlayacak biçimde konumlandırılması ve tekrar kullanım söz konusu olduğunda basit olarak bulunacak biçimde düzenli bir şekilde etiketleme yapılması.
3 Temizleme (Seiso)	Çalışma ortamlarında ve makinelerde ortaya çıkan her türlü kirliliğin düzenli olarak temizlenmesi ve kirliliğe sebep olan kaynakların tespit edilerek önlenmesini sağlamak.
4 Standartlaştırma (Süreklilik) (Seikutsu)	İlk üç adımın sistematik olarak yürütülmesini sağlamaktadır. Standart yöntemler kullanılarak prosedürün belgelenmesi, alışkanlık olarak benimsenmesi ve görsel ve işlevsel araçlar ile desteklenmesi ve standartlaştırılmasıdır.
5 Disiplin (Shitsuke)	5S tekniğinin en zor ve son adımıdır. Sürekli olarak yerleşik metotları devam ettirmek, iş prosedürlerini denetlemek, 5S tekniğini alışkanlık olarak benimsetmek ve kültüre entegre etmektir.

Şekil 2.6. 5S Tekniği Adımları Açıklamaları

Kaynak: (Yıldırım, 2017; Gürsoy, 2020; Allen vd., 2001; Monden, 1994)

5S tekniği ilk aşamada çok önemli bir çalışma gibi gözükmeyebilir, fakat işletmeye kattığı faydalar oldukça fazladır (Gürsoy, 2020). 5S yönetimini uygulayan işletmeler hakkında çok miktarda başarı hikayesi mevcuttur. Bir metal üreten işletme 5S yöntemi uygulayarak stok devir hızını %67 ve stok miktarını %35 azaltmış aynı zamanda dağıtım sresindeki güvenirliği % 99'a çıkarmıştır. Diğer bir örnek olarak, bir pencere üretimi yapan işletme üretkenliğini %35 arttırmış ve ekstra mesaiyi %45 azaltmıştır (Orr ve Orr, 2014).

2.4.3. Kanban

Kanban sözlü talimat, bayrak, ışık veya bir el işareti olan ve çekme sistemine dayanan, kart veya tabela manasında sinyal kartı olarak tanımlanan Japonca bir kelimedir. Yalın retimde tekniklerinden biri olan Kanban; havacılık, perakende giysiler, yazılım geliştirme, insan kaynakları ve sağlık hizmetleri gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Kanban sistemi düşük maliyetle ve düşük seviyede stok ile yalın felsefe için üretim stratejilerinden biridir. Kanban sistemi doğru modülün, doğru seviyede, doğru yerde ve doğru zamanda elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu teknik üretim sürecinde ekipman akışını denetleyen ve gözetten bir işleyiştir (Aguilar-Escobar vd., 2015; Rahman ve Esa, 2013; Naufal vd., 2012). Ayrıca, Kanban yöntemi üretim ve ekipman akışını denetlemek için uygulanan bir yalın üretim tekniğidir. Kanban yönteminin imalat sektörüne sağladığı faydalar aşağıda sıralanmıştır (Aguilar-Escobar vd., 2015):

- Süreci bitmeyen faaliyetin sınırlandırılması,
- Üretim prosesinin kontrol ve takip edilmesi,
- Görsel zamanlama,
- Akışın iyileştirilmesi,
- Farklılıklara cevap verilmesi,
- Çok yüksek seviyede üretim kolaylaştırılması,
- Fazla olan üretime engel olma,
- Kapasite kullanımı konusunda iyileştirme yapılması,
- Üretim sürecine dayalı zamanın azaltılmasıdır.

Kanban sistemi tam zamanında üretim faaliyetinin önemli bir parçasıdır. Tam zamanında üretimin yapılması için imalat esnekliğinin sağlanması gerekmektedir. Esneklik, Kanban yöntemiyle sağlanabilir (Yıldırım, 2017). Acar vd. (2006)'ne göre, Kanban yönteminin sunduğu önemli faydanın birisi de firelerin nerede ve ne zaman oluştuğunun hızlı bir şekilde belirlenebilmesi ve firelerin incelenerek gerekli işlemlerin aranmasıdır (Acar vd., 2006).

Üretim sipariş kanbanı olarak itme ve çekme kanbanları faaliyette en sık rastlanan kanban çeşididir (Okur, 1997). Hıranabe (2008) makalesinde itme ve çekme kanbanını aşağıdaki şekilde ifade etmiştir;

- İtme (Üretim) Kanbanı: bir imalat süresince üretilmesi gereken çıktı miktarını gösteren kart.
- Çekme Kanbanı: sonraki imalat sürecinde önceki üretim adımlarından çekmesi gereken ürün miktarını gösteren kart.

Yalın üretim tekniklerinden kanban sisteminin çeşitleri ve bunlara yönelik saptamalar Tablo 2.7'da özetlenmiştir.

Kanban	Saptamalar
Çeşitleri	
İtme (Üretim) Kanbanı	Ait olduğu üretim hattında ya da atölye de üretmesi gereken çıktının çeşit ve miktarını belirler. Üretimin yapılması aşamasında üretime geç sinyali vermesi ile kullanılır. Üretim sürecinde devamlı olarak bir sonraki basamağın ihtiyacını karşılayacak şekilde üretim yapılır.
Çekme Kanbanı	Montaj hattından başlayarak değişik atölyeler arasında ve sonunda imalathane ile yan sanayiler arasında çıktı ya da materyal çekilmesi esnasında kullanılır. Talebin çektiği sistemler olarak ifade edilir.

Tablo 2.6. Kanban Çeşitleri ve Saptamalar

Kaynak: (Hıranabe, 2008)

2.4.4. Toplam Verimli Bakım (TVB)

Toplam Verimli Bakım (TVB) Modeli, ekipman verimliliğini optimize eden ve işletmelerde ortaya çıkan fireleri yok ederek, sıfır arıza, sıfır kayıp, sıfır hata felsefesini amaçlamaktadır (Eşme ve İlhan, 2003). Ayrıca, TVB yöntemi işletme personelinin moralini, motivasyonunu iş tatminini, verimliliği ve kaliteyi artırmayı hedeflemektedir. Diğer taraftan, toplam verimli bakım önceleri değer yaratmayan bir yöntem olarak algılanırken, günümüzde ise kullanılan makinelerin uzun vadeli kullanılabilir olması için katma değeri yüksek bir strateji olarak görülmektedir (Singh vd., 2013).

Toplam Verimli Bakım yöntemi ile makinelerin daha az arızalanması, verimliliğinin artırılması ve uzun ömürlü bir faydalanma süresi sunmasıyla işletmeye fayda sağlamaktadır. Faydalar aşağıdaki gibi ifade edilir (Görener ve Yenen, 2007):

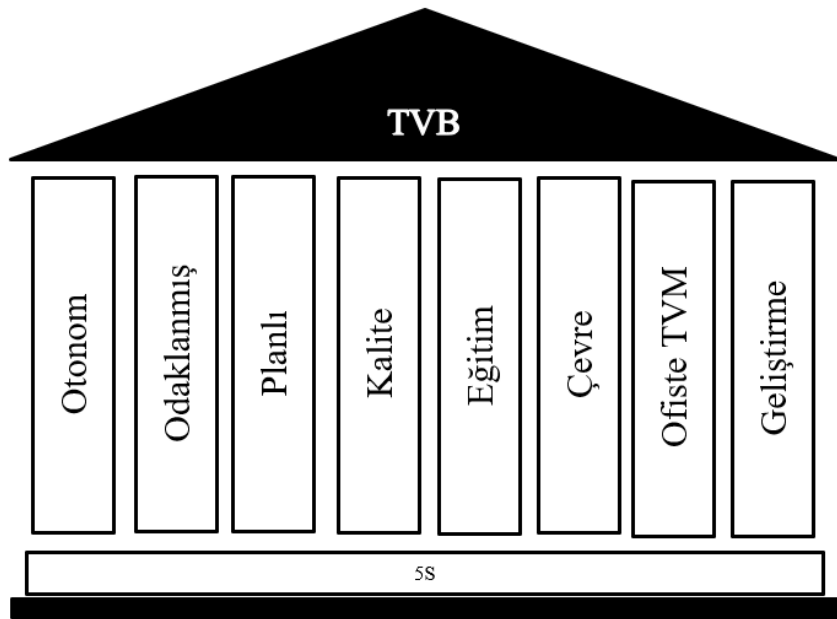
- Stokların azaltılması (Sıfır Stok),
- Atıkların azaltılması (Sıfır hatalı imalat),
- Ekip çalışmalarının arttırılması,
- İyileştirme kültürünün arttırılması,
- Tersane verimliliğinin arttırılması, (Sıfır bekleme süresi, sıfır hatalı imalat, sıfır personel kaybı)
- Çıktı kalitesinin arttırılması, firelerin azaltılması (Sıfır hatalı imalat)
- Mesleki kayıpların azaltılması (Sıfır personel kaybı)
- Onarım kalitesinin arttırılması, arızaların azaltılması (Sıfır personel kaybı, Sıfır bekleme süresi)
- Gelenek dönüşümünün sağlanması,
- Teknik eğitimin çoğaltılması.

TVB, “Çıktı kalitesi, eylemsel etkinlik, verimlilik organizasyon görevleri arasındaki, özellikle onarım ve verimlilik arasındaki güvenlik hususunda sürekli olarak iyileştirme için bağlılığa” dayalı bir anlayış olarak ifade edilmektedir (Shen, 2015: 427). Genel olarak verimlilik ve aktif bir şekilde işçi katılımında sürekli iyileştirme anlamına da

gelmektedir. Ayrıca toplam verimli bakımının üç ögesinin olduğu ifade edilmektedir (Shen, 2015):

- Donanımın sürekli olarak iyileştirilmesi konusunda farkındalık,
- Donanımın bakım ve onarımı hususunda sorumluluğun ortak olarak paylaşılması,
- Donanımdaki bağımsız çalışma gruplarının üzerinde durulmasıdır.

TVB yöntemi; arızaları ortadan kaldırmak, verimliliği ve kaliteyi artırmak gibi hedeflerine ulaşabilmek amacıyla, sekiz sütun içeren metodoloji, yani uygulama planı içermektedir. Bu uygulama planı ile faaliyetleri mükemmel olarak planlama, organize etme, izleme ve kontrol etmenin uygulanabilirliğine imkân sunmaktadır. TVB'nin 8 sütun içeren uygulama planı; otonom bakım, odaklanmış bakım, planlı bakım, kaliteli bakım, eğitim ve öğretim sağlık-güvenlik-çevre, ofiste TVB ve geliştirme yönetimini içermektedir (Ahuja ve Khamba, 2008). Şekil 2.6.'da toplam verimli bakımının sekiz sütunlu yöntemi sunulmuştur.



Şekil 2.7. TVB – Sekiz Sütun Yöntemi

Kaynak:(Ahuja ve Khamba, 2008)

Birçok işletme çalışma stratejisini geliştirmek amacıyla yalın üretim aracı olan toplam verimli bakım tekniğini uygularlar. Diğer taraftan Görener ve Yenen (2007) 'e göre TVB uygulanmasındaki basamaklar aşamalı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

1. Hazırlık Aşaması

- Yöneticiler tarafından TVB tekniğinin uygulanacağını ilanı: üst yönetim konuyu ve bu konudaki hassasiyeti duyururlar ve personeli genel olarak bilgilendirerek tekniğin faydası açıklanır.
- TVB kapsamında tanıtım ve eğitim çalışmalarına başlanması: seviyesine göre personele eğitim verilir ve motive edilmeye çalışılır.
- Organizasyonel sistemin kurulması: yöneme dayalı sürekliliği sağlamak amacıyla organizasyon oluşturarak, kurallar tanımlanarak işlerlik sağlama aşamasıdır.
- TVB hususunda temel politika ve hedeflerin tanımlanması: Mevcut koşulların incelemesini yaparak politika ve hedeflerin belirlenme adımıdır.
- TVB yöntemine yönelik ana planın belirlenmesi: detaylı olarak uygulama planı hazırlanır.

2. Uygulama Aşaması

- TVB yöntemine başlangıç bildirisi yapılması: planın hazırlanma aşamasının ardından personelin katılımıyla gerçekleşen bir faaliyet ile çalışmalar başlatılır.
- Donanım yönetim sisteminin kurulması: eksiklikleri önleyecek çalışmalara ve sürekli iyileştirme ekiplerinin faaliyetleri üzerine odaklanılır.
- Otonom bakım yapısının sağlanması: oluşan arızalara yönelik önlemler alınması ve bakım ve onarımın bir kısmının yerinde yapılmasının sağlanmasıdır.
- Planlı bakımın geliştirilmesi: Bu aşama üretim gereçlerinin grup haline getirilmesini, araçlara ait klasör kurulmasını, alt grupların ayrıştırılmasını, gerçekleştirilecek faaliyetlerin nitelendirilmesini ve uygulamanın izlenmesini ve denetlenmesini kapsamaktadır.
- Önleyici mühendislik işlemlerinin yapılması: kazanım çıktılarının yeni donanımlara aktarılması ve ömür çevrim maliyetine yönelik analiz yapılmasıdır.

- Operasyon ve bakım yetenekleri iyileştirilmesi için eğitim: şirkette çalışan tüm personel için eğitimlerin daimilik kazanmasıdır.

3. Süreklilik Aşaması

- Toplam Verimli Bakım yönteminin korunması ve yeni hedeflerin belirlenmesi: gerçekleştirilen faaliyetler üzerinde değerlendirme yapılmasını ve hedeflerin güncellenmesini içermektedir.

2.4.5. Andon Sistemi

Andon sistemi işlemlerin vaziyetini ve sıkıntıları anında görülmesini sağlayan ve sesli bir uyarı veren, uygulama ekibine ve imalat yöneticilerine öğrenme fırsatı sunan görsel bir yönetim aracıdır (Kemmer vd., 2006).



Şekil 2.8. Andon Uyarı Sistemi

Kanyak:(Werma, 2022)

Andon uyarı sistemi, ilk olarak Japonya’da Toyota üretim hattında kullanılmış olup, verimlilik sağladığından dolayı tüm dünyaya kullanılmaya başlanılmıştır (Andon, 2003). Üretim hattında bir sorun ile karşılaşıldığında teknisyen kabloyu çekerek ekran aydınlatmasını ve üretim santraline özgü bir sinyal verilmesini sağlayarak üretim idarecisine haber verir. Üretim idarecisi sıkıntıyı hızlı bir şekilde çözümler ve tekrar hattın çalışmasını sağlar. Bu sayede sorunlar ortadan kaldırılmadan bir sonraki aşamaya geçilmemekle birlikte, hatalı ürün üretilmesine izin verilmeyerek kaliteli ürün üretilmesini olanak tanır (Liker, 2004).

Andon uyarı sisteminin işletme açısından faydaları aşağıda sıralanmıştır (Andon Industrial Production Line Monitoring System, 2022):

- İmalatın kontrolünün yapılması,

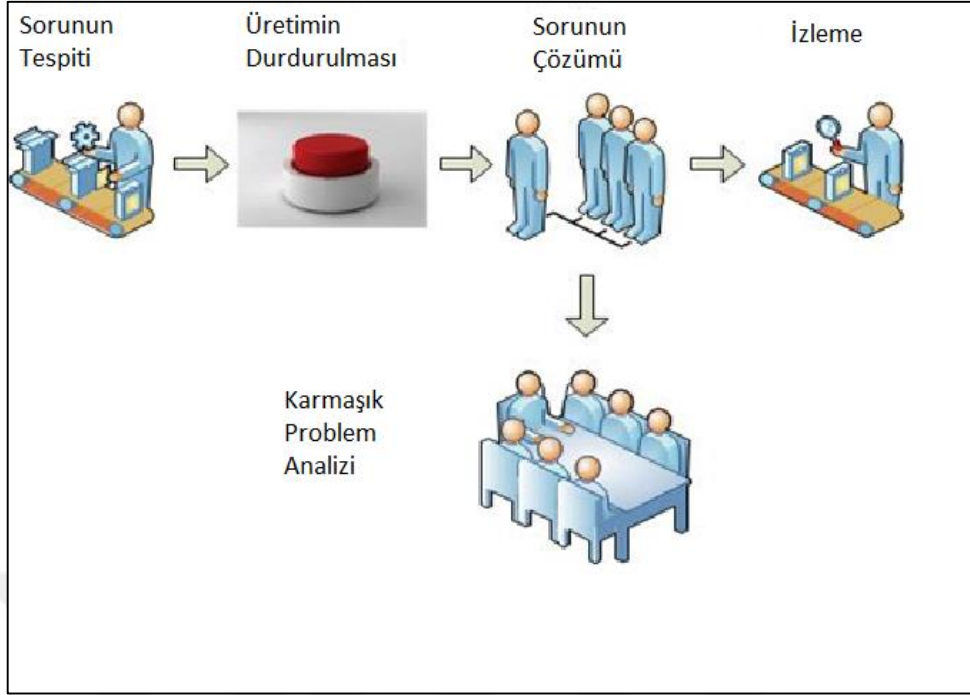
- Oluşan arızaların raporlanabilmesi,
- Sıkıntıları karşı düzeltici tedbirlerin alınabilmesi,
- Bir sorun meydana geldiğinde çalışanı dürterek düzeltici aksiyon almasını sağlaması ve teknisyenin zaman kaybını önlemesi,
- Daha dinamik ekipman ve çalışan izlenmesine olarak tanınması olarak ifade edilebilir.

2.4.6. Jidoka (Otonomasyon)

Jidoka kelimesi otonomasyon kelimesinin Japonca'daki ifade ediliş biçimidir. Jidoka kavramı, Sakichi Toyoda'nın herhangi bir iplik koptuğunda otomatik olarak duran dokuma tezgâhı icadı ile ortaya çıkmıştır. Daha öncesinde, bir iplik koptuğunda, tezgâh kusurlu kumaş yığınlarını çalkalıyordu bu nedenle her makinenin bir operatör tarafından izlenmesi gerekiyordu. Toyoda'nın yeniliği, bir operatörün birçok makineyi kontrol etmesini sağlamıştır (TUZZit, 2022).

Jidoka, makinalarının düzgün bir şekilde kullanılması ve personel-makina arasındaki ilişkinin eylem ataklığının maksimum seviyede sağlanması anlamına gelmektedir (Ohno, 1996). Yalın üretimin ana felsefesi olan israfların yok edilmesi fikri, ana taşlardan biri olan Jidoka'ya dayanmaktadır (Sivaslı, 2006).

Jidoka yöntemi imalat aşamasında bir hata meydana geldiğinde, hatayı durdurmayı ve ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. İlave olarak birçok personel tarafından hata oranlarına ilişkin %1-3 düzeyi kabul edilir bir düzey olarak görülse de Jidoka tekniği fire oranını sıfır olarak hedeflemiştir (Kılıç, 2014). Jidoka yönteminin işleyişi Şekil 2.8. gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Jidoka İşleyişi

Kaynak: (Wawak, 2022)

Diğer bir taraftan, Jidoka uygulamaları üretim sürecine bazı faydalar getirmiştir. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Kılıç, 2014; Yazgan vd., 1998; Arslandere, 2017):

- Çalışanların makine faaliyetlerini kontrol etme ihtiyacını ortadan kaldırması (Sıfır fazla süreç kaybı, Sıfır zaman kaybı),
- Çalışanların birçok makineyi işletebilmesi,
- Kusurlu parça üretimini önlemesi ve hata olduğunda durdurabilmesi,
- Çalışanın bir sorun tespit edildiğinde üretim hattını durdurma rolüne sahip olması ve sürece dahil edilmesi ile insana saygı kültürünün gelişmesi (Sıfır işgücü kaybı),
- Benzer sorunların tekrarının önlenmesi,
- Sorunlara anında müdahale edilebilmesi,
- Hata oluşumunun engellenmesiyle birlikte işgücü sayısında azalma ve sonucunda maliyetlerin azalması (Sıfır işgücü kaybı),
- Müşteri taleplerine uyum sağlama konusunda verimliliğin artması, üretim hattında sorunsuz parçalar üretilmesi, fazla envanterin oluşumunu engellemesi, (Sıfır stok)

- Tam zamanında imalat yapılması ihtiyaç dalgalanmasına hızla cevap verilmesi (Sıfır zaman kaybı),
- Hurda/geri iade oranının düşmesi (Sıfır hatalı üretim).

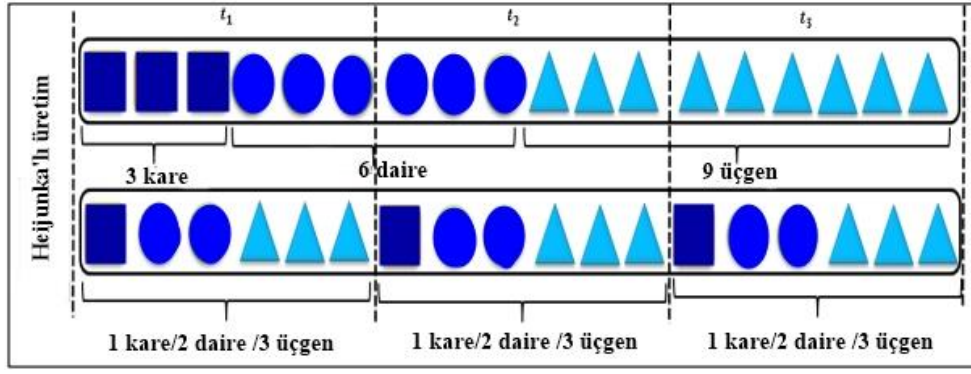
2.4.7. Heijunka (Sıralı Üretim-Üretim Seviyelendirme)

Heijunka, en basit şekilde üretim dengeleme olarak ifade edilebilir. Heijunka yöntemi Toyota üretim sisteminde yüksek kalitede, düşük maliyetle ve teslim süresi kısalığıyla çıktı vermesine imkân sunan önemli faktörler arasında yer almaktadır (Hakansson vd, 2018).

Teece vd. (1997), Heijunka'yı rekabet gücünü üst seviyeye çıkartabilecek etkin bir üretim kabiliyeti veya rutini olarak ifade etmiştir.

Heijunka, aynı zamanda işletmeyi işlem gerçekleştirilecek işler sırasındaki değişkenlikten uzak tutan bir yalın üretim tekniğidir. Ayrıca, Heijunka yöntemi ile ürünleri istenilen ve daha az istenilen olarak seviyelendirme işlemi yapılması ve bunlar arasında değişen söz konusu dizi ile aynı ürün dizisini sıralama yapılarak üretimin gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Hüttmeir vd., 2009).

Heijunka, işletmenin imalat hattında çıktıların, türüne ve hacmine göre sıralı bir şekilde üretilmesi olarak ifade edilir. Heijunka yöntemi sıralı üretim ile ihtiyaçlardaki dalgalanmaları alt seviyelere taşıyarak veya ortadan kaldırarak verimliliği arttırmaktadır. Bununla birlikte, tüketici memnuniyeti sağlanmaktadır (Yılmaz, 2010). Heijunka'lı (sıralı) üretim yönteminde üretim planlaması küçük miktarlar halinde ve eş sayıda gerçekleştirilmektedir. Heijunka tekniği Şekil 2.9.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Heijunka'lı Üretim Sistemi Şematik Gösterimi

Kaynak: (Akarsu, 2019)

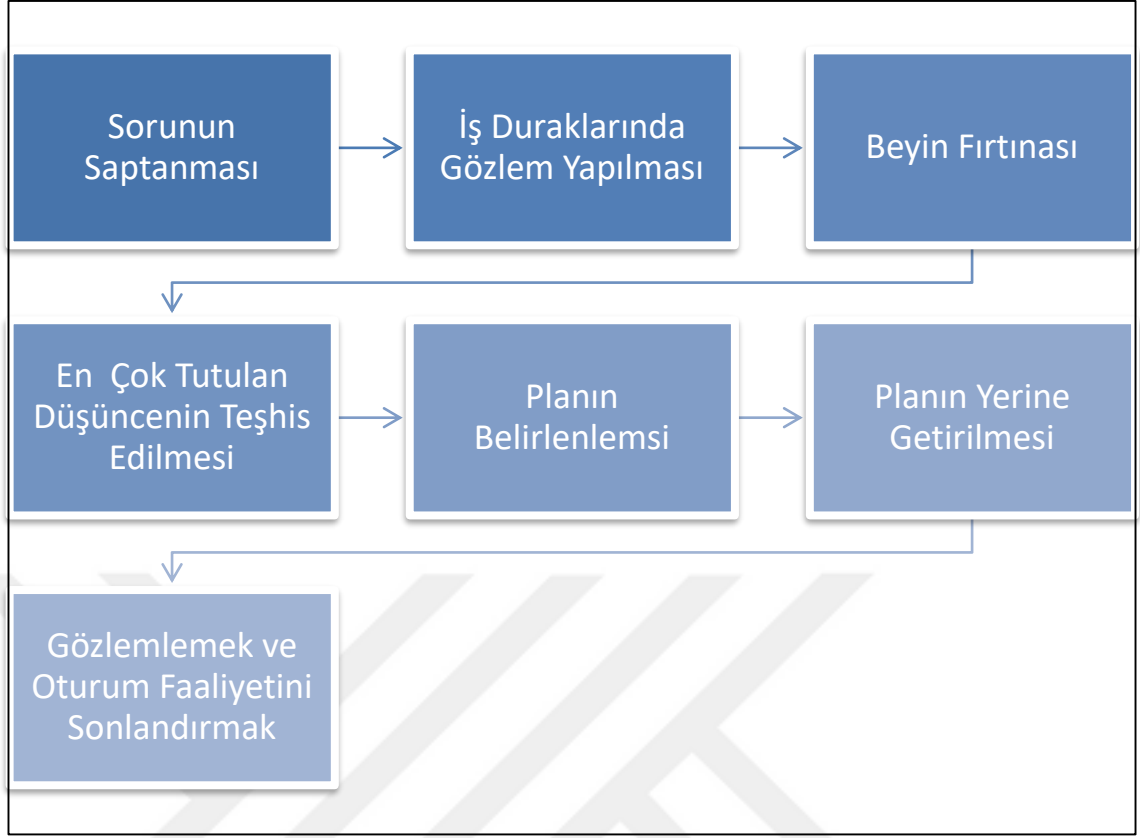
2.4.8. Poka-Yoke

Poka-Yoke, tüketici memnuniyetsizliğine sebep olan hataların oluşmasına engel olan, üretim tasarlama ve planlama tekniğidir. Tüketici odaklı olan yöntem ile hataların var olma olasılığı engellenmektedir. Ayrıca, Poka-Yoke tekniği sıfır hataya ulaşabilmek için kullanılan önemli tekniklerden biridir (Zerenler ve Karaboğa, 2014).

İşletmeler dört ana gruptan oluşan üretim süreçlerine sahiptir. Bunlar (Zerenler ve Karaboğa, 2014);

- Faaliyet (kurma, demontaj, nitelik ve şekilde değişiklikler),
- Muayene (standartla karşılaştırma),
- Gönderme (yer değiştirme),
- Gecikmeler (fayda kazandırmadan bekleyen hususlar) şeklinde sıralanabilir.

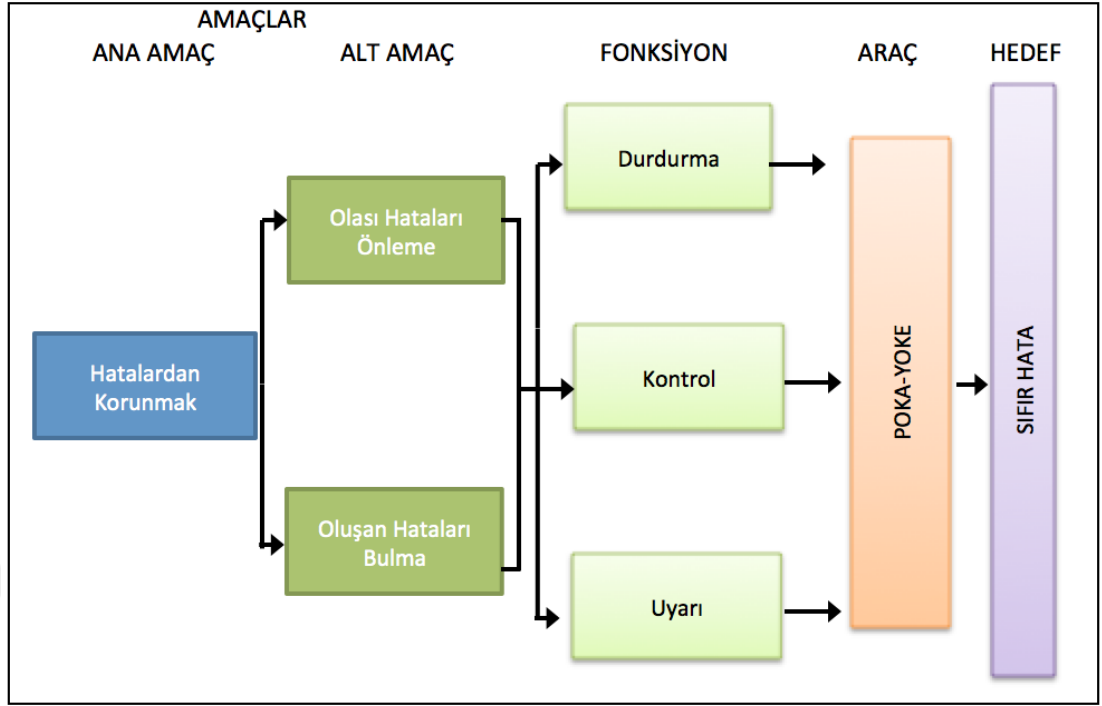
Üretim süreçlerinde, faaliyet ve muayene aşamalarında uygulanan Poka-yoke yöntemi, kalitede bir aksaklık söz konusu olduğunda elimine edilmesine olanak tanır (Shingo, 1986). Poka-Yoke hataların önlenmesi ile onların oluşmasına sebep olacak unsurları da reddeder. Bu yöntemin ana rolü hataların minimum süre zarfında tespit edilmesidir. Poka-Yoke tekniğinin uygulanmasında belli başlı ilkeler bulunmaktadır (Dudek-Burlikowska ve Szewieczek, 2009). Şekil 2.10.'de bu kapsamda önemli olan ilkeler gösterilmiştir (Kumar vd., 2016).



Şekil 2.11. Poka-Yoke Tekniği İlkeri

Kaynak: (Kumar vd., 2016)

Poka-Yoke tekniğinin hataları bulma ya da önleme amacına ulaşabilmesi için durdurma, denetim ve ikazdan oluşan üç fonksiyondan herhangi biri ya da beraber uygulanması gerekir (Arslandere ve Tekin, 2017). Poka-Yoke tekniğinde hedef için amaç ve görev ilişkisi Şekil 2.11.'da gösterilmiştir.



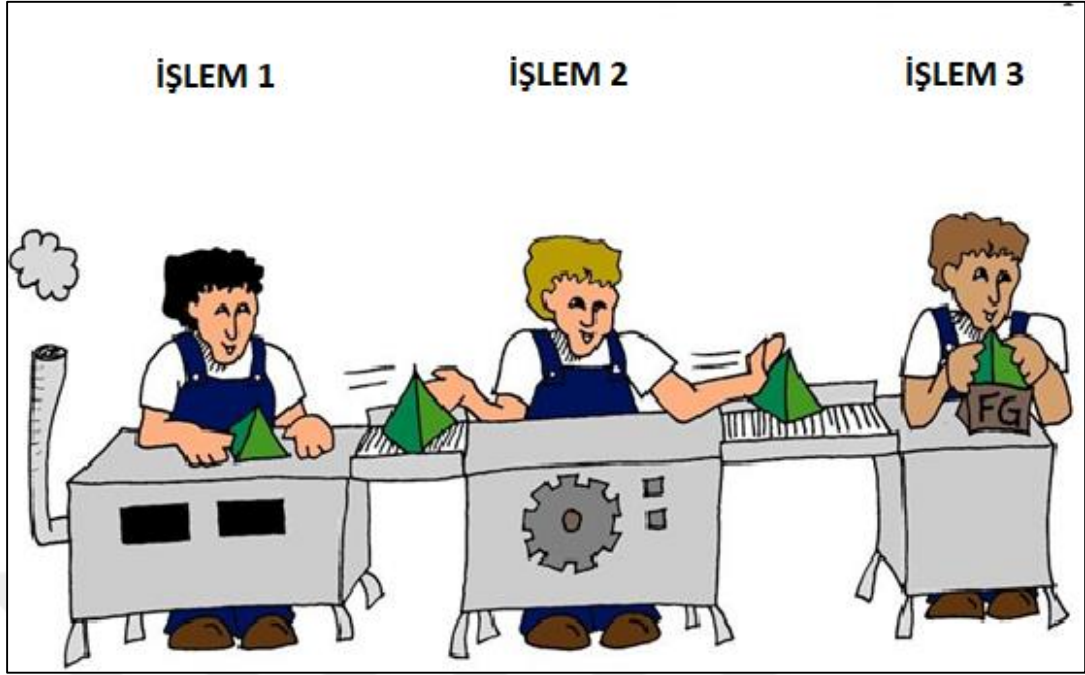
Şekil 2.12. Poka-Yoke Tekniğinde Hedef İçin Amaç ve Görev İlişkisi

Kaynak (Güngör, 2003)

2.4.9. Tek Parça Akışı ve Hücresel İmalat

Tek parça akışı çıktıya ait parçaların; üretim süreci boyunca beklemeye, taşımaya ve depolamaya fırsat vermeden ürüne ve sürece odaklanarak aktarılması ilkesine dayanmaktadır. Üretilcek üretim parti büyüklüklerinin aşamalar ve makineler arası transferde bir adet olacak şekilde indirilmesiyle birlikte, stok durumunun yok edilmesi olarak da ifade edilmektedir (Aslantaş, 2014). Ayrıca, tek parça akış tekniği kullanan işletme, tüketici ihtiyacını yanıt verebilmek amacıyla Tam Zamanında Üretim (TZÜ) yöntemini kullanmaktadır.

Tek parça akış yöntemi ile tüketici siparişini uzun kuyruk zamanları olmadan minimum sürede üretebilmek için, aşamaları bu amaca uygun olarak akış düzenlenebilir (Liker, 2005). Yöntemde, çıktıya yönelik öğeler birer birer işlenerek bir bütün haline getirilir. Böylece, üretim aşamaları safhasındaki ulaşım gibi unsurlar olmadan bileşenlerin sürekli olarak akışı sağlanmaktadır (Gornicki, 2014).



Şekil 2.13. Tek Parça Akış

Kaynak: (Docplayer, 2022)

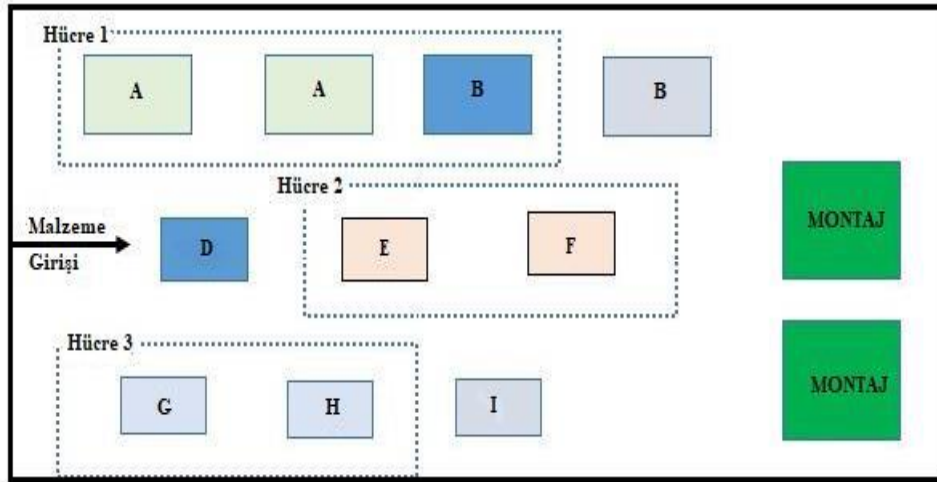
İşletmede tek parça akış yöntemine yönelik çalışanların bir faaliyeti gerçekleştirerek yığmak üzerine kurulu bir üretim anlayışı ile daha verimli olunduğu görüşüne karşın, Tek parça akış yönteminin başarılı bir biçimde uygulanmasıyla işletmeler için birçok faydası bulunmakta olup aşağıda özet olarak sunulmuştur (Dal, 2022):

- Müşteriye veya ardından gelen sürece olan cevap süresini kısaltmaktadır, bu sayede stokların azalmasını sağlamaktadır.
- Üretim sürecinde hat akışındaki bekleme sürelerini görünür kılarak iyileştirme avantajları ile akışın verimliliğini artırır.
- Darboğazları ortaya çıkararak müşteri talebine ilişkin teslimlerin geç olmasının kaynağının bulunmasına ve çözümlenmesine imkân tanır.
- Kaliteye yönelik sıkıntıları bir kısım ürün ile çalışmak yerine bir miktar ürünle çalışarak kalite maliyetinin azaltılmasını sağlamaktadır.
- Şirket bünyesinde yer kazanımına ve sermaye ihtiyaçlarının azaltılmasına katkı sağlar.
- Heijunka, Jidoka gibi yalın üretim uygulamalarının kullanılmasına fırsat tanır.

- Toplam kaliteye yönelik personel sorumluluğu artar.
- Miktar değişikliği olduğunda ya da çalışan olmadığı takdirde sıkıntılar ile karşılaşılmaz.
- Çıktının ve hacmin belirlenmesi hususunda kolaylık sağlar.

Hücresel imalat, partiler şeklinde üretimi daha verimli olması yönünde ve bununla birlikte işletmelerin tasarım ve üretim işlevlerinin bütün olarak benimseyen bir yalın üretim tekniğidir (Şeker, 2016). Hücresel imalat, temelinde grup teknolojisi ilkesine dayanarak makinelerin hücresel olarak gruplandırılarak düzenlenmesini sağlamaktadır. Bu hücresel düzenlenme amacı aşağıda ifade edilmiştir (Rusli vd., 2012);

- Yarı mamul stokların durgunluğunu alt seviyelere indirmek,
- Donanım akışını iyileştirmek,
- Üretim tedarik süresini düşürmek,
- İmalat akışına esneklik sağlamaktır.



Şekil 2.14. Hücresel İmalat

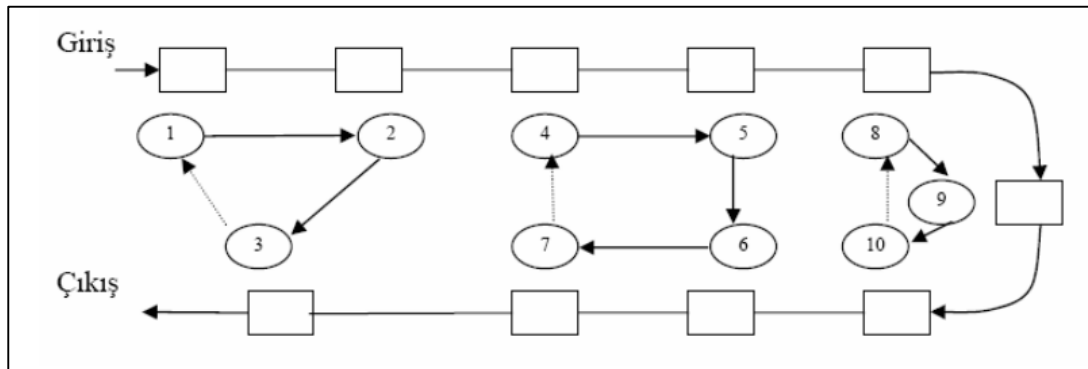
Kaynak: (İnce, 2018)

Hücresel imalat genel olarak birbirlerine benzeyen parçalardan bir küme, aile oluşturulmasıyla birlikte fiziksel anlamda birbirlerine bitişik olarak konumlandırılmış değişik makinalardan oluşan bir sistemdir (Sevindirici, 2009).

2.4.10. Shojinka- U-tipi Üretim Hattı

Yalın tekniklerinden biri olan U tipi üretim hattında, işlemlerin gerçekleştirilmesi için makineler U şeklinde düzenlenir ve hatta çalışan personel bu U tipi düzenin içerisinde çalışır. Üretim hatları basit veya birleşik düzende olabilmektedir. Üretim sürecindeki ihtiyaçlara göre, dönemsel olarak üretim hatlarına yönelik dengeleme faaliyeti yapılması gerekmektedir. U şeklindeki imalat hatlarında, bir ürün nihai hale getirildikten sonra ancak başka bir ekipmanın hatta girişinden bahsedilebilir. Dolayısıyla, hat akışında yer alan makineler arasında sadece bir parça süreç için stok yer almaktadır. Sadece süreç içi stok bulunmasından dolayı, bir sorun ile karşılaşıldığında imalat hattı kolayca durdurulabilir (Miltenburg, 2001).

U tipi üretim hattına sahip işletmelerde, müşteri taleplerine yönelik değişikliklere hatta çalışan personel düzenlemesi ile cevap verilir esnekliğin sağlanmasına “Shojinka” adı verilmektedir (Ayçın, 2016). Ayrıca Shojinka U şeklinde makine düzenlemesi kullanılmasıyla yarar sağlamayan iş gücü eylemlerinin azaltılması olarak da ifade edilmektedir. Shojinka üretim hattında yer alan makinelere materyal yüklenmesini ve alınması hususunu otomatikleştirerek hatta çalışan personelin birden fazla makineyi kullanabilir olması olarak tanır (Bulut, 2012). Şekil 2.14. ‘de U tipi üretim hattı gösterilmiştir.



Şekil 2.15. U Tipi Üretim Hattı

Kaynak: (Monden, 1998)

2.4.11. SMED (Single Minute Exchange of Dies-Tekli Dakikalarda Kalıp Değişirme)

Tekli Dakikalarda Kalıp Değişirme sistemi, üretim sürecinin hazırlanmasına yönelik geçen zamanın 10 dakikadan daha az sürede olması yönünde tekli dakikalara indirilmesini ve tüketici ihtiyaçlarına düşük israf seviyesiyle karşılık verilmesini amaçlamaktadır (Shingo, 1996).

SMED yöntemi, tedarik için geçen süresinin azaltması ile tüketici istemlerine hızlıca karşılık verilmesini sağlamaktadır. Tekli Dakikalarda Kalıp Değişirme yöntemi ile üretim sürecinde donanımda meydana gelebilecek hataların oluşumunu azaltabilmektedir (Martins vd., 2018).

SMED yönteminin işlevine yönelik 5 basamak aşağıda özet olarak sunulmuştur (Godina vd., 2018).

- Gözlem ve kayıt faaliyetinin gerçekleştirilmesi.
- İç ve dış sorumluluklar arasında ayırım yapılması.
 - İç sorumluluklar makinenin faaliyet göstermediği zamanda değişim işlemi anında gerçekleştirilen işlemleri içermektedir.
 - Dış sorumluluklar kesinti işleminden önce ve duruşma sırasında gerçekleştirilmeyen faaliyetlerdir.
- İç sorumluluk sayısını büyük oranla dış sorumluluk haline getirme.
- Tüm sorumlulukları kolaylaştırmak.
- İç ve dış sorumlulukları belgelemek.

SMED yöntemi işletmeye birçok fayda sağlamaktadır. Bu faydalar aşağıda özet olarak sunulmuştur (Digra ve Sharma, 2014):

- Üretim faaliyetine yönelik daha az zaman harcanması.
- Makinelerin çalışma faaliyetlerinde artış ile donanımdan fayda sağlamama oranının artması.
- Verimlilik artışı sağlanması.

- İşlevsel hataların azalması ile daha az kusurlu imalat yapılması.
- Hammaddeye ilişkin ihtiyacın az olmasıyla stoklama maliyetlerinin alt seviyelere inmesi.
- Stok seviyelerinin az olmasından dolayı depolama alanı ihtiyacından tasarruf edilmesi.

2.4.12. Tam Zamanında Üretim (TZÜ)

Tam Zamanında Üretim yöntemine yönelik literatürde birçok tanımlama mevcuttur. Monden'e göre (1983). TZÜ "gerekli ürünleri gerekli miktarlarda üretme yaklaşımı" olarak ifade edilmiştir (Monden, 1983). Diğer taraftan, Crawford ve Cox, tam zamanında üretim yöntemini "bir üretim işletmesinde verimsizliklerin sürekli elimine edilmesi suretiyle mükemmelliğe ulaşma yaklaşımı" şeklinde tanımlamıştır (Crawford ve Cox, 1991: 34).

TZÜ'nün üretim çalışmaları açısından ürünlerin kalitesinin artırılması, maliyetlerinin indirilmesi ve ürünlerin dağıtım potansiyelinin artırılması gibi amaçları mevcuttur (Brinker, 1996). Aynı zamanda tam zamanında üretim yönteminin asıl amacı daha geniş kapsamlı olarak aşağıda sunulmuştur (Zerenler ve Iraz, 2006):

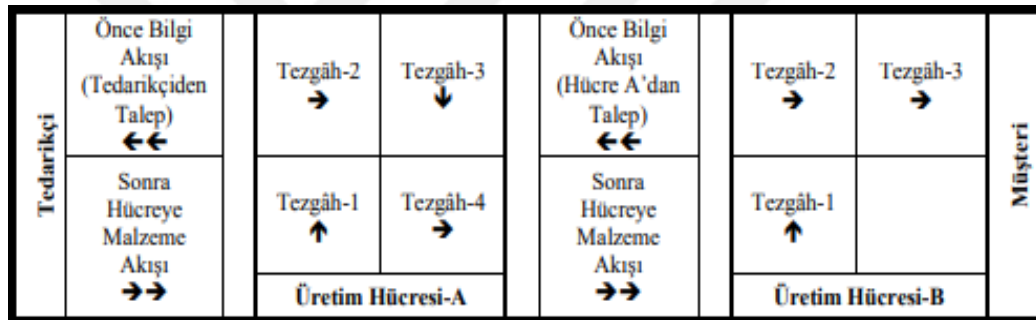
- Sıkıntılı ürün sayısının sıfır seviyesine indirilmesi.
- Üretilen ürünlerin ön hazırlık süresinin sıfır seviyesine indirilmesi.
- Stok seviyesinin sıfır seviyesine indirilmesi.
- Ürünün taşıma süresinin sıfır seviyesine indirilmesi.
- İmalata yönelik tezgâhta meydana gelebilecek arızlardan dolayı oluşabilecek aksaklıkların önlenmesi.

Tam zamanında üretim sistemi tarzında üretim faaliyetinden söz edebilmek için aşağıda sunulan ideal durumların sağlanması işleyiş için önemlidir (Torkul ve Kurt, 2001);

- İmalatın yığılma ve bekleme hususları olmadan sürekli olarak su gibi akışın olması,

- Sürekli akışın sağlanmasına yönelik olarak ürün odaklı bir yapının temel olduğu U tipi yerleşim, tek parça akış tipi üretim ve üretim duraklarının yakın bir şekilde konumlandırılması,
- Talebe yönelik olarak malzeme akışını destekleyen çekme sistemi olması,
- Yetenek açısından fonksiyonel çalışanların bulunması,
- Karışık ürün çerçevesinde dengeli bir üretimin sağlanması.

TZÜ yönteminde malzeme istek fişi olarak da ifade edilebilen kanbanlar iş durakları arasında malzeme akışının kontrolünü yapmaktadır. Üretim aşamasında ihtiyaç duyulan malzeme istek fişleri aracılığı ile çekme esasına dayanarak talep edilmektedir (Özkan ve Esmeray, 2002). Tam zamanında üretim yöntemini gösteren şekil aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.16. TZÜ Yönetiminin İşleyişi

Kaynak: (Özkan ve Esmeray, 2002)

TZÜ işleyişinde ilk olarak tüketici talebiyle süreç başlamaktadır. Bu aşamadan sonra, birinci hücre olan “Üretim Hücresi – A” alanı için tedarikçiden donanım talep edilir ve bu alanda yer olan üretim tezgahlarında işlenir. Birinci hücrede yarı mamule ilişkin stok meydana gelmemesi için ikinci hücre olan “Üretim Hücresi – B” den yarı mamule yönelik talep beklenmeli ve ardından üretim faaliyeti gerçekleştirilmelidir (Öğünç, 2018).

2.4.13. Kaizen

Kaizen Japoncada “sürekli iyileştirme” olarak ifade edilmekle birlikte, işletmede yer alan bütün personel tarafından benimsenmesi gereken bir yöntemdir. Kaizen işletmenin üretim sisteminde sıfır hataya ulaşabilmesini sağlamak için kalite ile ilgili oluşan sıkıntılara çözüm bulma, mevcut olan kaliteyi üst seviyelere çıkarma, oluşan arızaları azaltma, stokları minimuma indirme, süreçleri geliştirme, işgücü açısından

azaltma sağlama, gereksiz donanımları indirme gibi katkıları bulunmaktadır (Tekin vd., 2018b).

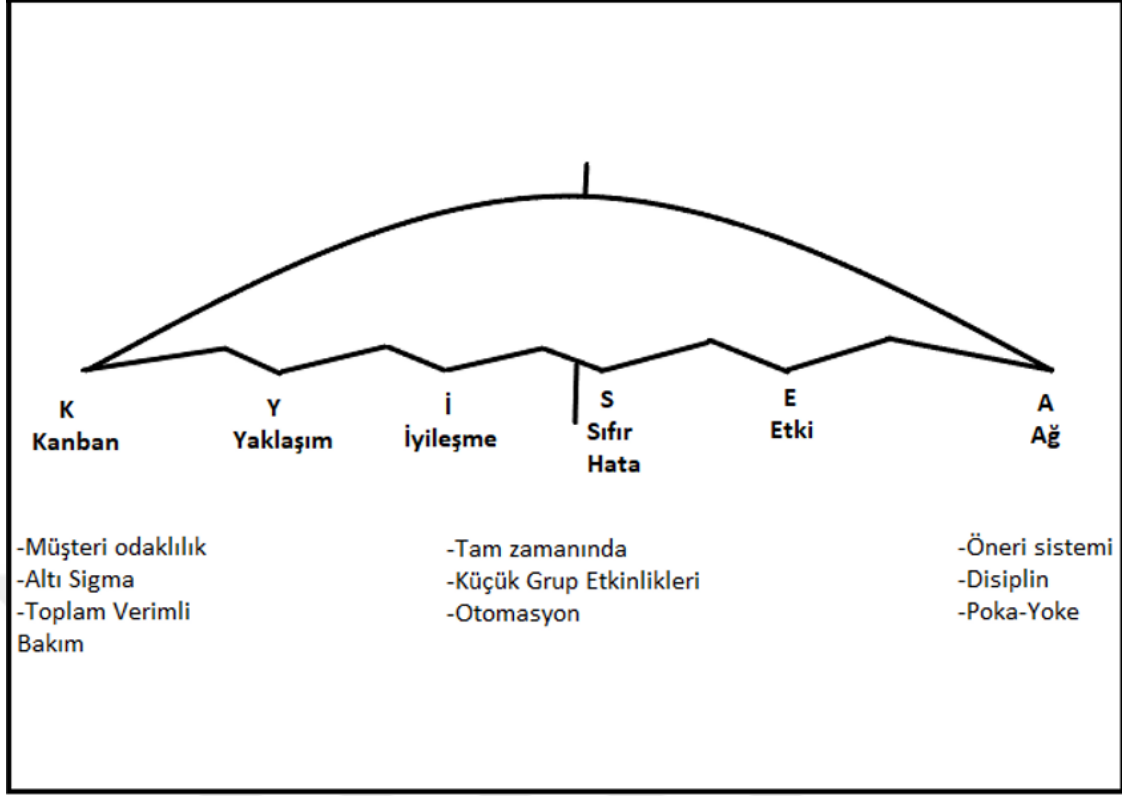
Kaizen ya da sürekli iyileştirme işletmelerin sistemlerinin hâlihazırdaki tasarımlarının zayıf olan taraflarıyla ilgilenerek performansın daha iyiye doğru yol alması için sürekli olarak gelişmesi gerektiğini vurgular (Imai, 2012).

Kaizen yönteminin temel olarak belirtilen 3 özelliği şu şekilde sıralanabilir (Brunet ve New, 2003):

- Kaizen yöntemi süreklilik içermektedir. Kalite ve verimlilik açısından gerçekleştirilen faaliyetleri ile sonu bulunmayan bir yolculuğu tanımlamaktadır.
- Süreçlere ilişkin aşamalı olarak ilerleyiş kaydeder, işletme yöneticileri organizasyonel değişikliklerle ve teknolojik olarak yeniliklerle harekete başlarlar.
- Katılımcı özelliğe sahiptir.

Bununla birlikte Kaizen'in yürütülmesi için atılması gereken genel basamaklar şu şekildedir (Arslandere, 2018: 53-54):

- 1) Sorunun seçimi
- 2) Hâlihazırdaki durumun gözlemlenmesi
- 3) Sebeplerin incelenmesi
- 4) İyileştirmenin önerilmesi
- 5) İyileştirmenin gerçekleştirilmesi
- 6) Sonuçların denetlenmesi
- 7) Çalışma prensiplerinin düzenlenmesi
- 8) Kurallaştırma



Şekil 2.17. Kaizen Şemsiyesi

Kaynak: (Singh ve Singh, 2009)

Şekil 2.16.'da Kaizen'nin kanban, TVB, altı sigma, tam zamanında üretim, otomasyon, öneri sistemi ve verimlilik artışı gibi teknikleri içinde barındırdığı bir şemsiye gösterilmiştir (Singh & Singh, 2009). Ayrıca, kaizen şemsiyesinin uçlarında kanban, iyileştirme, sıfır hata, etki ve ağ olmak üzere altı adet ana bölüm bulunmaktadır. Kaizen yöntemi anlayışında çalışan personel üretim sisteminin kaynağı olarak benimsenmektedir. Eğitim, düzenleme, iyileştirme ve ekip oluşturma hususlarına dikkat eder ve personelin gelişimine katkıda bulunmasına yönelik olarak onları ödüllendirir (Özdağoğlu ve Rebiş, 2016).



3. ENDÜSTRİ 4.0 VE TEKNOLOJİLERİ

Bölümde sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi ve Endüstri 4.0 teknolojileri açıklanmıştır.

3.1. Sanayi Devrimi Tarihsel Arka Planı

Geçmişten günümüze insanlar basit tarımsal üretim aşamalarından bilgiye dayalı bir toplum olma sürecinde farklı gelişim evreleri izlemiştir. Sanayileşme bu gelişim evrelerinin bir parçasıdır. Sanayileşme süreci, bir ekonominin sanayi toplumu ekonomisi konumuna gelebilmesi yönünde gerçekleştirilen gelişmeler olarak tanımlanır. Ayrıca, sanayileşme üretim alanında verimin sağlanması yönünde yapılan keşifler ile bağlantılı olarak ekonomik ve sosyal süreç açısından genel bir ifade olarak da belirtilmektedir (Simandan, 2009).

Tarihsel açıdan gerçekleştirilen sanayileşme faaliyetleri Sanayi Devrimi olarak belirtilen dönem ile bağdaştırılmaktadır. Sanayi devrimi tüm dünyayı etkileyen önemli dönüm noktalarından biridir. Bu gelişmeyi 19. yy. ve sonrasında hızlı bir etki yaratarak sağlamıştır. Sanayi devrimi, ayrıca toplumun fiziksel kuvvetiyle gerçekleştirdiği üretim biçiminden makinelerle dayalı üretim şekline dönüşmesidir. Diğer taraftan, sanayi devrimi teknolojik etmenlerin sosyoekonomik yapıda, üretim sürecinde, iş durumunda oluşturduğu olumlu değişimler olarak ifade edilir.

Toplumlarda ilkel tarımsal üretimden bilgi toplumu düzeyine geçerken belli gelişme aşamalarını takip ederler. Sanayileşme de bu aşamalardan biridir. Birinci Sanayi Devriminin varlığının gündeme geldiği dönemde, Avrupa’da nüfusun %90’dan fazlası kırsal kesimde tarımsal üretim yapmaktaydı (Toffler, 1974: 52-54). Kentlerde yaşayanların az bir kesimi fabrikalarda işçi olarak çalışmaktaydı. Tarımsal üretim yapısı insan ve hayvan gücüne dayalıydı. Tarım üreticileri, üretiminin artması için doğal kaynakları (su ve rüzgâr) kullanarak artış sağlamaya çalışmışlardır. Üretimi artırma çabaları teknik gelişmelerin önünü açmış ve buharlı makinenin keşfine yol açmıştır (Demirer ve Cindiloğlu Demirer, 2019: 11-12). Sanayi devriminden önceki ve sonrası döneme bakıldığında; önceki dönemde ekonomik gelişmeler, demografi ve reel gelirdeki önemli ilerlemelerden söz edilirken; sonraki dönemde ise teknolojinin varlığıyla birlikte ekonomi büyüme hızında, demografi ve reel gelirde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca sanayi devrimi beraberinde insanların çok sayıda mal ve

hizmet sahibi olmasına, bununla birlikte iktisadi açıdan büyümeye büyük bir katkı sağlamıştır (Hartwell, 2005).

Geçmişten günümüze su ve buhar enerjili mekanik üretim yapılarının kullanımından, bilişim teknolojileri ile donatılmış veri alışverişi ile bütünleşmiş, otomasyona dayalı akıllı sanayi tesislerinin kullanıma kadar olan süreci kapsayan sanayi devrimleri Şekil 3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi

Kaynak: (Ovayolu, 2022)

3.1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)

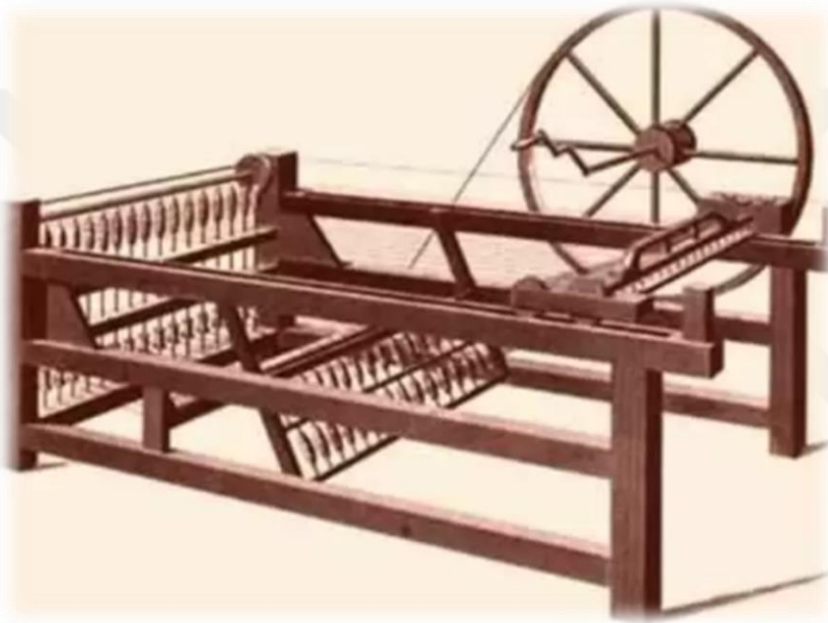
Birinci Sanayi Devriminden önce dünya ekonomisi zanaat üretimine ve tarıma dayalı iş gücüne sahiptir. Sanayi Devrimi'nden önce, imalat insanların yaşam alanlarında el araçları ve temel makineler aracılığı ile sağlanıyordu. 1712 de Thomas Newcone'nin buhar makinesini bulmasıyla birlikte, yeni bir üretim süreci başlamıştır. Üretim sürecinde farklı bir boyuta geçilerek küçük atölyeler yerine fabrikalarda üretim faaliyeti benimsenmiştir (Özkan vd., 2018).

Buhar makinesinin icat edilmesiyle, beden gücünden elde edilen güçten çok daha fazla güç sağlanmıştır. Elde edilen güç sayesinde enerji kaynağı üretilmiş ve yüksek miktarlarda üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim alanında gerçekleştirilen iş paylaşımı faaliyetleri sayesinde daha kaliteli ürünler ortaya çıkmaya başlamıştır. Performans artışı meydana gelmiş ve insan emeğine dayalı üretim anlayışı yerine, makineleşmeye dayalı üretim anlayışı başlamıştır (Özer ve Turhan, 2019).

Üretim alanında gerçekleştirilen teknolojik düzenlemeler ilk olarak İngiltere'de başlamış, sonrasında Batı Avrupa'nın önemli bir kesimini etkisi altına almış, tarım,

Üretim ve taşımacılık alanında önemli derecede ilerleme görülmüştür. Sanayi Devrimi, tarım devriminin aksine daha kısa zamanda yayılma göstermiştir. 1850'ye kadar Belçika, Fransa, Almanya, İsviçre ve ABD; 1900'lere doğru ise Rusya ile Japonya sanayileşmeye başlamıştır (Stearns, 2013; Simandan, 2009).

1760'lı yıllarda James Hargreaves'ın geliştirdiği iplik eğirmesini yapan cihaz ile tekstil üretim faaliyetinde önemli değişiklikler meydana gelmiş ve tekstil alanında ilerlemeler hız kazanmıştır. şekil 3.2.'da 1764 yılında üretilen iplik eğirme makinesi gösterilmiştir (Metin, 2019).



şekil 3.2. İplik Eğirme Makinesi

Kaynak: (Makine Eğitimi, 2022)

Birinci Sanayi Devrimi, James Watt'ın buhar motoru teknolojisinde gerçekleştirdiği ilerleme sayesinde üst noktaya ulaşmıştır. Buhar motorlarının tezghlarda kullanılması ile üretim faaliyetinde otomatikleşme sağlanmıştır. Ayrıca, zamanla cihaza yönelik iyileştirmeler gerçekleştikçe kullanım alanları da çeşitlenmiştir. İlk olarak buhar motorları madenlerde su pompalamak amacıyla kullanılırken 19. yy. başlarında buhar makineleri ile tren ve gemiyle ulaşım sağlanmak için kullanılmıştır (Metin, 2019).

Birinci Sanayi Devrimi 18. ve 19. yy. arasını kapsamaktadır. Bu yıllarda yaşanan ve topluma önemli etki yaratan gelişmeler şu şekildedir.

- ✓ Sanayileşmede buharlı makinelerin gelişimi,

- ✓ Pamuklu dokuma sanayinin gelişimi,
- ✓ Sanayileşme ve istihdam alanındaki değişimler,
- ✓ Ulaşımın ve teknolojinin gelişmesi olarak bilinmektedir.

Crowley ve Sobel (2010), Adam Smith'in üretkenliği artırmak amacıyla iş bölümünü ve uzmanlaşmayı başlatmasının, sanayi devrimi fabrika yapısının idaresine zemin hazırladığını, "Görünmez el" ilkesi ile gelişen sanayinin denge durumunun açıklanmaya çalışıldığını sunmaktadır. Charles Babbage ise, modern bilgisayarların düşünsel ifadeleri başlatmış, genel amaçlı bilgisayar fikrini geliştirmiş ve adını Analitik Makine koymuştur. Smith ve Babbage'ın fikir ve teorileri sonraki yıllarda dijitalleşme ve modern işletmeciliğin temelini oluşturmuştur (Isaacson, 2017).

Birinci Sanayi Devriminde icat edilen ve önemli gelişmelere öncülük eden buluşlar özet olarak şu şekilde sıralanmıştır (Öcal ve Altıntaş, 2018);

- John Kay'in dokuma makinelerin üretim hızının artmasını sağlayan uçan mekik adlı aracı,
- Hargreaves 'ın çok miktarda iplik ihtiyacının karşılanmasını sağlayan eğirme makinesi,
- Richard Arkwright su gücüyle çalışan ip eğirme makinesi,
- Samuel Crompton'un eğirme katırı adlı makinesi,
- James Watt'ın buhar makinesi,
- Trevitchik'in yüksek basınçla çalışan buhar makinesi.

3.1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)

İkinci Sanayi Devrimi 1850-1940 arasındaki yılları kapsamaktadır. Bu dönemde ilk dönemin devamı olarak petrol ve elektrik alanında gelişmeler meydana gelmiş ve Avrupa'da başlayan gelişme Amerika'ya doğru yaygınlaşmıştır (Yıldız Aybek, 2017).

Motor üretimi yapılan Ford fabrikasında elektrik düzeneğinin kullanılması İkinci Sanayi Devriminin varlığını ön plana çıkarmıştır. İkinci Sanayi Devriminde gerçekleştirilen elektrik alanındaki ilerlemeler ve uygulamalar beraberinde birçok avantaj sağlamış üretim alanında hız kazanılmış, kapasite artmış ve üretim maliyetlerinin azalması ile fiyatlarda düşüş meydana gelmiştir (Özkan vd., 2018).

İkinci Sanayi Devriminde enerji kaynaklarında değişkenlik olmuş, kömür ve buhar gücünden elde edilen enerji yerine elektrik ve petrolden sağlanan enerji kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Bu devrimin başarılı olmasında iki önemli etken yer almaktadır, bunlar (Metin, 2019);

1. Michael Faraday ‘in 1831’de mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüşmek için icat ettiği cihaz ile kömür stokunun seviye olarak aşağıda kaldığı bölgelerde sanayide elektrik enerjisinin yaygın olarak değerlendirilmeye başlanması.
2. Henry Bessemermetal eritmek için kullanılan fırına alttan hava basıncı sağlayarak demir cevherini çeliğe dönüştüren bir yöntem geliştirerek çelik üretiminin maliyet açısından uygun ve hızlı bir şekilde yapılmasının sağlanması.

İkinci Sanayi Devriminde çelik ve elektrik sanayindeki önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Üretim tesislerinde seri üretime yönelik bant sistemi ve elektrik kullanılarak üretimin hızlı bir şekilde yapılmasına ve sağlıklı bir üretim akışı olmasına imkân sağlamıştır (Berkun, 2018).

İkinci sanayi devriminin önemli teknolojik gelişmeleri arasında Henry Ford’un montaj hattı fikrini geliştirmesi ve seri üretim yapısını kurması ve elektrik enerjisinin üretimde kullanılmaya başlaması yer almaktadır. Aynı zamanda, dönemde radyo, telgraf ve içten patlamalı motorların buluşu gerçekleştirmiş ve sonucunda da dönüşümler meydana gelmiştir (Tufan Emni, 2022: 184).

Henry Ford’un geliştirdiğı montaj hattında Frederick W. Taylor’un bilimsel yönetim ilkeleri kullanılmıştır. Taylor’un Bilimsel Yönetimin İlkeleri isimli eserinde tavsiye edildiğı üzere, bir idare yapısı belirleyen ve kökeninde montaj hattı olan fordizmde imalat yapılmasına ilişkin gerekli faaliyetler çok bölüme ayrılarak niteliksiz çalışanların çalıştırılmasına olanak sağlamıştır (Markantonatou, 2007: 120). Fordist üretim yapısında işçi tek bir işi rutin halde gerçekleştirir ve bu yapıda işçiler çalışma temposundaki kontrollerini tamamen kaybetmiştir (Keser, 2012: 95-97). Sanayi devriminden önceki zamanda düşünmeye ve kol gücüne dayalı iş bütünleşik bir yapı olarak görülürken Taylorizm ve Fordizm’de bu iki emek türü birbirinden ayrılmıştır (Man, 2013: 53). Yapılacak işin çalışanın önüne getirilmesini sağlayan yapıyla iş verimi o günkü koşullarda en yüksek seviyeye çıkarılmıştır (Türkan, 2010: 31). Japon

üretim sisteminin ortaya çıkması ise Enji Toyada'nın Ford montaj hattını incelemek için gittiği Amerika gezisinde elde ettiği bilgiler ile Japonya için bu istemin uygun olmadığı görüşleri ile gerçekleşmiştir (Womack vd., 1990).

İkinci Sanayi Devriminin özellikleri özet olarak Tablo 3.1. 'de sunulmuştur.

ÖZELLİKLER
1 Sanayi alanında teknolojik ve teknik zeminin niteliksek dönüşümü
2 Teknolojik altyapılı üretim alanında temel bilimlere yönelik dönüşümün rolünde hızla artış olması
3 Endüstride yeni bir enerji ve yakıt türüne geçilmesi ile üretime yönelik enerji temelinin değiştirilmesi
4 Üretim alanında yoğunlaşmasının meydana gelmesi ve sermayenin merkezileşmesi, yeni olarak birleşik hisseli işletmelerin oluşumu ve üretim alanındaki emek birliği düzeyinde artış yaşanması ile sistemde derin değişiklik meydana gelmesi
5 Emek hususunda verimlilik seviyesinin yükselmesi ve toplumun yaşam standartlarının artması
6 İşgücüne yönelik yapı ve seviyesinde meydana gelen niteliksel değişimler, üretim aşamalarına akademisyenlerin mühendislerin katılması ve teknisyen varlığında artış yaşanması
7 Üretilen ürünlere yönelik kalitenin artması ve ucuzlaması
8 Ekonomik boyutta yaşanan krizlerin daha yıkıcı bir durum alması, emek olan yoğunluğun artması, sosyal alanda yaşanan problemlerin artması

Tablo 3.1. İkinci Sanayi Devrimi özellikleri

Kaynak: (Çelik, 2020)

3.1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0)

Üçüncü Sanayi Devriminden önce icatlar yapılmış, teknolojik altyapının temeli atılmıştır. 1940'lı yıllarda başlayan ve 2010 yılına kadar devam eden Üçüncü Sanayi

Devrimi ile teknolojik temelin üstüne yapı inşa edilmeye başlanmıştır. Üçüncü Sanayi Devrimi, 1960 yıllar itibariyle gelişen bilgisayar teknolojisine dayanarak sanayide otomasyona olan gerekliliğin artmasına dayanmaktadır. Endüstri Devrimi ile teknolojik gelişmeler ve bilimsel çalışmalar konusunda patlama yaşanmış ve bu ilerlemelerin sanayide daha nitelikli ve verimli bir şekilde kullanılması sağlanmıştır (Jensen, 1993).

Üçüncü Sanayi Devrimi ile doğalgaz ve petrol gibi fosil güç kaynaklarının kullanılmasının yerine, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir güç kaynaklarının varlığı ile yeni bir dönem başlamıştır (Rifkin, 2014).

Üçüncü Sanayi Devrimi bünyesinde yarı iletkenleri, bilgisayar ve interneti barındırdığından dolayı ilk dijital devrim veya bilgisayar devrimi olarak da bilinmekte ve sanayileşme döneminin ilk ve ikinci dönemlerinden ayrı olarak nitelendirilir. Üçüncü Sanayi Devrimini, diğer devirlerden ayıran özellikler şu şekildedir (Schwab, 2016);

- Telekomünikasyon
- Bilgisayar teknolojisi
- Sentetiğin üretimde yaygınlaşması
- Fiber optik
- Lazer teknolojisi
- Bio-genetik
- Mikro elektronik
- Bio-tarım

Teknolojik gelişmelerin hızla ilerlediği bu dönemde üç elektrotlu triyotların bulunmasıyla radyo, telsiz ve televizyon teknolojisinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiş ve elektronik alan da gelişmeler üst seviyeye çıkmıştır. Ayrıca transistörlerin icat edilmesiyle uzay alanına araştırmalar yapılmış böylelikle bilgisayar geliştirilerek herkesin ulaşabilmesine imkân sağlamıştır (Kahraman, 2017).

John Mauchly ve J. Presper Eckert'in ENIAC olarak adlandırdıkları bilgisayarın gelişiminde Amerika savunma bakanlığı desteği etkili olmuştur. Toplama ve çıkarma

konusunda daha ileri teknolojiye sahip bu ENIAC isimli bilgisayar rol model olarak kabul görmüş ve 1800 adet satışı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 1959'da IBM, transistörlü ana bilgisayarları ve 1965 yılında ise iyileştirilmiş işletim sistemine sahip ilk ticari bilgisayarları geliştirilmiştir. William Shockley, Walter Brattain ve John Bardeen'nın transistörü geliştirmesiyle de bilgisayarlar ilerlemiş ağırlık ile kapladıkları alan önemli düzeyde azalmıştır. 1965 yılında Digital Equipment Corporation (DEC) tarafından mini bilgisayarların pazara sürülmesi ile ana bilgisayarlar olan talep ortadan kalkmıştır. 1980'li yıllarda transistörlerin ebattı küçülmüş böylelikle mikro işlemciler çıkmış ve günümüzde kullandığımız bilgisayarın teknolojik temelini hazırlanmıştır. Kişisel bilgisayarlar 1970'li ortaya çıkmış olsa da IBM PC'nin 1981'de ortaya çıkışı PC döneminin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Bilgin, 2018: 44-46; Laudon ve Laudon, 2014: 197).

Dijitalleşmenin başlaması ve bilgisayar alanındaki gelişmeler, bilgisayarlardan veri aktarımının gerçekleşmesini sağlayan internet ağının kurulmasını sağlamıştır. 1969 yılında Amerika'nın savunma bakanlığı askeri amaçla kullanılmak üzere ARPANET adıyla internet ağı kurmuştur. 1990'lı yıllarda internet icat edilmiş ve sanayi üretimi hızlanmıştır (Bilgin, 2018: 44-46).

1970'li yıllardan itibaren yaygın şekilde kullanılan Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemleri bütün bir bakış açısıyla tüm süreçleri ve işlevleri entegre etmesi olarak tanımlanan yazılım çözümleridir. ERP'nin, 1950 yıllarında bir ya da daha fazla kurumdaki bütün ürünlere ve parçalara ilişkin malzeme temel bilgilerinin ve listelerinin oluşturulması ve bunun takibinin yapılması olarak bilinen Malzeme İhtiyaç Planlamasından (MRP) türetildiği bilinmektedir (Klaus vd., 2000: 141-144).

Aynı zamanda, üçüncü sanayi devriminde internet tabanlı ve bulut tabanlı entegre sistemler geliştirilmiştir. Bulut bilişim modeli asgari yönetim ya da hizmet sağlayıcı katılımıyla hızla gelen ve giden bilgi işlem kaynakları havuzuna (Sunucular, ağlar, uygulamalar, depolama ve hizmetler vb.) her noktadan ve talebe bağlı ağ erişimini ifade etmektedir. Bulut modeli, üç hizmet modelinden; Hizmet Olarak Platform, Hizmet Olarak Yazılım (Software as a Service- SaaS) ve Hizmet Olarak Altyapı modellerinden meydana gelmektedir. SaaS, uygulamaların bir satıcı ya da hizmet sağlayıcı aracılığıyla depolandığı ve müşterilere bir ağ üstünden sunulduğu bir yazılım dağıtım modeli olarak tanımlanmaktadır (Satyanarayana, 2012: 76-77).

Üçüncü Sanayi Devriminin getirdiği bilgi ve iletişim teknolojisine yönelik ilerlemeler beraberinde yeni bir ekonomik anlayışı da ortaya çıkarmıştır. Bilgi toplumu ve teknolojisi olarak da ifade edilen bu ekonomik anlayış bilgisayar ve mikro-elektronik teknolojilerine dayanmaktadır (Çeliktas vd., 2015).

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde meydana gelen değişim, sanayiye dayalı topluluktan bilgiye dayalı topluluğa dönüşümü sağlamıştır. Bilgiye dayalı toplulukta üretim aşamasında bilgi gücünü, makine ve emek gücüne göre daha fazla kullanır. Üretim süreçlerine yönelik gelişmeler işgücünde nitelik sıfatını beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte teknolojik gelişmeler ve nitelikli iş gücünün bir arada faaliyet göstermesi neticesinde üretime yönelik verimlilikte artış yaşanmıştır (Genç vd., 2019).

Üçüncü Sanayi Devrimi döneminde üretim anlayışı olarak Fordizm yerine bilgiye dayalı bir üretim anlayışı benimsenmiştir. Bilginin elektronik ortama aktarılması yöntemiyle faaliyete geçirilen programlanan mantıksal denetleyiciler ile üretim aşamasında otomasyon sistemi kullanılmış ve müşteri talebi baz alınarak üretim gerçekleştirilmiştir (Gabaçlı ve Uzunöz, 2017).

Üçüncü Sanayi Devrimindeki bilgi ve teknolojiye dayalı ekonomik anlayış küreselleşerek dünyayı etkilemiştir. Böylece iletişim hızında etkisiyle coğrafik olarak sınırlar kalkarak dünya artık açık bir pazar konumunu almış ve uluslararası ticaret artış göstermiştir (Genç vd., 2019).

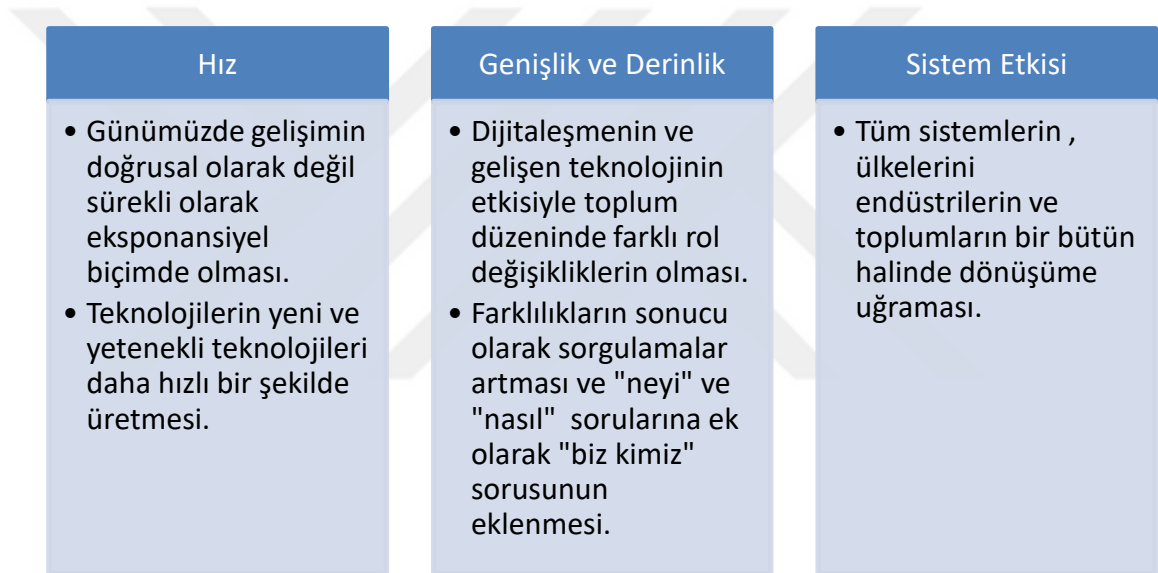
Üçüncü Sanayi Devrimiyle toplumda yer alan önemli yenilikler özet olarak dijitalleşmenin başlaması ve bilgisayarın gelişimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkması, internet kullanımı olarak ifade edilebilir.

3.1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0)

2006 High-TechStrategy planında Alman hükümeti tarafından temelleri atılan ve 2011 yılında Almanya’da gerçekleştirilen dünyanın en büyük sanayi fuarı olan Hannover Fuarında gündeme gelen Dördüncü Sanayi Devrimi bir önceki devrimin gelişmiş üst sürümü olarak bilinmektedir (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018) Bu yeni devrim dijitalleşme temelleri üzerine yoğunlaşmıştır. Üretim süreçlerinde dijitalleşme tamamen uygulanmasa da mobil ağların ve internetin hızla ilerlemesi ve yaygınlaşması, yapay zekâ ile makinelerin kullanılması ayrıca bunların daha da gelişerek entegrasyonunun sağlanması Endüstri 4.0’ın başlamasına sebep olmuştur (Schwab, 2017: 16).

Dördüncü Sanayi Devrimi birçok platform ve ülkede çeşitli kavramlarla ifade edilmektedir. Bu kavramlar; Endüstri 4.0, Endüstriyel İnternet, İnternet+ ve Sanayi 4.0 olarak sıralanabilir. Endüstri 4.0, geleneksel olarak yürütülen üretim süreçlerinden internet ve bilgisayar kullanımı ile yeni bir üretim yöntemine geçişi sağlayan bir teknoloji tasarısıdır (Schlechtendahl vd, 2015). Diğer bir ifadeyle, üretimin insan gücü yerine makine gücü ile kendiliğinden yönetilebilir duruma ulaşması olarak da tanımlanmaktadır (Lu, 2017).

Dünya Ekonomi Forumu'nun başkanı ve kurucusu olarak bilinen Klaus Schwab çalışmalarında Endüstri 4.0'ı Endüstri 3.0 'dan ayıran belli özelliklere değinmiş ve dördüncü devrimin bu nedenlere dayanarak var olduğunu belirtmiştir. Bunlar;



Şekil 3.3. Endüstri 4.0'ın Ayırıcı Özellikleri

Kaynak: (Schwab vd., 2016)

Dördüncü Sanayi Devrimine yönelik önemli özellikler “Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi” (ACATECH) tarafından şu şekilde belirtilmiştir (Demirkol ve Özcan, 2018);

- Müşterilerin ihtiyacına yönelik istediği şekilde ürün üretilmesi,
- Üretilecek ürünlere ilişkin özellikleri bilen akıllı fabrikaların faaliyete geçmesi,
- Yeni oluşacak iş modellerinin benimsenmesi,

- Çalışanların üretim faaliyeti için bulundukları ortama ilişkin sosyal açıdan altyapının oluşturulması,
- İş koşullarının yaşam çerçevesinde doğru orantılı olması,
- Meydana gelebilecek olası sorunlara çözüm üretecek yazılımların geliştirilmesi.

Endüstri 4.0 etkinliğini teknolojiiden almaktadır. Bu sayede klasik üretim seviyesinde tam anlamda bir değişim meydana gelmeye başlamıştır. İnsan müdahalesine yer verilmeyen bir üretim mevcuttur. Üretim faaliyeti gerçekleştirilirken her aşamada dijitalleşmenin olduğu görülmeye başlanmıştır (Demirkol ve Özcan, 2018). İlave olarak Dördüncü Sanayi Devrimi ile tüm tedarik zinciri sürecince akıllı teknolojiler sayesinde bütün üretim aşamaları otomasyona geçiş yapmıştır. Dolayısıyla yalın üretim sistemlerinde de yalın otomasyon araçları uygulanmaya başlanmıştır (Yavuz, 2021: 81).

Diğer taraftan, Endüstri 4.0 ile üretim faaliyetine yönelik üretim sayısı ve kalitesinde artış meydana gelmiştir. Üretim sürecinde hammaddenin kullanılmayan atıklarının daha az düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca enerji kaynaklarının kullanımında gerekenden fazla seviyelere çıkılmayarak doğa dostu bir yaklaşım benimsenecektir (Kablan, 2018).

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan yeni sanayi devriminin temel özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir;

Özellikler	Açıklamalar
Birlikte çalışabilirlik	Siber fiziksel sistem aracılığı ile üretim yapılırken insanlarla karşılıklı olarak haberleşme imkânı sunması.
Sanallaştırma	Gerçek olmayan ortamda akıllı fabrikaların varlığının benimsenmesiyle sensörlerden elde edilen veriler aracılığıyla gerçekte var olmayan modellemeler ve benzetme şekliyle oluşturulan modellerin bir araya getirilmesi.
Bulunduğu yerde yönetim	Siber fiziksel sistemlerin kendiliğinden karar verme yetisiyle ürünlerin neredeyse orada üretilmesi.
Gerçek zamanlı kabiliyet	Tüm verilerin bir araya getirilerek ayrıştırılması.
Platform odaklı hizmet	Siber fiziksel sistemlerin servis sağlayıcılar kullanılarak akıllı fabrikalara aktarılması.
Modülerlik	Akıllı fabrika sisteminin değişen ve yenilenen teknolojik ilerlemelere ayak uydurabilmesi.

Tablo 3.2. Endüstri 4.0 Temel Özellikleri

Kaynak: (Soylu, 2018)

3.2. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ve Araçları

Endüstri 4.0, birçok bileşenden oluşan bir kavramdır. Endüstri 4.0 bileşenleri; siber fiziksel sistemler, nesnelerin ve hizmetlerin interneti, artırılmış gerçeklik, RFID (Radyo Frekanslı Tanımlama), akıllı fabrika, siber güvenlik, sensör, yapay zekâ, 3 boyutlu (3D) yazıcılar, büyük veri, robotlar, simülasyon, yatay ve dikey sistem entegrasyonu, bulut bilişim sistemi ve dijital tedarik zincirinden oluşmaktadır (Koçak, 2019).

3.2.1. Büyük Veri ve Veri Analitiği

Büyük veri (big data) “farklı formatlarda, hızlı bir şekilde ve büyük hacimde üretilen veriler” olarak tanımlanmaktadır (Terzi vd., 2017: 16). Ayrıca verilerin saklanması, analiz edilmesinde ve yönetilmesinde klasik veritabanı yönetim sistemlerinin yeterli olmadığı koşullarda karşımıza çıkan bir sorun olarak ifade edilebilir (Terzi vd., 2017). Büyük veri analitiği, farklı kaynaklardan ve terabaytlardan zetabaytlara kadar farklı boyutlarda yapısal, yarı yapısal ve yapısal olmayan verileri içeren çok büyük, çeşitli veri kümelerine karşı gelişmiş analitik tekniklerin kullanılmasıdır (Büyük Veri Analitiği, 2022).

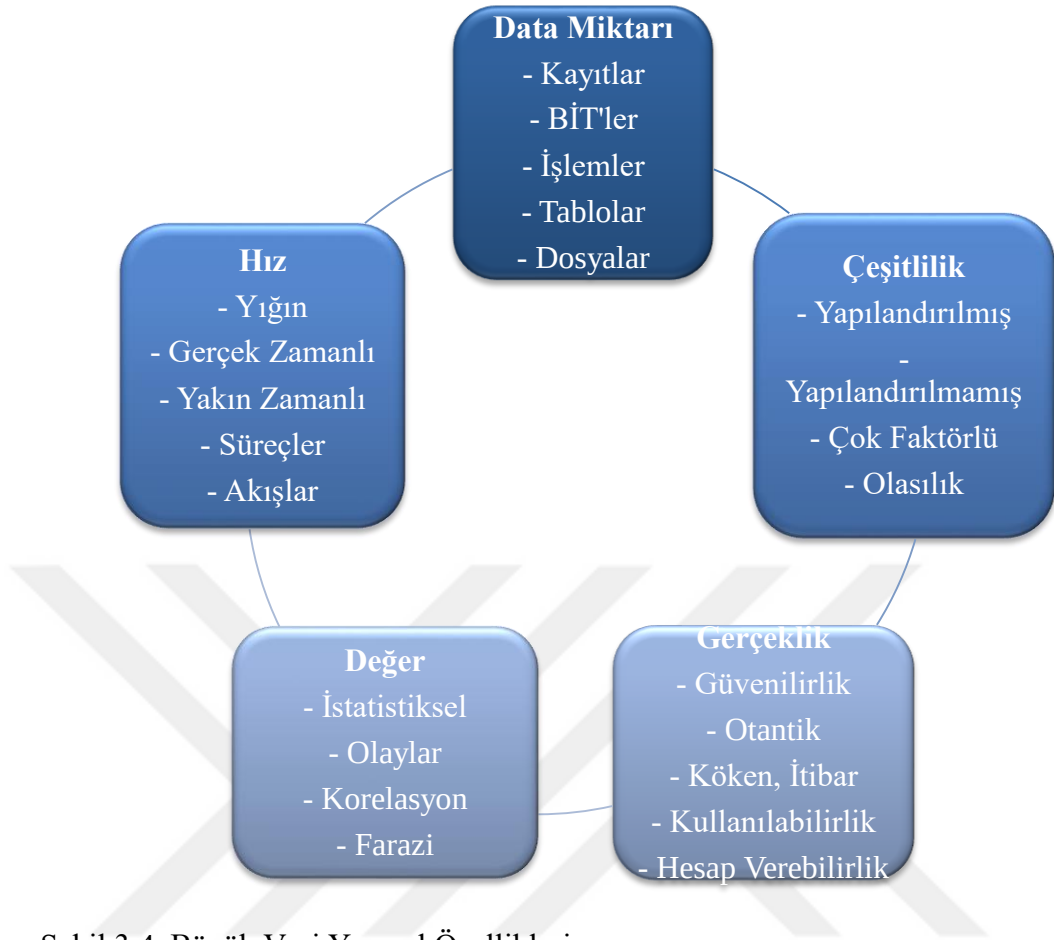
Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte veri üretiminde giderek artış gözlemlenmiştir. 2003 yılına kadar dünyada yaklaşık olarak 5 exabyte veri üretilmekte ve bu da 1000 sayfalık olmak üzere 60 trilyon tane kitap olarak hesaplanırken 2020 yılında ise bu rakam 35-40 zettabyte'lara çıkacağı öngörülmüş bu da 1000 sayfalık 240 kentilyon tane kitap anlamına gelmektedir. Ayrıca günümüzde haberleşme cihazlarında nesnelerin internetinin oranında artış meydana gelmekte ve buna bağlı olarak da veri üretme niceliğine giderek artış yaşanacaktır (ST, 2017).

Son yıllarda verilerin üretilmesinde yaşanan hız eğiliminden dolayı insanlığın ürettiği toplam verilerin exabyte cinsinden zetta byte cinsine dönüştüğü görülmektedir. Günümüzde üretilen verilerdeki artış Büyük veri kavramını daha popüler hale getirmiştir. Büyük veri zettabayt cinsinden değerlendirilen, büyük sayıda ve karmaşık yapıdaki veri kümeleri yığını olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri ayrıca geleneksel veri tabanı sistemlerinin işlevsel kapasiteyi aşan veriler olarak da ifade edilmektedir (Al-Badi vd., 2018).

Büyük veri genel olarak çok büyük boyutlarda zaman içerisinde giderek artan, geniş ve karmaşık yapıda geleneksel veri yöntemi teknikleri ile saklanıp verimli olarak işlenemeyen bir kavram bütünüdür. Büyük veri temelinde üç veri tipine ayrılmaktadır (Amellal vd., 2019);

- Yapısal veri: İlişkisel veri tabanlarında sabit formatlarda depolanabilen, erişim kolaylığına sahip, işlenebilen, sorgulanması ve raporlanması kolay olan veri türünü ifade etmektedir. Yapısal veri sürekli olarak bir veriyi açıklar ve analizi edilebilirliği kolaydır (Gahi vd., 2016).
- Yapılandırılmamış veri: Belirlenmiş bir formata sahip olmayan yapılandırılmamış verileri kapsayan veriler olarak ifade edilmektedir. Yapılandırılmamış veriler özellikleri gereği değer kazandırmak açısından zorluk yaratırlar.
- Yarı yapılandırılmış veri: Bu tür veriler kendi özelliklerinin beraberinde işaretleri, etiketleri ve farklı modelleri içermektedir (Gahi vd., 2016). Yarı yapılandırılmış veriler anlamsal etiket içerir fakat ilişkisel veri tabanları ile ilişki kurulan yapıya uyum sağlamayan bir veri çeşididir.

Büyük veri gömülü sistemleri yapısında taşıyan veya farklı kayıt işlemlerinin veri tabanlarına kaydedilmesi neticesinde meydana gelen büyük boyuttaki düzensiz ve çeşitli nitelikte içeriğe sahip veri yığını olarak tanımlanmaktadır (Gahi vd., 2016). Büyük veri yapısal olarak 5 temel özelliği ile belirtilmektedir. Bu unsurlar Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Büyük Veri Yapısal Özellikleri

Kaynak: (Müyesseroğlu, 2022)

Büyük verinin beş ana özelliğinden biri olan veri hacmi; cihazlardan durmadan büyük hacimde dijital veri oluşturulmasını içermektedir. Hız özelliği kapsamında verilerin hızlı olarak oluşturulması ve işlenmesini ifade etmektedir. Çeşitlilik özeliğinde büyük verinin birçok kaynaktan ve çeşitli formatta dağıtıldığını tanımlamaktadır. Değer özelliğinde büyük veri analitiklerinden değer oluşturmak için hassaslaştırılması ve ardından işlenmesi gerektiği vurgulanır. Gerçeklik özelliğinde ise güvenirliliğin sağlanması için veri kaynağıyla gerçekliliğini ifade etmektedir (Oussous vd., 2018).

Büyük veri İnternet istatistikleri, sosyal medya verileri, bloglar, sıcaklık, basınç, nem, hareket gibi farklı sensörlerden gelen ölçümler, İnternet sunucu bilgisayarlarının sahip olduğu günlük kayıtlar ve GSM (Global System For Mobile Communications, Mobil İletişim için Küresel Sistemi) operatörlerinden gelen arama kayıtları gibi büyük sayıdaki verilerden meydana gelmektedir. Bu büyük miktardaki verilerin toplanması, düzenlenmesi ve anlamlı olarak veri kullanıcıları tarafından doğru karar verilmesini sağlamak için kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca beraberinde karar alma

sürecinde önemli bir etkiye sahip olan bu verilerin hacmi dolayısıyla muhafaza edilmesi zor bir hal almaktadır. Bundan dolayı elde edilen verilerin saklanması ve verilerden fayda sağlanabilmesi için yeni veri depolama sistemlerinin kurulması ve veri analitik programlarının buna yönelik olarak geliştirilmesi gerekmektedir (Banger, 2017b).

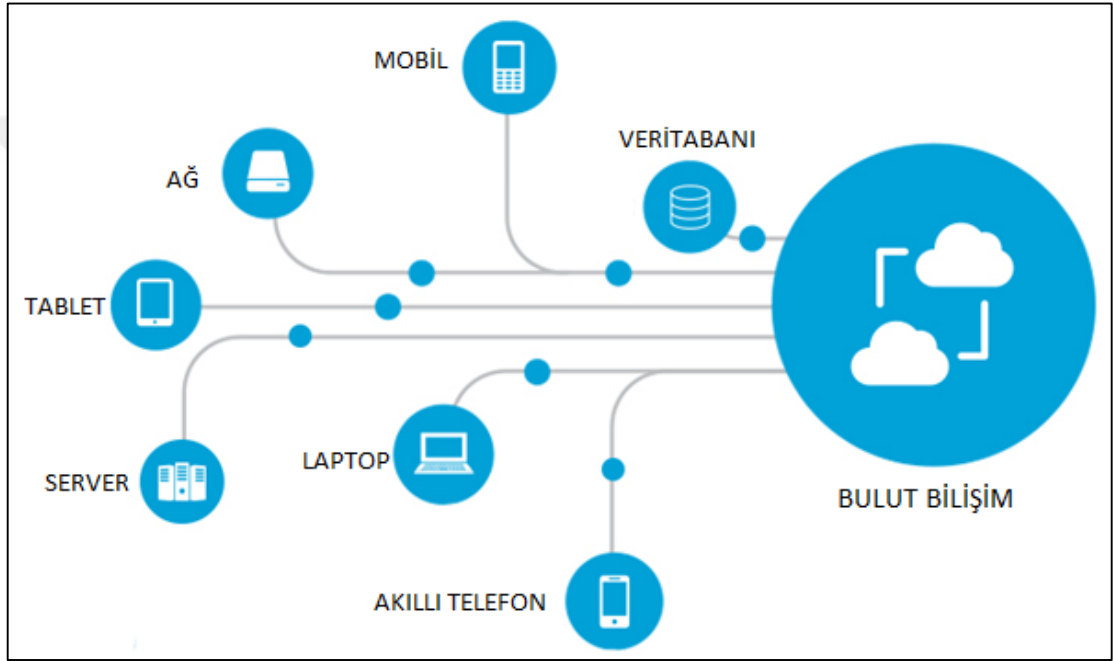
Endüstri 4.0'ın en önemli unsurlardan biri olan büyük veri sağlayabileceği faydalardan dolayı “yeniçağın petrolü” olarak da ifade edilmektedir (Tüzmen, 2017). Büyük verinin yaratacağı avantajlar (Tüzmen, 2017; Manyika vd., 2011; Schwab, 2016; Santos vd., 2017; Gürsakal, 2017);

- İşletmeler için büyük veri ağına ulaşılmasıyla anlık gelişmeleri takip etmek, rakipler arasında konumunu görebilmek ve buna bağlı olarak diğer işletmeler ile karşılaştırma yapabilmek,
- İşletmelerin riskini seviyelerini düşürmek, kar oranlarını artırmak, pazarda rekabet gücünü artırmak, verimliliğini arttırmak,
- İşletmeler için önemli bir üretim unsuru olmak,
- İşletmelerin yeni ürün ve hizmet geliştirmesine katkı sağlamak,
- İşletmelere maliyet açısından tasarruf sağlamak,
- İşletmelerin analiz teknikleri konusundaki karmaşıklığını azaltmak,
- İşletmelerin karar vermeleri hususunda hızlilik ve kalite sağlamak,
- Küçük işletmelerin pazarda rekabet etmelerine büyük katkı sağlayarak güçlerini arttırmak,
- Müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda arzu ettikleri mal ve hizmete kolay ulaşma imkânı sağlamak.

3.2.2 Bulut Bilişim Teknolojisi

1950 yılında temelleri atılan bulut bilişim bilgi işlem kaynaklarının ve uygulamalarının bilgisayar sistemlerin uzaktan izlenebilmesi olarak ifade edilmektedir. İlave olarak, bulut bilişim ağlar üzerinden online sistem, sensör gibi araçlarının da içinde bulunduğu paylaşım hizmeti olarak açıklanmaktadır (Wong, 2016).

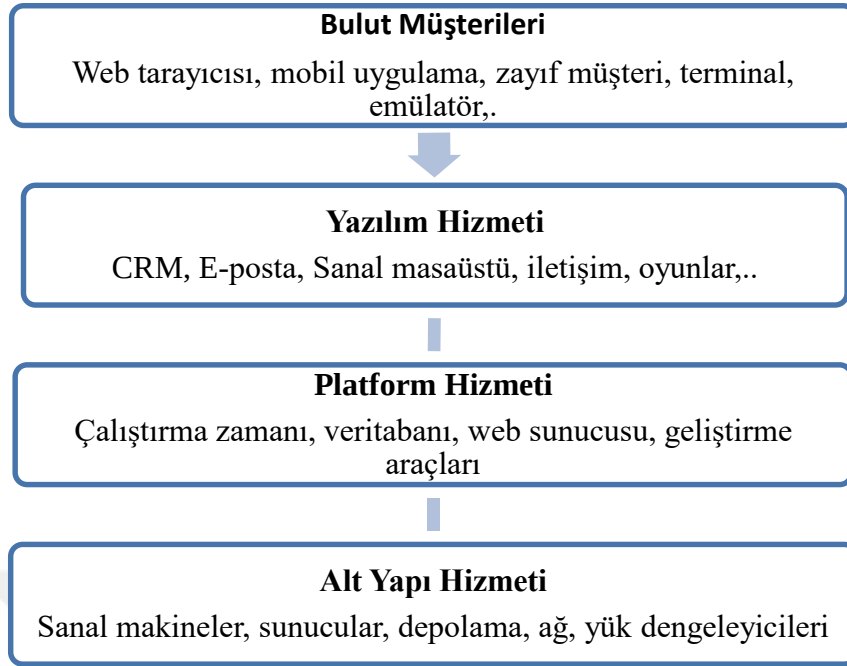
Büyük işletmelerden biri ve E-ticarete dünya liderleri arasında olan Amazon 2006 yılında S3 olarak da bilinen ilk bulut bilişim sistemini sunmuş ve bulut bilişimin gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Bulut bilişim Türkiye’de ve dünyada 2008 yılından itibaren kullanılmaya başlanılmıştır (Bulut, 2017). Bulut bilişimin en önemli amacı istenildiği zaman, yer ve platformda erişme imkânı elde etmektir. Bulut bilişim, özel bir program ya da donanım ihtiyacı olmadan kolay bir arayüz kullanılarak kişilerin bütün kaynaklarına erişmesi ve kullanabilmesi imkân tanıyan bir sağlayıcıdır (Khan vd., 2017). Bulut bilişime yönelik ağ yapısı Şekil 3.5.’te sunulmuştur.



Şekil 3.5. Bulut bilişim alt yapısı

Kaynak: (Bıçakçı, 2018)

Bulut bilişim sağlayıcıları üç temel model kapsamında hizmetlerini sunmaktadır (Rajkamal ve Rajenderan, 2015). Bu modeller aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Bulut Bilişim Hizmet Modeli

Kaynak: (Mansuri ve Rathore, 2014)

- **Altyapı Hizmeti:** fiziksel bilgi işlem kaynaklarını, veri bölümleme, konum, güvenlik, yedekleme, ölçekleme alt düzeyde yer alan ağ altyapısının birçok alt düzey detaylarını yok etmek amacıyla kullanılan çevrimiçi hizmetler olarak tanımlanmaktadır (Velte vd., 2010).
- **Platform Hizmeti:** bu modelde bulut sağlayıcılar genel anlamda işletim sistemi, veri tabanı, web sunucusu ve programlama dili yönetim ortamı kapsayan bilgisayar platformu sunmaktadır (Mittal, 2018).
- **Yazılım Hizmeti:** bu modelde altyapısı üstünde çalışan uygulamaların kullanıcılar aracılığıyla kullanılmasını kapsamaktadır.

Bulut bilişim kapsamında ihtiyaçlara yönelik olarak 4 tip depolama bulut türü bulunmaktadır. Bunlar (Huth ve Cebula, 2011);

- **Genel Bulut depolama bulut türüne** internet bağlantısı ve bulut alana erişimi olan bütün aboneler erişebilir.
- **Özel Bulut** bir işletme için özel oluşturulmuş ve erişimi sadece o işletmeye ait olarak üretilir. Bu sayede veri güvenliği hususundaki kaygıları ortadan kaldırmayı ve kontrol sağlamayı hedefler.

- Topluluk Bulutu benzer bulut ihtiyaçlarına sahip olan iki veya daha fazla kuruluş arasında paylaşılan bulut türüdür.
- Hibrit Bulut ise genel ve özel bulut türlerinin birleştirilmiş halidir. Bu bulut türü ile hizmet sağlayıcılar üçüncü taraf bulut sağlayıcılarını tam ya da kısmi şekilde kullanabilir. Örnek olarak özel bulut üstünde çalışmakta olan araç takip uygulamaları, Google'ın genel bulut hizmeti olan harita uygulamasını kullanması ile hibrit bulut meydana getirmesi verilebilir.

Bulut bilişim, işletmeler için oluşturdukları Büyük Verileri saklamaları ve ihtiyaç duyduklarında ulaşabilmeleri farklı bir teknoloji sunmuştur. İşletmelerin için bulut bilişim sağladığı faydalar şu şekilde sıralanabilir (Banger, 2017a; Bulut, 2017):

- Veri depolama alanlarının genişlemesi ve verilerin hızlı iletilmesi,
- Bilgisayar, tablet ve akıllı telefon gibi cihazlardaki yazılım ve donanımlara ihtiyaç olmadan web tarayıcılar üzerinden hizmet alımı sağlanması,
- Ekonomik açıdan maliyetlerin azalmasına katkı sağlaması,
- İşlem sürelerinde kısalması.

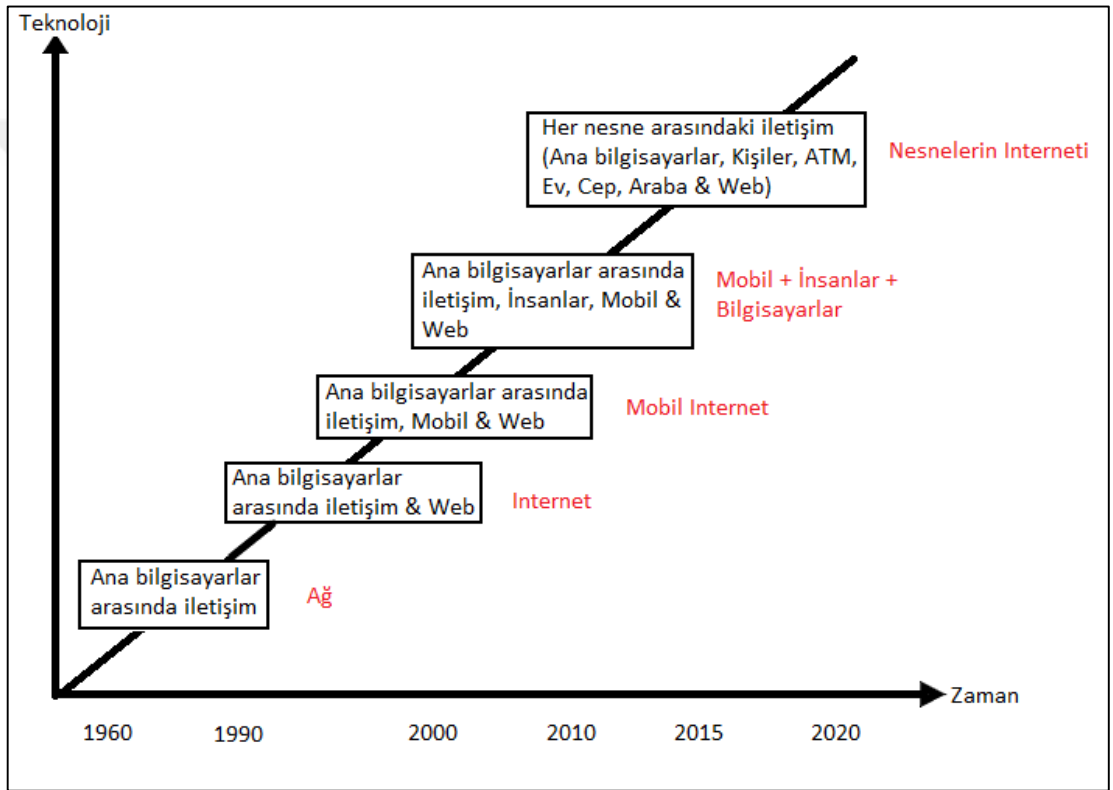
3.2.3. Nesnelerin İnterneti-Internet of Things (IoT)

1999 yılında Kevin Ashton tarafından işletmenin tedarik zincirine ilişkin RFID (radyo frekans tanımla) düşüncesine ilgi toplamak amacıyla hazırlanan sunum başlığında “nesnelerin interneti” ilk defa gündeme getirilmiştir (Ashton, 2009).

Internet of Things (IoT) olarak da ifade edilen nesnelerin interneti kavramı, internet ağına erişimi bulunan bütün cihazların dünya çapında yaygınlaşmış bir ağ yapısı aracılığıyla belirli protokollere dayanarak iletişim kurabilmeleri olarak tanımlanmaktadır (Görçün, 2016). Cihazların etkileşimde bulunabilmeleri için akıllı olmaları ve veri alışverişinin sağlanması için doğru yazılım, elektronik, sensör ve bağlantıya sahiplik gerekmektedir (Johnson, 2015).

Nesnelerin interneti, fiziksel olarak cihazların sensörler ve internet ile birbirine bağlanması olarak da bilinmektedir. IoT yönelik uygulama olarak ilk adım çevrimiçi ve gerçek zamanlı olması sebebiyle 1991 yılında Cambridge Üniversitesinde bir grup akademisyen tarafından kahve makinesinin görüntüsünü dakikada üç kez olacak şekilde bilgisayar ekranlarına ileten sistem olarak kabul görmektedir (Ateş, 2021).

Geçmişten günümüze teknoloji birçok kolaylık sunmuş ve sunmaya devam etmektedir. Son zamanlarda gömülü sistemler, maliyet açısından uygun sensörler ve sensör ağlarının yaygın olarak varlığı IoT'nin yükselişine yol açmıştır. Bu kapsamda Endüstri 4.0 ve nesnelerin internetine yönelik yatırımlar artmış. Gelecek zamanda IoT akıllı nesnelerin (Web servisleri, SOA bileşenleri) ve sanal varlıkların bir arada faaliyet gösterebilecekleri ve bağımsız bir şekilde hareket edebilecekleri açık ve belirsiz bir ağ sunacaktır. Internet of Things teknolojinin yol haritası Şekil 3.7.'de sunulmuştur.



Şekil 3.7. IoT Teknolojisi Yol Haritası

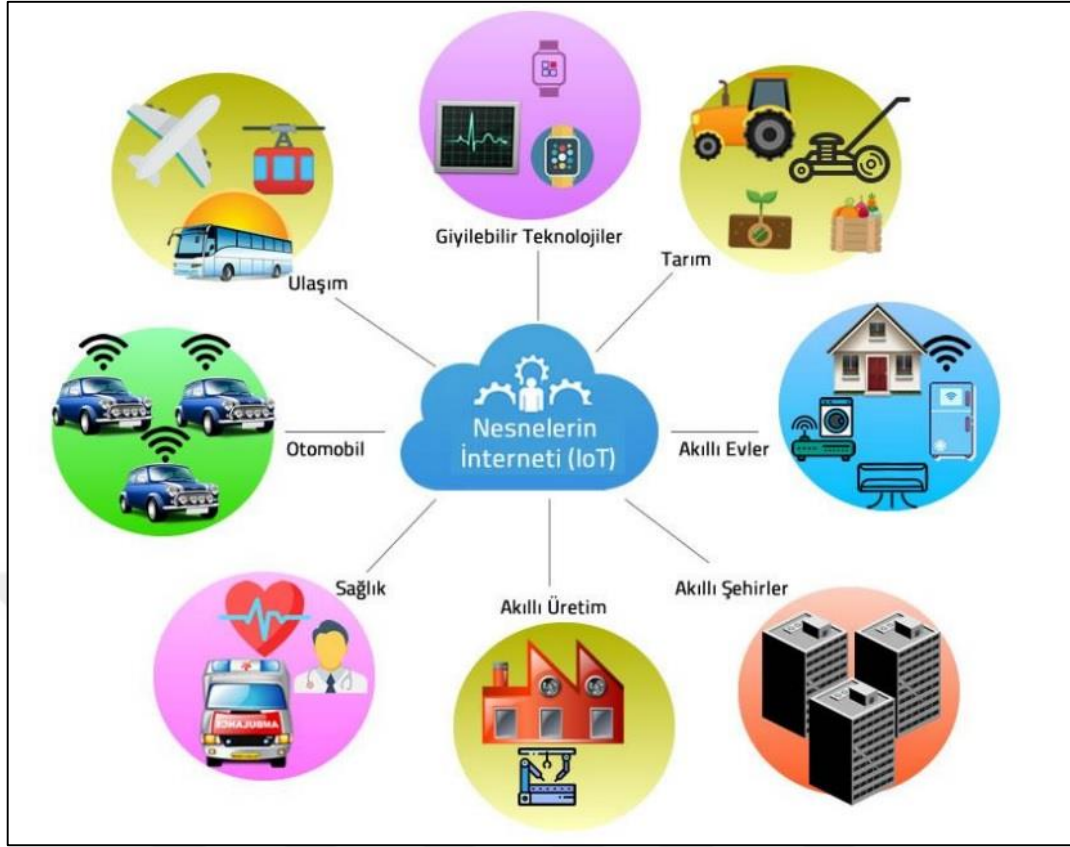
Kaynak: (Sukode vd., 2015)

Nesnelerin interneti kavramı sistem üzerinde tanımlanan hususların oluşması neticesine dayanarak o hususa yönelik bir eylemi harekete geçirmesi olarak bir işlem görmektedir. Örneğin, market alışverişi yapılırken ihtiyaç duyulan ürünün raftan alınmasının ardından sensörler aracılığı ile durumun algılanarak sisteme kaydedilmesi olarak belirtilebilir. Ayrıca bununla birlikte sağlanan bu veriler, sistem üzerindeki algoritmalar ile işlemsel bir hale çevrilerek tedarik zincirinde bulunan tüm öğelere farklı komutlar iletilmektedir (Koçak, 2019).

Nesnelerin interneti sistemi birtakım öğelerden oluşmaktadır. Bunlar (Koçak, 2019);

- İlk öge daha öncesinde tanımlanmış olan eylem ve durumların dizinini kapmamaktadır. Durum ve eylemler değişik biçimlerde nitelendirilmiş olmalıdır. Bununla birlikte farklılık oluşturan her bir durum için değişik algoritmalar belirtilmektedir. Tanımlanan durumlar sistemin işlevini yerine getirmesine yönelik yapılan ilk hareket olarak ifade edilmektedir.
- İkinci öge durum ve eylemlerin belirlenebilmesi amacıyla yararlanılan unsur ve araçları kapsamaktadır. Tespit ve tanımlama sistemleri gibi algılayıcılar, bardan sistemleri ve RFID sistemleri bu unsurlar arasında bulunmaktadır. Bu unsur ve araçlar meydana gelen bir eylemi veya olağan olarak kabul görmüş durumlarda oluşan değişiklikleri tespit etmek ve bunları sisteme iletme işlevi görmektedir.
- Üçüncü öge ise elde edilen verilerin gönderildiği internet ağını içermektedir.
- Bir diğer etmen ise verilerin operasyonel hale geldiği ve verilen komutlar haline çevrildiği sistemler ve yazılımları kapsamaktadır.

Internet of Things (IoT) cihazlar birçok alanda kullanım alanı sağlamakla birlikte bu alanlarda büyük kolaylıklar sunmaktadır. Kullanım alanları olarak örneğin; doğa ortamında vahşi yaşamın uzaktan izlenmek, inşa edilen yapıların güvenliğini sağlamak ve deprem tespitleri yapmak, şehir içindeki trafik yoğunluğunu takip etmek, askeri kullanımda ülke sınır güvenliğinin sağlanması ve sağlık alanında hastanede yatan hastaları uzaktan izlenmesi veya hastaların tedavi süreçlerinde ilaçlarını alma durumlarını izlemek gibi amaçlar için uygulanmaktadır (Taş ve Kiani, 2021). Şekil 3.8.'de nesnelerin internetine yönelik kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları

Kaynak: (Taş ve Kiani, 2021)

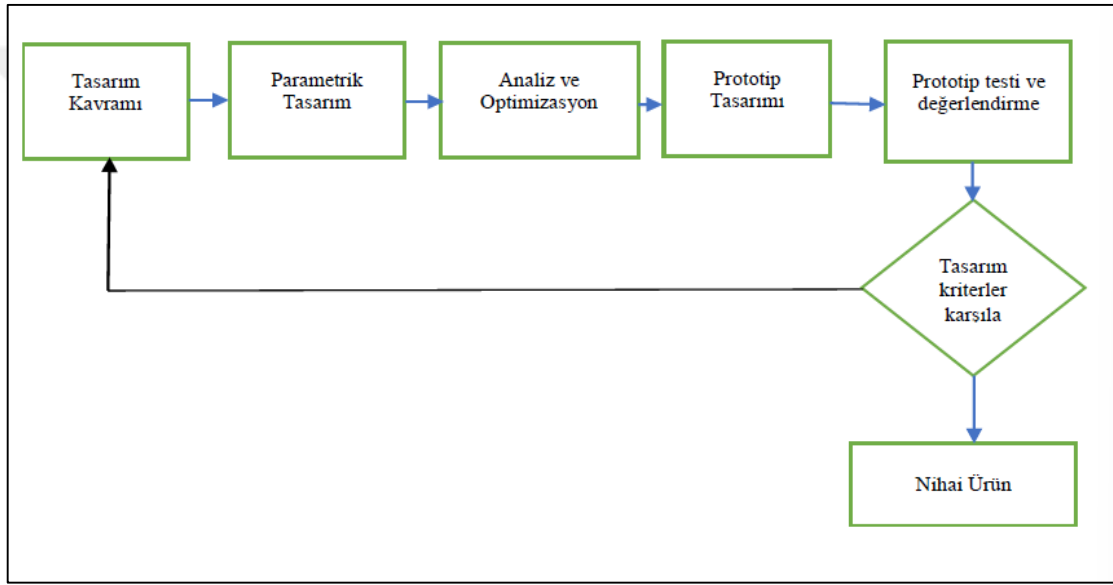
3.2.4.Eklemeli Üretim (3D Yazıcılar)

Endüstri 4.0 araçları arasında yer alan 3D yazıcı teknolojisinin temeli 19. yy.'a dayanmakta olup, Endüstri 4.0 ile üretim işletmelerinde 3D yazıcıların kullanımda büyük bir atış yaşanmıştır (Urhal vd., 2019). 3D yazıcılar literatürde eklemeli üretim, dijital üretim, katmanlı üretim, serbest formlu üretim olarak da ifade edilmektedir. Eklemeli üretim kullanımı ile işletmeler maliyet, karbon salınımı ve enerji kullanımında azalmaya gitme fırsatı elde etmişlerdir. Bununla birlikte, 3D yazılar işletmelere müşteri talebine istinaden parça üretimi ve dağıtılmış üretim yapabilme imkânını sunmuştur (Frazier, 2014).

Üç boyutlu yazıcılar, fiziksel bir objenin sanal çiziminin yapılmasının ardından ağ bağlantılarına sahip ve istenilen ürüne yönelik hammadde karışımlarını içeren yazıcılarda objenin eklemeli olarak üretilmesi olarak ifade edilmektedir. 3D yazıcılarda alüminyum, plastik, paslanmaz çelik, seramik ve çeşitli bileşimlerde hammadde kullanılmasıyla arzu edilen çıktıların alınmaktadır. Bununla birlikte üretim işletmesinde bulunması gerekli olan birtakım üretim aşamasını ve farklı birimler

tarafından gerçekleştirilen işlemlere olan ihtiyacı yok ederek tek aşamada çıktı alınmasını sağlamaktadır (Schwab, 2017).

Günümüz şartlarında teknolojinin de ilerlemesiyle işletmeler pazarda rekabet edebilmek ve konumlarını koruyabilmek için ürettikleri ürüne yönelik geliştirme yapmalıdır. İşletmeler çıktılarına yönelik geliştirmeleri, dönüştürmeleri, çıktılarına ek özellik katmayı ve çıktıların yedek ekipmanlarını kolayca sağlayabilmek amacıyla eklemeli üretim teknolojisine başvururlar. Katman üretim olarak da bilinen 3D yazıcılarda ürün geliştirmek için gerçekleştirilen işlemler döngüsü aşağıda sunulmuştur (Noorani, 2006).



Şekil 3.9. Ürün Geliştirme Döngüsü

Kaynak: (Çelik,2020)

Üç boyutlu yazıcılar, 3D çizim veya modelden yararlanılarak katman üzerine katman yazdırma yöntemiyle fiziksel bir obje oluşturma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Daha öncesinde obje elde etmek için eksiltme yöntemi kullanılarak katmanlar birbirinden ayrılma işlemi gerçekleştirirken, üç boyutlu yazıcılar ile objeyi elde etmek için sürekli ekleme işlemi yapılmaktadır. Katmanlı üretim teknolojisi yaklaşık olarak 30 yıldır kullanılmaktadır (Huang vd., 2022). Üç boyutlu yazıcıların başlangıcı 1970'li yılların sonları olarak bilinse bile katı maddenin yazdırılma işi 1982 yılında Hideo KODAMA tarafından gerçekleştirilmiştir. 1984 yılında 3D Systems Corp.'un kurucusu Charles HULL tarafından ilk üç boyutlu yazıcı üretilmiştir (Shellabear vd., 2004). Bu

kullanılan üretim teknolojisi beraberinde birçok kazanım sunmuştur. Bu kazanımlar şu şekilde sıralanabilir (Beyca, 2018; İlhan, 2020);

- Müşteriye ve ürüne yönelik kişiselleştirilmiş özel tasarım ürün geliştirilebilmesi,
- Ürünlerin standarttan süreden daha hızlı üretilmesi ile zaman tasarrufu sağlanması,
- Çok miktarda üretim yapılabilmesi bu sayede stok maliyetinin düşürülmesi,
- Yalnızca objeye yetecek kadar malzeme kullanımı ile üretim yaparak atık oluşumunun azaltılması,
- Ürünlerin tek bir işlem ile üretilmesi ile ürün kalitesinde çalışan etkisinin ortadan kaldırılması,
- Kurulum maliyetinin az olması,
- Üretimin otomatik olması sebebiyle çalışana olan ihtiyacın az olması veya olmaması,
- Geleneksel üretim sistemlerine kıyasla montaj işlem sayısını azaltması,
- Talaşlı imalatta olduğu gibi yetkin çalışan ihtiyacının olmaması,
- Talaşlı imalat yöntemlerine göre daha az malzeme israfına neden olması.

3.2.5. İleri Robotik Teknolojisi

Robot kavramı genelde belirli bir işlemi yerine getirmek amacıyla manyetizma ile kendisine farklı işler yaptırılabilen elektro-mekanik aygıtlar olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca robot teknolojisi, robotik ve mekanik olarak da ifade edilmektedir. Robotlar ilk olarak 1960'ların başından itibaren endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır. General Motors'da ilk kez endüstriyel robot 1961 yılında kullanılmıştır. Ultimate olarak isimlendirilen bu cihaz baskı gibi çeşitli işlemlerde kullanılmıştır (Sanayi 4.0, 2015). Günümüzde ise robotik teknolojisi daha da gelişmiş ve insani özellikler kazandırılmaları üzerinde çalışmalar hızlanmıştır.

Uluslararası Standardizasyon Örgütü endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılmak amacıyla mobil ya da sabitlenebilen, otomatik bir şekilde kontrolü sağlanabilen ve fiziksel olarak yapılan değişiklikler ile bir başka uygulamaya

uyarlanabilen bir manipölatör olarak endüstriyel robotları tanımlamaktadır (IFR International Federation of Robotics, 2021).

Endüstriyel robotlar, internet ağları sayesinde birbirlerine bağlıdır ve sahip olduğu yapay zekâ donanımları ile otonom olarak karar verme yeteneğine sahiptir. Bu becerileri ile üretim faaliyetiyle birlikte sosyal alanlarda da değişimler meydana getirecektir (Özdoğan, 2017). Endüstriyel robotların ilk kullanım alanları üretim süresince fiziksel güç gerekli alanlar olarak bilinmektedir. Teknolojik ilerlemeler ile robotik sistemler geliştirilmiş ve veri üreten, değerlendiren ve karar alabilen bir seviyeye yükseltilmiştir. Ayrıca yapay zekâ uygulamalarının dahil edilmesiyle de kas gücüne dayanmayan nitelikli işlemler yapılabilir hale getirilmiştir (Yazıcı, 2016).

Dördüncü Sanayi Devriminin sunduğu en önemli öğelerden biri üretimde insan faktöründen kaynaklı hataların minimize edilmesidir. İnsan faktörünün azarlatılması yönünde robotik sistemler ön plana çıkmaktadır. Robotik sistemler günümüze kadar otomotiv sektöründe kullanılmış olsa da son yıllarda artık çeşitli sektörlerde de uygulanmaya başlanmıştır. İşletmelerde Robotik teknolojiler kullanılarak oluşturulan sistemler ile üretime ilişkin verimliliğin ve çıktı miktarının artırılması amaçlanmaktadır (İnan, 2019; Schwab, 2017).

Son yıllarda teknolojisinin getirdiği yenilikler doğrultusunda işletmeler üretim süreçlerinde robot kullanıma daha çok yer vermeye başlamıştır. Siemens verilerine bakıldığında toplam robot satış rakamlarının toplam değeri 2015'te 25 milyar doları geçmiştir. Bu satışlara yönelik en büyük pay ise endüstri robotlarına aittir. Üretim alanında kullanılan robotların en yoğun olarak kullanıldığı ülkeler Japonya, G. Kore, Almanya ve ABD olarak sıralanabilmektedir (The Future of war, 2018).

İleri teknolojiye sahip robotlar, otonom üretim yöntemini daha doğru bir biçimde uygulamak ve üretim sürecinde çalışanların faaliyet için kısıtlı olduğu durumlarda faaliyeti gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. İleri robotik teknolojisine sahip bu akıllı robotlar, onlara tanımlanan görevi belirli bir zaman içerisinde akıllıca ve kesin olarak gerçekleştirebilmektedir. Bununla birlikte esneklik, güvenilirlik, çok fonksiyonluluk ve iş birliği hususları üzerine sınırlanabilmektedir (Bahrin vd., 2016).

İşletmeler için robotlar üretkenliği artırır ve piyasada rekabet edebilmek için güç sunar. İşletmeler için ilet robotik teknolojilerine yatırım yapmanın nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (IFR International Federation of Robotics, 2021):

- Yüksek değere sahip üretim alanlarında yerden tasarruf edilmesi,
- Üretime yönelik çıktı oranlarının arttırılması,
- Üretilen ürünün kalitesinin arttırılması,
- İşletme ya da sermaye maliyetlerinin azaltılması,
- Üretimde çalışanlara yönelik geliştirilen destek ve verimlilik (Çalışanlara yönelik iş kalitesinin iyileştirilmesi, sağlık ve güvenlik kurallarına uyulması)
- Optimize edilmiş performans yöntemiyle enerji ve kaynağa ilişkin verimlilik sağlanması (enerji tüketimi, malzemeye ilişkin israfların azaltılması ve verimin arttırılması)
- Esneklik sağlama, (COVID-19 gibi sistemik şoklara dayanmak)
- Üretim faaliyetini hızlı bir şekilde farklı durumlara uyarlayabilme ve talepte meydana gelen değişikliklere yanıt vermede hususunda daha fazla esneklik sağlama.

3.2.6.Simülasyon Teknolojisi

Simülasyon kelimesi Latince “similis” anlamına gelen benzer kelimesinden gelmiştir. Simülasyon teknik olarak gerçek bir iş sürecinin ya da sistemin işleyişinin bire bir olarak taklit edilmesi olarak ifade edilmektedir. Dawson’a göre simülasyon kavramı herhangi bir operasyonun inşa edilmesi ve manipülasyonu bununla birlikte bir sürecin ya da faaliyetin bir bölümünün veya hepsinin sembolik bir şekilde ya da fiziki olarak gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Dawson, 1962).

Robert E. Shannon’a göre simülasyon kavramı “gerçek ya da hayali bir sistemin modelini tasarlama ve yapma süreci “olarak tanımlanmıştır. Diğer bir açıdan Simülasyon gerçeğin simgelenmesi olarak ifade edilmektedir (Shannon, 1998).

1960’lı yıllarda mühendislik alanında yalnızca bilgisayar ve matematik yetkinlerine açık bir teknoloji konumunda olan Simülasyon, 1985’li yıllarda da tasarımlara cevap verebilmek adına standart olarak kullanılan uygulamalar olarak bilinmekteydi. 2000’li yıllardan itibaren kapsamlı bir uygulama alanında kullanılmaya başlanılarak son

zamanlarda artık kesintisiz yardım teknolojisi olarak yerini almış ve işletmelerin stratejik ve operasyonel planlamalarını yapmak için kullanılmaktadır (Rodric, 2017).

Endüstri 4.0 ile bilgisayar sistemlerinde yaşanan artış, simülasyona yönelik tasarım teknolojilerinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Simülasyon tekniği fiziksel sistemin sahip olduğu verilerin sanal ortama aktarımının yapılması ile bu verilerin izlenmesi ve değerlendirilmesi hususunda altyapı oluşturulmasını sağlamaktadır. Simülasyon meydana gelebilecek olasılıkların sanal ortamda gerçekleşmeden önce izlenebilmesini ve buna yönelik gerekli çalışmaların planlamasının yapılmasını amaçlamaktadır (Çelen, 2017).

Simülasyon teknolojisinin kullanılması ile birçok fayda elde edinilebilir. Bu faydalar şu şekilde özetlenmiştir (RüBmann vd., 2015):

- Rastgele bir sistemin etkileşiminin incelenmesi ve üzerinde deneyler gerçekleştirme imkânı sunması,
- Sistem analizcilerinin kapsamlı düşünmelerinin sağlanması,
- Değişim gösteren olay ve durumlara yönelik sistemin sergileyeceği eylemi önceden görme ve inceleme imkânı sunması,
- Sisteme ilişkin verilerin yetersiz kaldığı durumlarda önemli çözümler sunması.
- Uzay bilimleri ve havacılık gibi kompleks bir yapıya ve ileri teknolojiye sahip ürünlere ilişkin ürünün sanal olarak kopyasının yapılarak test edilme imkânının elde edilmesi bunula birlikte hem maliyeti hem de tehlikeyi ortadan kaldırması (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018).

3.2.7.Siber Güvenlik Teknolojisi

Dördüncü Sanayi Devriminin sunduğu teknolojik ilerlemeler ile birlikte sistemlerin birbirleri ile birleşik olarak çalışmasına ve sürekli haberleşmesine yönelik sayı artış göstermiştir. Bu doğrultuda bağlantı ve standart iletişim protokollerin kullanımında artış gözlenmiş bu artış da kritik yapıdaki endüstriyel sistemler ve üretim hatlarına yönelik siber güvenlik ihtiyacının ön plana çıkmasına sebep olmuştur (Gerbert vd., 2015).

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) Siber Güvenlik kavramını “siber ortamı, kuruluşu ve kullanıcının sahip olduğu varlıkları korumak amacıyla kullanılabilecek

ekipmanlar, güvenlik kavramları, politikalar, güvenlik önlemleri, risk yönetimi yaklaşımları, eylemler, eğitim, yönergeler, uygulamalar, güvenceler ve teknolojilerin hepsi olarak” tanımlamaktadır. Siber güvenlik siber ortamdaki olumsuz risklere karşı tedbir alınması ve korunması sağlamakla birlikte aşağıda belirtilen güvenlik hedeflerini kapsamaktadır (Definition of cybersecurity, 2021).

- Bütünlük (integrity)
- Gizlilik (confidentiality)
- Kullanılabilirlik (availability)

Son yıllarda gerçekleştirilen yüksek oranda veri paylaşımı ve geniş ağ yapısı, işletmelere siber güvenlik önlemleri almaya yöneltmiştir. Kötü niyetli insanların işletmenin sahip olduğu fikri mülkiyetlerin, ürünlerin ve verilerin yetkisiz erişiminin engellenmesi için siber güvenlik tedbirleri almaktır. Bununla birlikte işletmeler tarafından alınan önlemler teknolojik ilerlemeler doğrultusunda sürekli olarak iyileştirmeli ve güncel tutulmalıdır (Endüstri 4.0, 2018).

İşletmeler günümüz rekabet ortamında verilere yönelik saldırılara karşı hazırlıklı olmalı ve önlem almaları gerekmektedir. İşletmeler siber fiziksel sistemleri üretimi kontrol etmek, gözetlemek ve şeffaflık sağlamak ve verimliliklerini artırmak için kullanmaktadır (Yıldız, 2018).

Siber saldırılara yönelik son zamanlarda birçok olay gerçekleşmiştir. Bazıları iktisadi alanda olmakla birlikte bazıları da kamusa devletlerarası ilişkiler düzeyindedir. Yapılan siber saldırılar politik, ekonomik ve askeri zararlara sebep olmaktadır. Özellikle gizli ticari veriye sahip teknoloji üreten işletmeler için sahip oldukları teknolojileri ve ticari bilgileri ekonomik bir değer elde edilmeden internet ağı üzerinden ele geçirilmesi işletme ve ülke açısından büyük zarara sebebiyet verebilecektir. Bundan dolayı oluşabilecek siber savaşımlara karşı önceden önlem alınarak zarar düzeyi en aza indirilmelidir. Ağ teknolojileri çerçevesinde birbirleri ile bağlanan birçok sistemin getirdiği stratejik ve ekonomik faydalar ile risklerin de var olduğu bilinmekte bu sebeple sistemlerin kritik önem düzeyinde değerlendirilerek yönetilmesi gerekmektedir (Schwab, 2017; Banger, 2017b).

Siber saldırılara yönelik birçok firma tarafından siber güvenlik raporları yayımlanmaktadır. Siber güvenlik raporlarında önümüzdeki dönemlerde siber

saldırıların ve buna bağlı olarak ekonomik boyutta kayıpların da artacağı belirtilmiştir. Siber saldırıların artacağı beklentisi işletmeleri ve devletleri siber güvenlik alanına yatırım yapmaya yönlendirmiştir (STM Mühendislik, 2016).

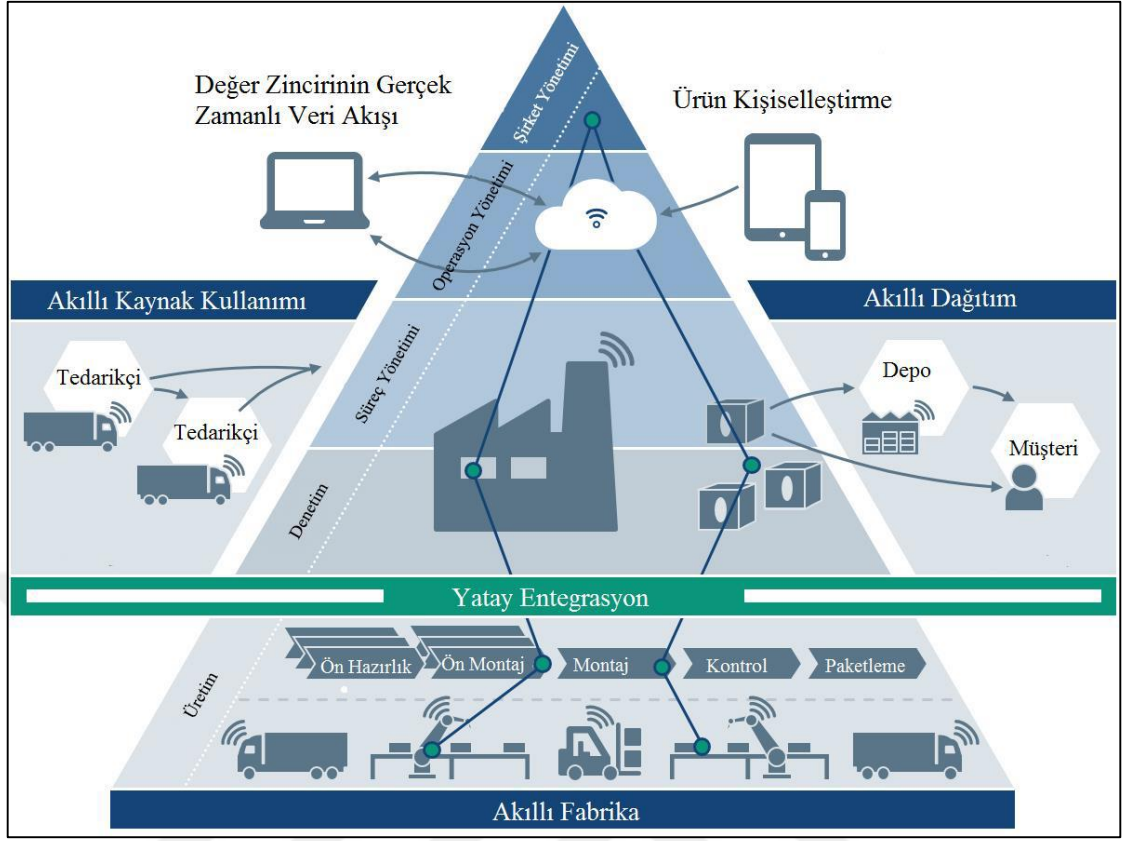
3.2.8.Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu

Endüstri 4.0'ın sahip olduğu temel unsurdan biri; tüm üretim süreçlerin altyapı ve üst yapı sistemlerinin birbirleri ile etkileşim halinde ve ağ üstünde eşgüdümlü olarak faaliyet göstermesi olarak bilinmektedir (Bulut ve Akçacı, 2017). Üretim açısından bu yapıların kesintisiz olarak iletişim halinde olmasının gerekliliği ile bu iletişimin süreç içerisinde bulunan tüm noktalarında yatay-dikey entegrasyonunun sağlanması gereklidir (Koçak, 2019).

Yatay entegrasyon sağlanması için işletmelerin birbiri ile mal ve hizmet tedariki hususunda iş birliği yapması gereklidir. Diğer bir taraftan dikey entegrasyon, işletmenin kendine ait yapılanmasında hiyerarşik bölümlerin esnek, yalın ve kişileştirilmiş çıktı sunabilmeleri ve bölümler arasında iş birliği sağlanabilmesi amacıyla gerçekleştirmesi gereken bir işlemdir (Çiçek, 2021).

İşletmelerin bulundukları pazarda paylarının artırılması, kendi müşteri profili ile aynı olan diğer işletmeler ile birleşerek bir yatay entegrasyon sağlanması ile gerçekleşebilmektedir. Bu sistemde üretim prosesi ve tedarik zincirinki yer alan her bir kademenin birbiri ile ve diğer işletmelerim üretim prosesi ve tedarik zinciri basamakları arasında devamlı olarak veri aktarımı sağlanmaktadır. Yatay entegrasyon hammadde tedariki, tasarım aşaması, pazarlama, üretim, gönderim olmak üzere bütün süreçleri kapsamaktadır (Koçak, 2019).

Diğer bir taraftan, işletmelerde sadece süreçlerin içerisinde olmamakla birlikte tüm aşamalarda bulunan teknolojik altyapılar içerisinde devamlı bir iletişimin sağlanması dikey entegrasyon olarak ifade edilmektedir. Dikey entegrasyon benzer sektörde bulunan ve farklı tüketici profiline sahip işletmelerin birbiri ile olan entegrasyonun sağlanması yönüyle yatay entegrasyondan farklılaşmıştır (Koçak, 2019). Endüstri 4.0 kapsamında yer alan akıllı fabrikalarda yatay-dikey entegrasyonun genel çerçevesi aşağıda Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Akıllı Fabrika Yatay ve Dikey Entegrasyon

Kaynak: (PNEGg, 2020)

Günümüz rekabet koşullarında işletmelerin yaşamını sürdürebilmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple işletmelerin yatay ve dikey entegrasyon sağlamaları pazarda büyük fayda sağlayacağı bilinmektedir. Bu avantajlar aşağıda yer alan Şekil 3.11.'de sunulmuştur.



Şekil 3.11. Yatay- Dikey Entegrasyonun Sağladığı Avantajlar

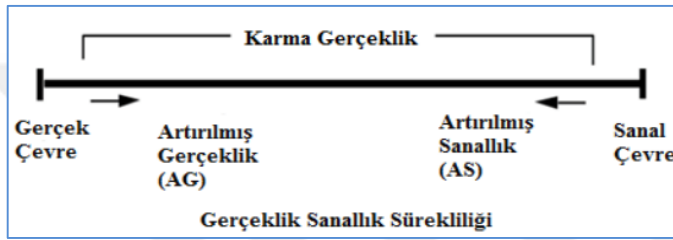
Kaynak: (Schuldenfrei, 2020)

3.2.9.Artırılmış Gerçeklik

Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği teknolojik ilerlemeler ile son zamanlarda bilişim teknolojileri kapsamında en çok dikkat çalışma alanlarından biri Artırılmış Gerçeklik (AG) olmuştur. Artırılmış gerçeklik (augmentedreality) kavramı algılanan gerçek dünya görseli üzerine bilgisayar aracılığıyla üretilen sentetik dünya görselinin entegre edilmesini içeren bir yazılım donanım teknolojisi olarak ifade edilmektedir (Palmarini vd., 2018).

Milgram ve Kishino (1994) göre artırılmış gerçeklik kavramı “*Gerçek dünya objelerinin yerine dijital ortam ürünlerinin kullanıldığı gerçeklik ortamıdır*” (1321-1329) olarak ifade edilmektedir. Artırılmış gerçeklik kavramı diğer bir açıdan “gerçek dünya ile bağlantısını devamlılığını sağlayan görüntü ve verilerin gerçek dünya görüntülerine eklenebildiği bununla birlikte gerçek ve sanal objelerin aynı alanda birlikte algılanmasını sağlayan bir alan” olarak tanımlanmaktadır (İçten ve Bal, 2017: 111).

Milgram ve Kishine'in (1994) sanal ve gerçek ilişkisini sunan Gerçeklik Sanallık Sürekliliği teorisinde artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik terimleri sunmuştur. Artırılmış gerçeklik kavramı ile sanal gerçeklik kavramı anlam olarak birbirini ile karıştırılmaktadır. Sanal gerçeklik kavramı bilgisayar temelli üç boyutlu oyunlarda karşılaşılan, kullananın bu alana girdiğinde dünya ile bağının tamamen yok olduğu bir alan olarak tanımlanmaktadır (İçten ve Bal, 2017: 111). Artırılmış gerçeklik ile sanal gerçeklik aynı ilkeleri kullanan ve bilgisayar aracılığı ile oluşturulmasının yanı sıra artırılmış gerçeklik sanal gerçekliğin temel aldığı sanal dünyadan farklı olarak gerçek dünyayı ana unsur olarak almaktadır (Koşan, 2014).



Şekil 3.12. Milgram'ın gerçeklik-sanallık sürekliliği (Milgram's reality-virtuality continuum)

Kaynak: (Demirezen, 2019)

Artırılmış gerçeklik uygulama alanlarına bakıldığında ilk olarak askeri alanda kullanımın yapıldığı bilinmektedir (Livingston, ve diğerleri, 2011). Askeri alanda faaliyet gösteren savaş pilotlarının kullandığı kasklarına göz seviyesinde saydam özelliğe sahip ekranlar tasarlanarak yerleştirilmiştir. Bu ekranlar sayesinde savaş pilotları uçuş verilerini anlık olarak görebilmektedir. Bununla birlikte saydam özelliği ile savaş pilotlarının gerçek görüntüleri ile veri ekran görüntüsünü bir arada görmesi hedeflenmektedir. Artırılmış gerçeklik kullanımı savaş pilotlarının kullanım alanı ile başlamış olup farklı alanlarda da görülmektedir. Bu alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (İçten ve Bal, 2017);

- Doğal afet ve nükleer kazalardan korunma
- Eğitim ve insan bilimi
- Sanat, reklam ve pazarlama
- GPS ve coğrafi etiketleme
- Eğlence, sağlık ve müzecilik
- Mühendislik, askeri ve güvenlik

3.2.10. RFID Teknolojisi

RFID (Radio Frequency Identification Tag) “Radyo Frekansı ile Tanımlama” olarak bilinmektedir. RFID, nesnelerin interneti teknolojisinin ana unsurlarının içinde; küçük yapıda tasarlanmış kablosuz ağa bağlanma fonksiyonu olan bununla birlikte insan ya da nesneleri tanımlayabilmek amacıyla kullanılan bir teknolojisidir (Juels, 2006).

RFID teknolojisi değişik yapıda objelerin otomatik olarak tanımlanmasında radyo dalgalarını kullanmaktadır. Yeniliklere temel oluşturan bu teknoloji işletmelerin sahip oldukları tedarik zincirlerini denetimini sağlama konusunda meydana gelen sıkıntıları çözülmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Jones vd., 2004; Smith, 2005).

1926 yılında ilk olarak askeri alanda kullanılan RFID teknoloji İngiltere II. Dünya Savaşı zamanında düşman ve müttefik uçakların belirlenmesini sağlamıştır. Bu teknolojinin ilk ticari kullanımı ise 1984 yılına dayanmaktadır. Bu yılda Genel Motors RFID teknolojisini otomobil imalatında araçların gövdelerine yerleştirdiği etiketler ile her gövdede hatasız donanımların kullanıldığını denetlemek için uygulanmıştır. Şimdiki zamanda ise RFID teknolojisi birçok farklı işkolunda kullanılmaktadır (Juban ve Wyld, 2004).

Radyo Frekansı ile Tanımlama teknolojisi değerin sahip olduğu bilgileri barındıran mikroişlemci ve bu mikroişlemciye bütünleşmiş anten ile birlikte donatılmış etiket bulunduran bir değerin, ayrıca etikette bulundurduğu veriler ile eylemlerinin izlenebilmesine, analiz edilmesine ve yönetilebilmesini sağlamaktadır (Finkenzeller, 2003).

Nesneler üretildiği andan dağıtım yapıldığı döngü boyunca RFID teknolojisi ile tanınıp takip edilmektedir. RFID iletişim sistemleri genel olarak 6 ana öğeden oluşmaktadır. Bunlar Tablo 3.3.’te sunulmuştur.

RFID Etiket	Objelere ait verilerin depolandığı, antene ve mikroçipe sahip üzerinde koruyucu tabakana bulunan bir araçtır. RFID etiketler elektronik olarak bilgi taşıyıcıları olarak görev alır ayrıca bulundukları farklı konumlarda farklı veriler yazılıp okunabilmektedir (Bhatt ve Glover, 2006).
RFID Anten	Elektromanyetik dalgaları bir yapıdan alarak etrafa veren ya da etraftaki elektromanyetik dalgalardan aldığı işaretler ile bir yapıyı besleyen ayrıca kablosuz haberleşme araçlarının performanslarını iyi seviyelere çıkarmak için kullanılan bir araçtır. İlave olarak RFID antenler okuyucu-okuyucu ya da okuyucu-etiket arasında haberleşmeyi sağlamaktadır (Lahiri, 2006; Yüksel ve Odabaşı, 2009).
RFID Okuyucu	Etiket üzerinde bulunan antenden sinyal alan ve etiket verisini okuyan bununla birlikte radyo frekansı yoluyla üzerinde bulunan antenden etikete sinyal gönderen ve gerektiği koşullarda etikete yeni bir verinin yazılmasını sağlayan bir teknolojik araçtır (Yüksel ve Odabaşı, 2009).
RFID Sorgulayıcı	Programlayıcı ya da yazıcı sıfatı bilinen RFID sorgulayıcı etiket, iletişim kurmak için kullanılan RF modülü ve denetleyici olarak 3 unsurdan oluşmaktadır. Denetleyici ve etiket arasında köprü görevi görmektedir (Finkenzeller, 2003).
RFID Denetleyici	RFID yapısının beyni olarak ifade edilen denetleyici çoklu sorgulayıcıları ağ ortamında birbirlerine bağlamak ve merkez konumunda verileri işlemek amacıyla kullanılmaktadır (Brown, 2007).
RFID Yazılımı	RFID yapının çalışabilmesi için gerekli olan ara katmandır (Yüksel ve Odabaşı, 2009).

Tablo 3.3. RFID iletişim sistemleri öğeleri

3.2.11.Sensör Teknolojisi

Endüstri 4.0'ın en temel öğelerinden biri sensör teknolojisidir. Sensörler akıllı fabrikalardaki imalat sürecinde yer alan ekipmanlara veri tedariği sağlamakla birlikte üretim prosesi hakkında de veri temin eden bir araç konumundadır.

Endüstri 4.0'ın araçlarından biri olan sensörler çift yönlü olarak haberleşme arayüzlerine ve kullanan talebine bağlı olarak yazılım fonksiyonlarına sahiptir. Ayrıca akıllı sensörler üretim sürecinde makinelere uyum sağlayarak otomatik izleme ve yapılandırma fonksiyonları ile sürecin hızlı, güvenilir ve daha basit bir biçimde işlenmesini sağlar (Endüstri 4.0, 2022).

İşletmelere için üretim sürecinde sensör teknolojisi kullanmaları birçok fayda sağlamaktadır. Bunlar (Controlengueurope, 2022);

- Makine performansında ve yapının toplam veriminde artış yaşanması,
- Tak-Çalıştır anlayışına dayanan kolay entegrasyon süreci sunması ve makineler ile kusursuz uyum sağlaması,
- Maksimum seviyede yarar ile anlık ve devamlı olarak bilgileri izleyebilme ve çift yönlü olarak iletişim imkânı sunması,
- Olası arızlara yönelik arıza gerçekleşmeden bilgi edinebilme ve müdahale etme imkânı sunması.

Günümüzde farklı alanlarda (asansörler, bina katlarındaki lambalar, otomatik olarak yanıp sönen ışıklar, otomobil park sensörleri) kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra farklı amaçla kullanılan birçok tip sensör de bulunmaktadır (Şimşek vd., 2018). Bunlar (Elektrikde, 2018);

- i. Gaz sensörü: gaz kaçağını belirlenmesinde kullanılır.
- ii. Renk sensörü: renkleri birbirinden ayırıcı özelliği ile kalite kontrol ve paketleme sistemlerinde kullanılır.
- iii. Görüntü sensörü: tesislerde gaz ve sıvı basıncı, elektronik terazilerde yük ölçümü yapılabilmesi amacıyla optik bir görüntü almada kullanılır.
- iv. Fotoelektrik sensörü: otomatik kapılarda, makine sektöründe, depolama sistemlerinde ve paketleme uygulamalarında kullanılır.
- v. Titreşim sensörü: araç alarm ve güvenlik sistemleri gibi kullanım alanlarında sınırlı bölgedeki hafif vuruş ve titreşimlerin algılanmasında kullanılır.
- vi. Kızılötesi sensör: savunma sanayi, enerji sektörü ve özellikle sağlık alanlarında kullanılır (Altın & Demirel, 2016).

3.2.12.Yapay Zekâ Teknolojisi

Dördüncü Sanayii Devriminin beraberinde getirdiği hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler ile günümüzde önemlilik seviyesi yüksek unsurlardan biri de yapay zekâ kavramıdır. Yapay zekâ temelinde öğrenme, iletişim kurabilme, algılama, akıl yürütebilme, eski verileri kullanabilme, yer değiştirme ve nesnel oynama becerisine sahip yapılar üretmeyi hedeflemektedir (Kuşçu, 2015).

Yapay zekâ, insan aracılığı ile gerçekleştirilen ve zeki olarak ifade edilen eylemlerin makine tarafından yapılması olarak tanımlanmaktadır. Yapay zekâyâ yönelik literatürde birçok tanımlama bulunmakla birlikte MIT Bilgisayar Bilimleri laboratuvar idarecilerden biri olan Edward Fredkin bu kavramı şöyle ifade etmiştir; “Tarihte üç büyük olay vardır. Bunlardan ilki kâinatın oluşumudur. İkincisi yaşamın başlangıcının olmasıdır. Üçüncüsü de yapay zekânın ortaya çıkışıdır.” (Pirim, 2006, s. 82).

Yapay zekâ kavramının ilk izleri 1940’lı yıllarda ortaya çıkmıştır. 1943 yılında McCulloch ve Pitts (1943) tarafından geliştirilen “Beynin Boolean Devre Modeli” beyinde nöronların nasıl işlevler yaptığını matematiksel olarak açıklayan bir teoriye dayanmaktadır. Bu teori yapay zekânın en önemli adımı olarak kabul görmektedir. 1950 yılında, yapay zekâ konusunda önemli bir isim olan İngiliz matematikçisi Alan Turing, Mind adlı felsefe dergisinde “makinelere düşünebilir mi?” sorusunu sorduğu yazısını ele almıştır. Turing yazısında, “problem çözme ve karar verme gibi becerileri, mantık kadar mevcut bilgileri de kullanarak bir insan çözebiliyorsa, makineler neden yapamaz?” sorgulara cevap aramıştır. Daha sonraki zamanlarda yoğun bir şekilde kullanılan “Turing Testi” bu yazıda ortaya atılan bir görüştür. Ancak ortak kavram olarak kullanılan “yapay zekâ”, 1956 yılında ilk defa Dortmund konferansında John McCarthy aracılığı ile gündeme gelmiştir (McCulloch & Pitts, 1943).

Yapay zekâ yapılarının iki tür olarak sınıflandığı bilinmektedir. Bu sınıflandırma şu şekildedir;

- Bunlardan birincisi zayıf ya da dar olarak isimlendirilen yapay zekâ sistemleridir. Bu sistem yapısı insan gibi kabiliyetleri kullanarak sadece belirli bir sorumluluğu bağımsız bir şekilde faaliyete geçiren sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler kendilerinin tasarlandığı şekildeki talimat için kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı sınırlı ve dar bir beceri

yelpazesine sahiptir. Günümüz yapay zekâ yapıları genel olarak bu yapıdadır (Lucci ve Kopec, 2016).

- Bir diğer tür ise güçlü ya da genel bilinen sistemlerdir. Bu yapılar rastgele bir entelektüel özellikteki talimatı gerçekleştiren yapılardır. Zaman içerisinde insanlarla benzer biçimde düşünüp akıl yürütebilen özerk olarak yeni hedefler belirleme kabiliyeti olan akıllı bir yapıya dönüşeceği inanılmaktadır. Ancak hâlihazırda böyle mevcut bir yapı bulunmamaktadır (Goertzel ve Pennachin, 1998).

Yapay zekâ teknolojisi günümüzde birçok işletmede tarafından kullanılmakta ya da bu konuda çalışmalar yürütülmektedir. Yapay zekâ çoğu alanlarda uygulanmaktadır. Bu uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Pirim, 2006; Yapay Zekâ ve Kullanım Alanları, 2022);

- Araştırma, inceleme ve haber işlerinde,
- Bilgisayar oyunlarında,
- Askeri alanlarda,
- Konuşma ve dil kapsamında,
- Üretim süreçlerinde,
- Tıp alanında,
- Siber güvenlik alanında,
- Yaşamsal görevlerde,
- Ulaşım alanında,
- Turizm alanında,
- Akıllı şehir uygulamalarında.

3.3. Dördüncü Sanayi Devriminin Avantajları ve Zorlukları

Endüstri 4.0 kavramı, son yıllarda üretim sektöründe teknolojinin hızla büyümesi ve sanayide büyük gelişmelerin yaşanması ve piyasada rekabet edilmek için ileri seviyede teknolojik üstünlük gerektiren bir süreci kapsamaktadır.

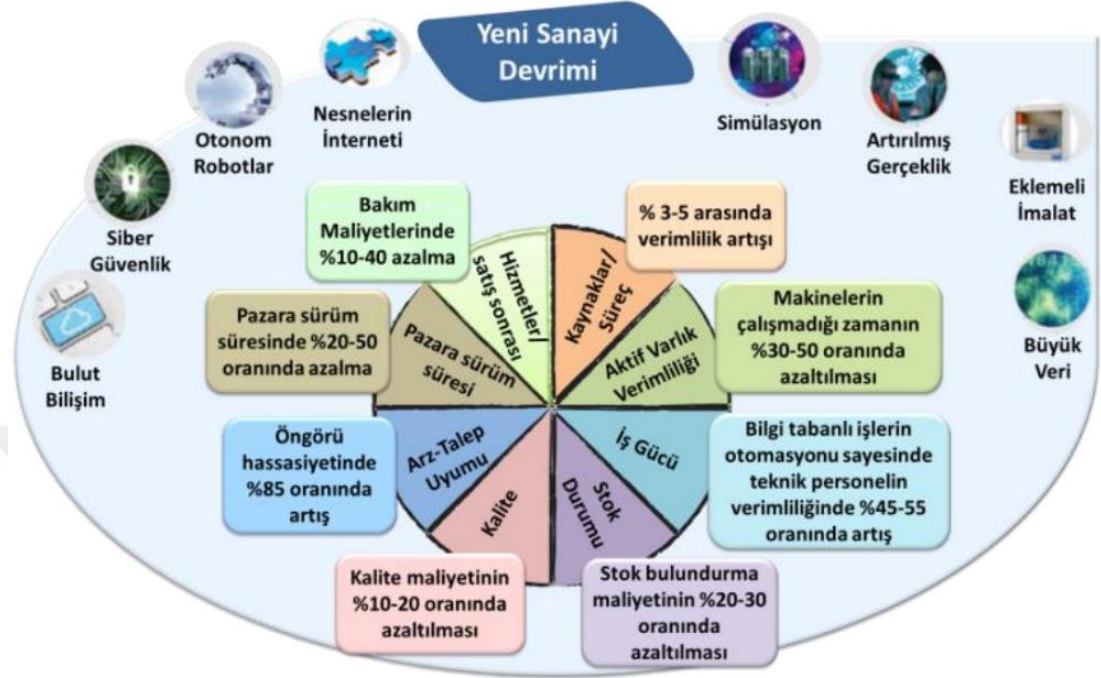
Endüstri 4.0 beraberinde birçok kazanım getirmiştir. Bu avantajlar Tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

1	Endüstri 4.0 yapısını kurmak, etkin hale getirmek ve değişiklik yapmak kolaydır.
2	Açık ve gözlenebilir iletişim hatları sunması ile kaynak yönetimi yapmak basit hale gelmektedir.
3	Yapıya yeni aşamalar ve protokoller ilave etmek kolaydır.
4	Üretim tarafında bulunan ögeler arasında iletişim sağlamak mümkündür.
5	Akıllı fabrikalar ile imalatın daha esnek bir hal alması sağlanacaktır. Otomasyon ve makiler ile faaliyet gösteren süreçlerde farklı tip ürünler aynı üretim aşamasına dâhil edilebilecektir.
6	Müşteri odaklılık esasında müşteri ihtiyacına yönelik küçük miktardaki üretimler de prototip olarak gerçekleştirilebilecektir.
7	Endüstri 4.0 araçları ile üretim süreci kısılacaktır.
8	Ürünlere yönelik üretim hata oranlarında düşüş yaşanarak daha kaliteli ürünlerin üretilmesi sağlanacaktır.
9	Verimliliğe doğrudan ve dolaylı olmak üzere pozitif etki sağlaması.
10	Müşteriler açısından üretimde tasarlama aşamasına dâhil olmalarını sağlayarak ürünü kolay ve ucuz şekilde temin etme imkânı sunması.
11	Üretime yönelik enerji tasarrufu sağlamaktadır.
12	İnovasyonların meydana gelme süresinin kısılmasını sağlamak.
13	Üretim maliyetlerinin minimum seviyeye inmesini sağlamak.
14	Küresel boyutta oluşabilecek değişimlere kolay uyum sağlama imkânı.
15	Güvenlik açısından kritik atılımların meydana gelmesi.
16	Personel işe alım sürecinde daha adaletli ve verimli kararlar alabilme imkânı.
17	Temiz ve yenilenebilir güç kaynaklarının kullanılması.
18	KOBİ'lerin kısa sürede karşılaşılan karmaşık yapıda ve pahalı ve üretimde zorluğa neden olan adımların kolay bir şekilde aşılmasını sağlamak.
19	Üretim sürecinde meydana gelebilecek iş kazalarının önlenmesini sağlamak.
20	Üretim süresince insana gösterilen değerin artması.
21	İhtiyaçların insana olan iş gücünden akıl gücüne dönüşmesi.

Tablo 3.4. Endüstri 4.0 Avantajları

Kaynak: (Petekci, 2021; Bag vd., 2022; Ardito vd., 2019; Bartodziej, 2017; Yüksekbilgili ve Çevik, 2018; Kasa ve Arslan, 2020) .

Yukarda bahsedilen avantajların yanı sıra dördüncü sanayi devriminin işletme düzeyinde sağlayabileceği avantajlar Şekil 3.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Endüstri 4.0 İşletme Düzeyinde Sağladığı Avantajlar

Kaynak: (McKinsey ve Company, 2015)

Dördüncü Sanayi Devriminin sunduğu araçların işletmeler açısından sağladığı faydalar incelendiğinde; kalite, bakım ve stok bulundurma maliyetlerinde, ürünlerin pazara sunulma sürelerinde ve ayrıca imalat sürecinde makinelerin zorunlu olarak işlem yapmadığı sürelerde düşüş sağlanacağı görülmektedir. Bununla birlikte süreçte ve kaynak kullanımında verimlilik düzeyinde, teknik personel verimliliğinde ve öngörü hassasiyetinde artış sağlamaktadır.

Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik üstünlükler ile sağlanan birçok avantajın yanı sıra dezavantajlarda mevcuttur. Endüstri 4.0 ile meydana gelen dezavantajlar Tablo 3.5'te sunulmuştur.

1	Genel olarak insan gücüne olan ihtiyacın azalacak olmasından dolayı işsizlik sorunlarının artacak olması.
2	IT bölümlerinde çalışan personel sayısına yönelik ihtiyaç azalacaktır.
3	Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin uzun ve maliyetli olacağından dolayı işletmelerde isteksizliğe neden olabilmesi.
4	Üretim sürecinde yer alacak yazılım teknolojilerinde ve fiziksel sistemlerde bütünleşik olarak çalışacak kalifiye personele olan ihtiyacın artacak olmasından dolayı mavi yakalıların işten çıkarılma tehlikesinin oluşması. Bu işten çıkarılma hususu işletmeleri hem yasal hem de maliyet açısından zorluk yaratabilecektir.
5	Üretim sürecinde yer alacak robotlardan vergi alınmaması durumu sosyal güvenlik kurumlarını (SGK) olumsuz yönde etkileyebilir.
6	Endüstri 4.0 'da nitelikli personele olan ihtiyaç ve vasıfsız çalışanlara ilişkin iş alanının olmayacak olması devletin ilave yük almasına sebep olabilecektir.
7	Endüstri 4.0'ın getirdiği yeni teknolojileri elde etmek için ciddi bir sermaye ve bu alanda büyük düzeyde uzmanlık gerekli olmasından dolayı KOBİ'ler açısından edinilmesi kolay olmayacağından dolayı rekabet sektöre uğrayabilir ve tekelleşme daha çıkartabilir.
8	Toplum içinde gelir adaletsizliği seviyesinin üst boyutlara çıkması.
9	Üretim sürecinde yer alacak nitelikli personelin bulunması konusunda zorluk yaşanması.
10	Sendikalaşma hususunda oranlarda düşüş yaşanması.
11	İşletmelerin güvenliğe yönelik yatırımlarına büyük pay ayırması gerekliliği.
12	Tahmin edilemeyen maliyeti yüksek robotik kazaların meydana çıkması.
13	Personel işe alım sürecinde insanın yönün göz ardı edilmesi.

Tablo 3.5. Endüstri 4.0 Dezavantajları

Kaynak:(Petekci, 2021; Muhuri vd., 2019; Moktadir vd., 2018; Hofmann,ve Rüsch, 2017; Kasa ve Arslan, 2020).

Dördüncü Sanayi Devriminin işletmeler açısından Tablo 3.4'te bahsedildiği gibi birçok faydası bulunmaktadır. Bu faydalar çerçevesinde işletmelerin kendini daha iyi bir konuma getirebilmeleri ve hızla değişkenlik gösteren rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için Endüstri 4.0'a geçiş sürecini hızlandırmaları ve sürece en hızlı şekilde bütünleşme sağlamaları gerekmektedir. Bu geçiş sadece işletmelerin kendi arzularının yanı sıra ülkelerin bu yeni devrimi benimsemeleri, yatırımlar yapmaları, farkındalık düzeyini artırmalı ve bu kapsamda politikalar geliştirerek geçiş sürecinde büyük rol almaları gerekmektedir.

Aynı zamanda, Endüstri 4.0 beraberinde bazı dezavantajlar da getirecektir. Tablo 3.5'te yer alan bu dezavantajlar değerlendirildiğinde Endüstri 4.0 işletmelerin yanı sıra devlet açısından çözüm bulunması gerekli sorunlar doğurabileceği görülmektedir. Bu

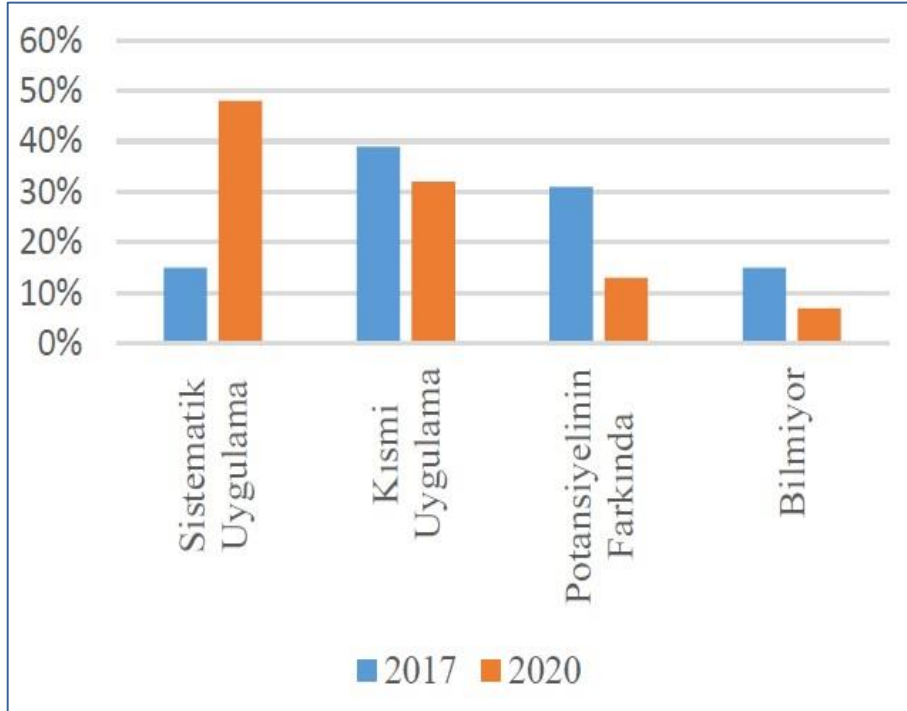
sorunların en başında ise meydana gelebilecek “işsizlik” problemi yer almaktadır. Endüstri 4.0 ‘a geçiş sürecinde olan ülkeler, bu yeni devrim ile meydana gelebilecek olumsuz yönleri önceden değerlendirerek çözümler ve politikalar geliştirerek yeni sürecin olumlu yönlerinden daha net faydalanabilir.

3.4. Dünyada ve Türkiye’de Endüstri 4.0

Sanayi sektöründe yer alan işletmeler hızla ilerleyen teknolojik gelişmeleri ile yeni bir sanayi reformunu gerçekleştirmektedir. Son yıllarda büyük çığır açan bu yeni dönemin yani Endüstri 4.0’ın bünyesinde yer alan birçok unsur ayrı şekillerde hazır konumunda bulunmaktadır. Ancak bu dönemin varlığından işlevliğinden söz edilmek için sahip olduğu unsurları bir arada bulunmasını sağlayarak yapılara ve üretim işleyişine bütünleşmesi sağlanmalıdır (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018).

3.4.1. Dünyada Dijital Olgunluk Seviyesi ve Endüstri 4.0

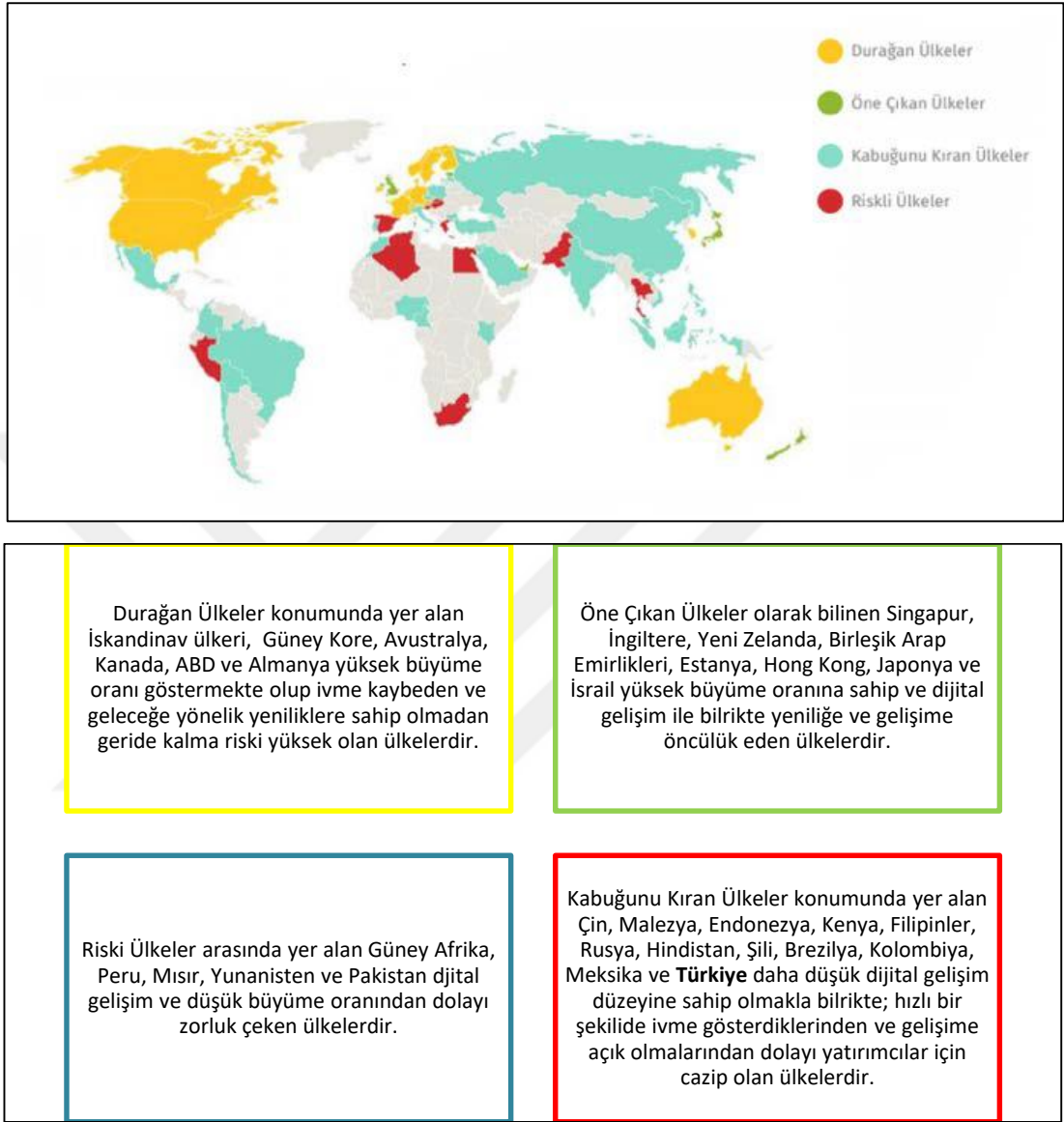
Dünyada son yıllarda teknolojik gelişmelere adapte olunma yönünde eğilim gösterildiği ve Endüstri 4.0’ın kullanımı giderek arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca üretim ve hizmet proseslerinde yeni sanayi devriminin entegrasyonu git gide artış göstermektedir (Dijital Dönüşüm, 2018). Şekil 4.1’de son yıllarda uygulamanın değişim düzeyi sunulmuştur.



Şekil 3.14. Dünyada Endüstri 4.0 Kullanım Düzeyi

Kaynak: (Sağıroğlu, 2018)

Endüstri 4.0'ın Dünya'da ve Türkiye'de mevcut durumu aşağıda Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Dünya ülkelerinde ve Türkiye'de dijital dönüşüm

Kaynak: (Sağıroğlu, 2018)

Boston Danışma Grubu (BCG) tarafından dünya ülkeleri arasında rekabet gücü yüksek olan Almanya, ABD, Çin Fransa ve İngiltere'de üretim yapan işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerine ne düzeyde uyum sağlayabildiğini görmek amacıyla işletmelerin üst düzey yöneticilerinin katıldığı bir anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 2016 yılında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda Çin'in lider ülke konumunun devam etmekte olduğu ayrıca araştırmada yer alan beş ülkenin Endüstri 4.0 ekseninde önemli düzeyde ilerlemeler kat ettiği görülmüştür. Bununla birlikte araştırma bulgularında

yakın gelecekte Endüstri 4.0 teknolojilerini devreye alama hususunda diğer ülkelere göre daha hazırlıklı olduğu sonucunun elde edildiği ülke olan Çin'in üretim işletmelerini yalnızca %3'ünün Endüstri 4.0'a hazır olmadığı görüşmüştür. Ayrıca anket yapılan işletmelerin son bir yılda dijital dönüşüm hususunda ilerleme sağladığı ancak yalnızca %10'nun önemli düzeyde ilerleme kat ettiği görülmüştür. Araştırma ile sanayide Endüstri 4.0 teknolojilerine dönüşüm aşamasının uzun bir süreç olduğu sonucu elde edilmiş ve tüm işletmelerin %60'ının sanayide Endüstri 4.0 teknolojileri gelecek 5 yılda uygulamayı hedefledikleri belirtilmiştir (Boston Consulting Group, 2016).

BCG tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen araştırmada sonucunda Endüstri 4.0 teknolojilerinin yaygın bir şekilde uygulanması gelecekteki 10-15 yılda Alman ekonomisinde önemli derecede etki yaratabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu etki ile birlikte imalat sürecindeki dönüşüm maliyetlerinin %15-25'ini oranında verimlilik artışı ile birlikte 90-150 Milyar Euro civarında maliyet avantajı elde edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir (Gerbert vd., 2015).

Dijital dönüşüm olarak da bilinen Endüstri 4.0'a önderlik eden ülkelerin en başında yapılan araştırmalar neticesinde Çin olarak bilinmektedir. Çin sahip olduğu ucuz iş gücü ile maliyet avantajını elde eden ve dünyanın en büyük ekonomilerinden biri olarak bilinmektedir. Çin'in sahip olduğu bu avantaj doğrultusunda küresel ticarete rekabet üstünlüğünü korumaya yönelik olarak Endüstri 4.0'ı başarıyla uygulaması gerekmekte olduğu aşikârdır. Diğer bir taraftan batı ülkeleri ve Avrupa imalata ilişkin avantajlarını geri elde etmek istemekte ve dijital dönüşüm sürecini işgücü açısından avantajlı olan Uzakdoğu ülkelerine özellikle de Çin'e karşı bir anahtar olarak kullanma talebi içerisinde. Türkiye'nin için ise Endüstri 4.0'a yönelik yol haritasında Çin örnek alınabilecek bir konumda yer almaktadır (Boston Consulting Group, 2016; Gerbert vd., 2015).

Dünya ülkelerinin hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler ile küresel rekabetin farklı bir boyut kazandığı piyasada yeni sanayi devrimini benimseyebilmek ve imalat sektöründe de yeniliklerin varlığından söz edebilmek için yeni stratejiler ve yol haritaları oluşturmaktadır. Bu kapsamda;

- Amerika'da Akıllı İmalat Koalisyonu ve Akıllı İmalat Açık Platformu oluşturulmuştur.

- Avrupa’da Kamu-Özel Sektör Ortaklıkları, geleceğin fabrikaları, kaynak ve enerji verimliliği ile sürdürülebilir süreç endüstrileri hususlarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.
- Almanya’da Endüstri 4.0 ve Dijital Ekonomi, Endüstri 4.0 Vizyonu 2025 ve Endüstri 4.0 Uygulama Stratejilerine yönelik alanlarda çalışılmaktadır.
- Japonya’da Toplum 5.0, Akıllı üretim sistemleri ve yeni imalat sistemleri hususlarında yönelmeler gerçekleştirilmektedir.
- İngiltere’de katma değerli imalat girişimi ve 7 uzmanlaşmış merkez konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir.
- Fransa’da geleceğin endüstrileri girişimi konusunda faaliyetler oluşturulmaktadır.

2022 yılında Küresel Endüstri Analistleri işletmesi tarafından yayımlanan Endüstri 4.0 - Küresel Pazar Yörüngesi ve Analitik konulu raporunda, küresel Endüstri 4.0 pazarı 2020 yılında 90,6 Milyar ABD Doları olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca pazarın 2020-2027 döneminde %16,5'lik bir YBBO (yıllık bileşik büyüme oranı) ile büyüyerek 2027 yılına kadar revize edilerek 264,3 Milyar ABD Doları seviyelerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, raporda Nesnelerin İnterneti’ne yönelik inceleme yapılmış ve analiz dönemi sonunda bu araca yönelik pazarın %17,3'lük YBBO ile 68,2 Milyar ABD dolarına ulaşması öngörülmektedir. Bununla birlikte Endüstriyel Robotik alanındaki büyüme, önümüzdeki 7 yıllık dönem için revize edilmiş %18,7'lik YBBO'ya göre yeniden düzenlenmiştir (Metaverse Global Market Report, 2022).

Aynı zamanda, raporda ABD'deki Endüstri 4.0 pazarının 2020 yılında 23,7 Milyar ABD Doları olacağının tahmin edildiği ifade edilmiştir. Dünyanın en büyük ikinci ekonomisi olan Çin'in, önceki yıla göre %20,7'lik bir yıllık bileşik büyüme oranının ardından 2027 yılına kadar öngörülen pazar büyüklüğünün 51,2 Milyar ABD doları seviyesine çıkacağı tahmin edilmektedir (Metaverse Global Market Report, 2022).

Raporda küresel 3D yazılara yönelik payda ABD, Kanada, Japonya, Çin ve Avrupa gibi ülkelerin pazar payına ilişkin tahmin edilen %16,6'lık YBBO'yu yönlendireceği belirtilmiştir. 2020 yılında toplam 11,5 Milyar ABD Doları büyüklüğündeki bu bölgesel pazarların, analiz döneminin ardından 33 Milyar ABD Doları büyüklüğe

ulaşacağı ifade edilmiştir. Ayrıca Çin, bu bölgesel pazarlar kümesinde en hızlı şekilde ilerleyenlerden biri olmaya devam edecek (Metaverse Global Market Report, 2022).

Marqual BT Çözümleri Pvt. Ltd (KBV Araştırma) tarafından Eylül 2022 tarihli “Teknoloji, Bölgesel Görünüm ve Tahmine Göre Küresel Endüstri 4.0 Pazar Büyüklüğü, Payı ve Endüstri Eğilimleri Analiz Raporu, 2022-2028” ‘nda Küresel Endüstri 4.0 Pazar büyüklüğünün 2028 yılına kadar 195.8 milyar dolara ulaşması beklendiği ifade edilmektedir. Pandemi sürecinden imalat sektörünün önemli düzeyde etkilendiği dünyanın en büyük otomobil pazarlarından biri olan ABD’deki otomobil üreticilerinin bu dönemde azalan talep doğrultusunda üretim operasyonlarını küçülterek yapay zekâ ve IoT geliştirdiği ifade edilmiştir. Ayrıca pandemiye bağlı olarak personel sayısında eksiklikler sebebiyle üretim sürecinde yeniliklerin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu sayede yapay zekâ ve IoT kullanımı daha da hızlandırıldığı belirtilmiştir. Diğer taraftan raporda 2021 yılında Endüstri 4.0 pazarında en yüksek gelir payına sahip alan Endüstriyel sensörler olduğu ifade edilmiştir (Global Industry 4.0 Market Report, 2022).

İlave olarak raporda Endüstri 4.0 pazarı bölgesel olarak değerlendirildiğinde Asya Pasifik’in 2021 yılında en yüksek gelir payıyla bu pazarda lider bölge olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Asya-Pasifik ülkelerinde Endüstri 4.0 pazarının genişlemesinin temel ana itici güçlerin biri, Japonya, Çin ve Hindistan olduğu ifade edilmiştir (Global Industry 4.0 Market Report, 2022).

Fortune Business Insights tarafından 2022 yılında yayımlanan pazar araştırması raporunda, Endüstri 4.0 pazarının Kuzey Amerika, Avrupa, Asya Pasifik, Orta Doğu ve Afrika ve Latin Amerika olmak üzere beş bölgeye ayrıldığı ifade edilmiştir. Raporda, Kuzey Amerika’nın şirketlerinin akıllı üretim anlayışını giderek daha fazla benimsediklerini ve bölgenin pazara hâkim olmasının beklendiğini belirtmiştir. Ayrıca, Avrupa’nın 2021’de küresel Endüstri 4.0 pazarında ikinci en büyük paya sahip olduğu ve konumunu korumak için teknolojilere önemli düzeyde yatırım yaptığı açıklanmıştır. Bununla birlikte, sektöre dayalı olarak pazarın imalat, enerji ve kamu hizmetleri, otomotiv, petrol ve gaz, havacılık ve uzay ve savunma, elektronik ve tüketim malları ve diğerlerine ayrıldığı vurgulanmıştır. İmalat sektörünün tahmin dönemi boyunca küresel pazara hâkim olacağı tahmin edilmektedir. Otomotiv, ulaşım ve kimya sektörlerinin Endüstri 4.0’ı uygulayan en umut verici sektörler olarak ortaya

çıkmasının beklendiği belirtilmiştir. Raporda ayrıca, Endüstriyel robotların daha fazla kabul edilmesi ve endüstriyel otomasyon talebindeki artış küresel Endüstri 4.0 pazarının büyümesini sağlayacağı üzerine durulmuştur (Market Research Report, 2022).

Avrupa Komisyonu'nun 2021 tarihinde AB'nin 2030 yılına kadar dijital dönüşüm hedeflerini ilerletmeye katkı sağlamak için yayımladığı Dijital Pusula'da;

- KOBİ'lerin yüzde 50'si büyük veri analizi kullanması,
- KOBİ'lerin yüzde 30'u birden fazla Avrupa sınırında iş yapması,
- Öğretmenlerin yüzde 84'ü kendini dijital teknolojileri kullanmaya hazır hissetmesi,
- Araştırma ve yeniliklerin yüzde 10'unun bilişim ve iletişim sektörlerine yapılması,
- Avrupalı vatandaşların yüzde 75'i e-devlet kullanması,
- Çalışan kadınların yüzde 6'sı bilişim ve iletişim sektöründe olması gerektiği vurgulanmıştır (TÜBİSAD, 2022).

3.4.2. Türkiye'de Dijital Olgunluk Seviyesi ve Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 içinde birden fazla teknolojik bileşen bulunduran bir anlayıştır. Bu teknolojik etmenlerin en başında yer alan olmazsa olmaz gelişme dijitalleşmedir. Endüstri 4.0'ın uygulanabilmesi ve tamamlanabilmesi açısından kurumlar tarafından dijital iyileştirmelerin tamamlanması gerekmektedir (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018). Bu kapsamda, Türkiye'deki konumu görmek adına birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, Türkiye'de yeni sanayi devrimi kavramına yönelik ilgi 2015 yılından itibaren başlamış olup, Türkiye'nin Endüstri 4.0 karşısındaki konumunun kuvvetlendirilmesi ve sanayimizde dijital dönüşümün hızlandırılması için 2016 yılının Şubat ayında Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu (BTYK)'nın gerçekleştirdiği 29. Toplantıda bu hususa yönelik kararlar alınmıştır. Bu karar çerçevesinde Endüstri 4.0'ın araçları olan yapay zekâ, siber fiziksel sistemler, sensör teknolojisi, robot teknolojisi, büyük veri, nesnelerin interneti, bulut bilişim ve siber güvenlik alanlarında yetkinlik düzeyinin artırılması için Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi ve yerli

işletmeler tarafından lider teknolojilerin üretilmesine olanak sunacak gereken teşvik programlarının geliştirilmesine yönündedir (TÜBİTAK, 2016).

Türkiye'nin Sanayi'de Dijital Dönüşüm Yetkinliği'ni belirlemek amacıyla TÜSİAD tarafından gerçekleştirilmiş olan; 108 teknoloji kullanıcısı ile 110 teknoloji tedarikçisi firmanın katılım sağladığı, detaylı bir çalışmaya yer verilmiştir (BSG, 2017). Yapılan araştırma sonucunda dört temel bulgu ortaya çıkmıştır:

- i. Sanayide dijital dönüşüm hakkında firmaların çoğunluğunun ilgi ve bilgi düzeyleri yüksek olmasına karşın dijital dönüşüme hazır olma oranı daha düşüktür.
- ii. Türkiye'de sanayi firmalarının dijital dönüşüm uygulama konusunda henüz pilot projeleri faaliyete geçirme aşamasında olduğu gözlemlenmektedir.
- iii. Firmaların özellikle yönetim yetkinlikleri ile strateji ve yol haritalarının düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.
- iv. Firmaların yetkinlik konusundaki seviyelerinin sektör bazında farklılaşmadığı görülmektedir. Ayrıca, büyük ölçekteki firmaların (yıllık olarak 250 milyon TL'den daha fazla geliri olan firmalar) sanayide dijital dönüşüm yetkinlik seviyelerinin küçük ölçekli firmalara nispeten daha yüksektir.

2017 yılında TÜSİAD tarafından gerçekleştirilen araştırmada sanayide dijital dönüşüm konusunda firmaların %90'ının bilgi sahibi olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, firmaların farkındalık konusundaki seviyelerinin yüksek olmasıyla birlikte, katılımcıların yalnızca %61'i firmaların dijital dönüşüme hazır olduklarını düşünmektedir. Araştırmadan elde edilen veriler doğrultusunda firmaların dijital dönüşümle birlikte ileride gerçekleştirecek değişimler konusunda farkındalık düzeylerinin yüksek olduğu görülmektedir. Firmalar, dijital dönüşüm kapsamında gerekli olan teknolojileri ileride yaygın bir şekilde kullanacaklarını, bu dönüşümün firmaların rekabetçiliğini artıracaklarını ve Türkiye'nin küresel rekabetçiliğinin bu teknolojiler ile artırılacağına inanılmaktadır. Bu doğrultuda, dijital dönüşüm gerçekleştiren firmaların hem yerel hem de küresel pazarda rekabetçiliğini artıracakları öngörülmektedir; dönüşüm gerçekleştiremeyen firmaların rekabet etme gücünün azalacağı düşünülmektedir (BSG, 2017).

Endüstri 4.0'e yönelik "Türkiye Yazılım Sektörü Stratejisi ve Eylem Planında da (2017-2019)" bu yeni sanayi devriminin beraberinde getirdiği akıllı üretim sistemleri, yapay zekâ, robotik teknolojiler, 3D yazıcılar, Nesnelerin İnterneti, bulut bilişim ve büyük veri gibi yazılım temelli olan teknolojik gelişmeler vurgulanmıştır (Türkiye Yazılım Sektörü Stratejisi ve Eylem Planı , 2017-2019).

Aynı zamanda, Bilişim Sanayicileri Derneği (TÜBİSAD) tarafından hazırlanan Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi Raporu göre, Türkiye'nin dijitalleşme notu 2019, 2020 ve 2021 olarak yıldan yıla artış göstermiştir. 2019 yılında dijitalleşme oranı 2,94 iken 2020 yılında 3,03 ve 2021 yılında 3,24 olarak belirlenmiştir (TÜBİSAD, 2021).

Bununla birlikte Onuncu Kalkınma Planı Döneminin değerlendirilmesinde, Türkiye'deki sanayi seviyesinin Sanayi 2 ile 3 arasında 2,6 olduğu ayrıca Endüstri 4.0 için yurt dışında yapılan çalışmalara bakıldığında sadece 3,5 yıl geride bulunduğumuzdan Endüstri 4.0'ın bir şans olduğu sonuçları ortaya çıktığı bilgisine yer verilmiştir (On Birinci Kalkınma Planı, 2018).

Küresel ticarete Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konumun sunduğu kolaylıklar ile düşük maliyet ile imalat gerçekleştirilmesinden dolayı küresel ticarete güçlü bir rakip durumundadır. Bu sebeple Türkiye gelecek yıllarda rekabet üstünlüğünü korumak ve küresel pazarda üstün konuma gelebilmesi amacıyla Endüstri 4.0 'a bütünleşmesini gerçekleştirilebilmesi ve sürdürülebilir büyüme hedeflerini yakalayabilmesi için bu konuda önemi oldukça büyük olan Ar-Ge harcamalarına yatırım yapmalıdır (Gündüz vd., 2018).

Dijital Türkiye Platformu'nun KPMG Türkiye ile hazırladığı Dijitalleşme Yolunda Türkiye (2021) raporunda "Tamamen veri merkezli bir stratejiye sahip kurumlar, son yıllarda ulaşım, eğlence, turizm ve finansal hizmetler sektörlerini hızla geride bıraktı. Ancak bu, geleneksel kurum ve kuruluşların veri merkezli liderlere yetişemeyeceği anlamına gelmemelidir. Üretilmekte ve toplanmakta olan büyük miktardaki verinin rekabette kalabilmek için yeni bir zihniyet gerektirdiğini fark ettiğinden, kuruluşların da dijitalleşme için en önemli konu olan verinin demokratikleştirilmesine yatırım yapması gerekmektedir" ifadesi kullanılmıştır. Ayrıca raporda akıllı otomasyon için yapılan yatırımların 2025' yılında 231 milyar dolar civarı olması beklendiğine değinilmiştir.

Türkiye'nin dijitalleşme yolundaki hâlihazırdaki durumunun anlaşılması amacıyla çeşitli alanlardan birçok uzman ve üst seviye yöneticinin katılımıyla yapılan araştırma çıktılarına göre mevcut koşulda en fazla yatırım yapılan alanın siber güvenlik olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple Türkiye Siber Güvenlik ile ilgili 2020'de yayınladığı "Ulusal Siber Güvenlik ve Eylem Planı" ile 2023 yılına ilişkin önemli hedefler belirlendiği ifade edilmiştir. Bu hedefler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ✓ Türkiye'nin siber güvenlik stratejisi içerisinde eğitim,
- ✓ Siber güvenlik konusunda farkındalığının sağlanması,
- ✓ Milli güvenlik altyapılarının korunması,
- ✓ Siber suçlarla mücadele,
- ✓ Yapay zekâ tabanlı yerli siber güvenlik ürünlerinin geliştirilmesi,
- ✓ Yeni nesil teknoloji altyapılarının güvenliğinin sağlanması ve uluslararası iş birliğinin geliştirilmesi.

Bu ilerlemeler sayesinde Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) Global Siber Güvenlik Endeksinde, Türkiye, 2019 yılında dünyada 20'nci sıraya yükselmiştir. Türkiye, siber güvenlikteki çabaları ile Avrupa'da ise 11'inci sırada konumlanmaktadır (KPMG, 2021).

Raporda, Dijital Avrupa Platformu'nun hedef göstergelerinden esinlenerek Türkiye'nin 2025 yılına kadar ki dijitalleşme yolunda bazı hedef alanları belirlenmiştir. Bu hedefler;

- Eğitim (e-devlet kullanım oranının yüzde 80'e ulaşması),
- Bağlanabilirlik,
- Bulut bilişim (kullanımın yüzde 60 seviyesine gelmesi),
- Dijital servis kullanımının artması,
- Fırsat eşitliği,
- Girişimci yaklaşımların benimsenmesi olarak belirtilmiştir (KPMG, 2021).

Deloitte Digital ve TÜSİAD tarafından 2022 yılında yayımlanan "E-ticaretin öne çıkan başarısı, tüketici davranışlarında değişim ve dijitalleşme" raporunda Türkiye'de faaliyet gösteren işletmelerin %99,8'ini KOBİ'lerin oluşturduğu bilgisi verilmiştir.

Dolayısıyla Türkiye’de elektronik satış gerçekleştirebilen işletmelerin sayısında artış meydana gelmesi için KOBİ’lerin dijitalleşmesi ve bu konuda olgunluk düzeylerinin yükseltilmesi adına çeşitli adımlar atılması gerekliliği vurgulanmıştır. Raporda ayrıca KOBİ’lere önerilerde bulunulmuştur. Bu öneriler;

- Dijitalleşme planı oluşturma,
- Teknoloji alanında hedefler belirleme,
- Mevcut organizasyon yapılarının güncellenmesi olarak sıralanabilir.

Aynı zamanda KOBİ’lerin dijital olgunluk seviyelerinin yükselmesi sayesinde COVID-19 pandemi dönemi fırsata çevrilerek, öncelikle dijital pazarlama olmak üzere ödeme sistemleri, internet altyapısı, e-ticaret altyapısı gibi çeşitli alanlarda ilerleme kaydetmeleri KOBİ’lerin hacimlerini arttırarak ticari işlemlerine olumlu katkılar sunacağı belirtilmiştir. Ayrıca raporda, büyük işletmelerin dijitalleşmesinin yanı sıra KOBİ’lerin dijitalleşmesi de e-ticaret pazarı için önemli olduğu ifade edilmiştir (TÜSİAD, 2022).

TURKONFED ve Paynet’ in 2021 yılında 1000 KOBİ ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve Türkiye’deki KOBİ’lerin dijital olgunluk seviyeleri üç farklı ölçütün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çalışma neticesinde KOBİ’lerin dijital olgunluk düzeyi %56,2 oranında olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu oranın ise “orta düzey” bir dijital olgunluk düzeyini ifade ettiği değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılım sağlayan KOBİ’lere üç yıl içerisinde dijital ve teknoloji alanına yatırım planları sorulmuştur. Sonuç olarak KOBİ’lerin %61,8’inin pandemi sürecinde dijitalin öneminin artması sebebiyle yatırım yapmayı planladıkları vurgulanmıştır (Paynet ,2021).

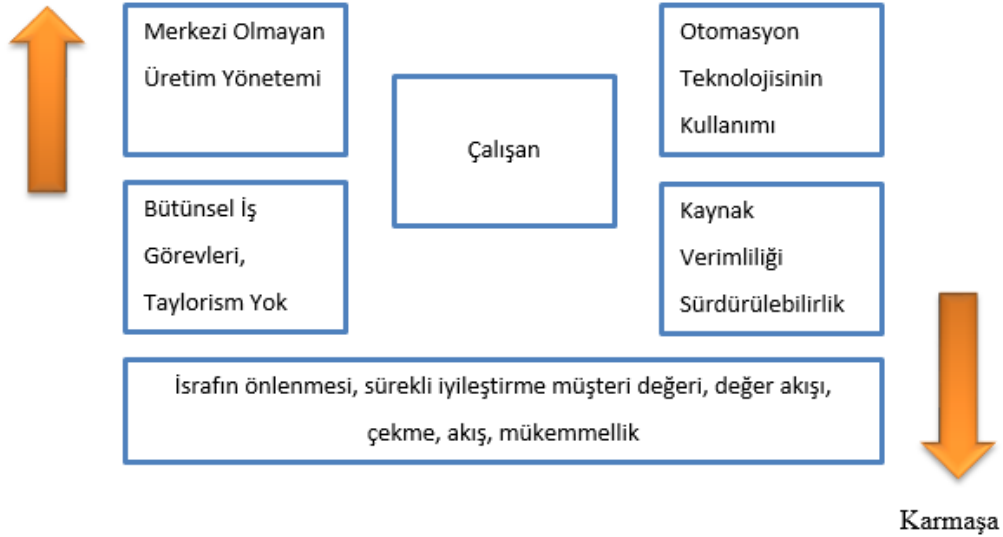


4. YALIN ÜRETİM VE ENDÜSTRİ 4.0

Yalın üretim daha önceki sanayi devrimlerinde üretim akışında ortaya çıkacak israfların önlenmesi için kullanılan bir yaklaşım olarak bilinmektedir. Son dönemde ise, bu algı yerini işletmenin bütününe kapsayan ve çalışan katılımı, sürekli olarak iyileştirme, toplam önleyici bakım, altı sigma, müşteri odaklılığı ile tedarikçiler ile ilişkileri uzun süreli tutma üzerine temelleri olan bir yaklaşım olarak benimsenmektedir (Kolberg ve Zühlke,2015).

Yalın üretim kavramı yeni endüstri döneminin beraberinde getirdiği yeni teknolojilerden etkilenmekte ve gelişmeye devam etmektedir. Aynı zamanda yalın üretim yapıları, üretim sürecinde Endüstri 4.0'ın etkin ve sürdürülebilir olarak uygulanması hususunda önemli bir etmendir. Ayrıca yalın üretim anlayışıyla üretim süreçlerine yönelik gelişmelerin sağlanması ve verimde artış yaşanması sonucunda Endüstri 4.0'ın kullanılabilmesi kolay bir hal alabilmektedir (Dombrowski vd., 2017). Yalın üretim ve Endüstri 4.0 temel nitelikleri göz önünde bulundurularak bu iki kavramının benzerliklerine yönelik ortak noktaları aşağıda Şekil 4.1'de sunulmuştur.

Verimlilik,
esneklik



Şekil 4.1. Endüstri 4.0 ve Yalın Anlayışın Ortak Noktaları

Kaynak: (Mary vd., 2018)

Endüstri 4.0 dönüşümü hem üretim hem de tasarım süreçlerinde yalın tekniklerinin uygulanması ile kolaylaşmaktadır. Bununla birlikte, yalın üretim teknikleriyle Endüstri 4.0 teknolojileri entegre edildiğinde; tüketici taleplerinin daha iyi şekilde

anlaşılması ve meydana gelen problemlerin derinine inilerek ortadan kaldırılması sağlanmaktadır (Öksüz vd., 2017).

Ek olarak, Endüstri 4.0 dönüşümünde yalın tekniklerin kullanımı işletmeler için (Öksüz vd., 2017);

- Üretimde arıza oranının azalması,
- Malzeme kayıplarının azalması,
- Makine verimliliğinin artırılması,
- Ekipman kapasitelerinin uygun bir şekilde kullanılması,
- Yeniden işlem akışının azalması,
- İşçilik için harcanan tutarın azalması yönünde fayda sağlamaktadır.

Yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 uygulamaları arasındaki bağ Tablo 5.1.'de gösterilmektedir. Yalın üretim anlayışını benimseyen firmalar bu alanda birçok yöntem uygulamışlardır. Ayrıca teknolojinin ilerlemesi ile üretim süreçlerinde verimliliğin artması ve israfın yok edilmesi için birçok Endüstri 4.0 metotları geliştirilmeye başlanmıştır (Öksüz vd., 2017).

Yalın üretim yöntemi ürünlerde ve adımlarda karmaşıklığı azalmakta olup Endüstri 4.0 araçlarının verimli ve ekonomik olarak uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca Endüstri 4.0'da artış eğilimi gösteren esneklik ile artış gösteren karmaşıklıkla mücadele etme konusunda fayda sağlamaktadır (Mary vd., 2018).

Yalın üretim felsefesinin en temel hususlarından biri müşteri memnuniyetinin önemi konusunda tüketiciye arzuladığı kalite ve değeri sunmaktır. Bu kapsamda yeni sanayi devriminin sunduğu teknolojik gelişmeler sayesinde işletmeler alıcı pazarına daha hızlı evirilerek ve kısa teslimat süreleri ile müşteri memnuniyetinin giderek artan bir eğilim kazanmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı müşteri taleplerine cevap verebilmek adına değişkenlik gösteren müşteri istemleri incelenmesi ve yalın yapılar gelişmiş teknolojiler ile tamamlanmalıdır.

	Veri Analitiği	Gömülü Sistemler	Robotik Sistemler	Endüstriyel İnternet	Bulut Sistemler	Simülasyon	Sanal ve artırılmış gerçeklik	Ekllemeli Üretim	Siber Güvenlik	Sensörler	RFID-RTLS	Telocollation	Mobil Teknolojiler
Jidoka	X		X	X						X			X
Tam Zamanın Üretim				X	X			X	X		X		
Toplam Üretken Bakım	X			X		X	X			X	X		X
Kanban										X	X		X
Kaizen	X	X				X				X	X		
Sürekli Akış	X			X	X			X		X	X		X
Hücresele Üretim	X		X					X					
Heijunka	X	X	X										
Bilgisayarla Bütünleşik Üretim	X	X	X	X				X	X				X
SMED			X					X		X	X		
Poka-Yoke										X			
Görsel Fabrika				X	X	X	X			X			X

Tablo 4.1. Yalın Üretim Teknikleri ve Endüstri 4.0 Bileşenleri Arasındaki İlişki

Kaynak: (Öksüz vd., 2017)

Yeni sanayi devriminin uygulanmasında önemli olan etmenler arasında yalın üretim anlayışının temel unsurlarını oluşturan; atıkların yok edilmesi ve sürekli iyileştirme ile süreç mükemmelliğinin kazandırılması yer almaktadır. Bunun yanı sıra, Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim sürecinde değer akışı analizi ya da poka-yoke gibi yalın üretim yöntemleri ile bütünleşmesi sonucunda çekme, akış ve tam zamanında üretim ve dağıtım vb. işlemler en iyi şekilde kullanılabilir ve hızlandırılabilir. Ayrıca taşıma faaliyetinde kullanılan barkod tarama yöntemi ile elde edilen veri akışları veri

madenciliği algoritmaları sayesinde oluşturulabilir, farklı taşıma fırsatları ve aşırı stok durumları otomatik bir şekilde saptanabilir (Bauer vd., 2018).

Literatürde yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın birlikte ele alındığı çalışmalar Tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Yıl	Yazar	Çalışma Kapsamı ve Bulgular
2014	Chen ve Chen	Çalışmada yalın üretiminin başlangıcı olarak bilinen değer akış haritalamanın geleneksel anlamda veri toplama hususunun zorlayıcı olması dolayısıyla Endüstri 4.0 ile gerçek zamanlı olarak veri toplama yoluyla DAH'ın geliştirebileceğine değinilmiştir. Bu sayede veri toplama otomatikleşerek veri toplamaya yönelik harcanan sürenin ve hataların olasılığını azalacağı ifade edilmiştir (Chen ve Chen, 2014).
2015	Kolberg ve Zühlke	Çalışmasında Endüstri 4.0 tekniklerinin kullanımının yalın üretim anlayışına katkı sağladığı ve bu üretim anlayışının faaliyete göstermesinde yeni devrimin tekniklerinin birer araç olabileceği ifade edilmiştir (Kolberg ve Zühlke, 2015).
2016	Sanders vd.	Yalın üretim ve Endüstri 4.0' a yönelik yapılan çalışmada birbirleri ile bağlantısı ve Endüstri 4.0'da yalın uygulama kabiliyetinin varlığı araştırılmıştır. Araştırma sonucunda gelişmiş bilgi ve iletişim yapıları ile Endüstri 4.0'ın ileri teknolojileri kullanarak fabrikayı akıllı bir konuma koyabileceği saptanmıştır. Ayrıca çalışmada Endüstri 4.0'ın yalın üretimle birlikte nasıl üretkenliğinin artırabileceğini, israfı azaltabileceğini ve dolayısıyla maliyetleri azaltabileceğini savunulmuştur (Sanders vd., 2016).
2016	Rauch vd.	Yalın ürüne yönelik iyileştirme sürecinde Endüstri 4.0'ın kullanımının görevi üzerinde duran çalışmada, Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik gelişmeler ile ürünlerin kısa zaman diliminde piyasaya sunulması, esneklik elde edilmesi ve müşteri taleplerinin bireysel anlamda karşılanabilmesini sağladığı ifade edilmektedir (Rauch vd., 2016).
2016	Wang vd.	Çalışmada yalın üretime dayalı bir üretim süreçlerinin Endüstri 4.0'ın sergilenmesi için daha uygun bir ortam sunabileceğine değinilmiştir. Ayrıca akıllı üretimin işletmelerin daha yüksek seviyede yalınlık elde etmesine ve veri toplama, büyük veri analizi ve bütünleşmiş süreçlerle ilgili teknolojilerin yalın üretim üzerindeki etkisini araştırmasına yardımcı olabileceği iddia edilmektedir (Wang vd., 2016).

Tablo 4.2. Literatürde Yalın Üretim ve Endüstri 4.0

2017	Chen ve Lin	Çalışmada 3D baskının, tek parça akış ve tam zamanında üretim teslimatları gibi yalın üretimin bazı hedeflerini nasıl kolaylaştırabileceğini tartışılmaktadır (Chen ve Lin, 2017).
2017	Dombrowski vd.	Endüstri 4.0 ve yalın üretim sistemlerinin birbiri ile olan bağımlılıkları üzerine gerçekleştirilen çalışma, Alman imalat sektöründe kullanılan Endüstri 4.0 teknolojilerinin 260 kullanım örneğine dayanmaktadır. Araştırmada, Endüstri 4.0 ve yalın üretim sistemleri unsurları arasındaki bağımlılık kantitatif şekilde analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, bu iki kavram arasındaki en yüksek korelasyon, israf ile bulut bilişimin önlenmesi arasında açıklanmıştır. Ayrıca 37 kullanım koşulunda, sıfır hata unsuruna yönettirecek faaliyetlerde büyük veriler kullanılmıştır. Sıfır hata ilkesi ile büyük veriler arasında diğer bir yüksek korelasyon sonucuna ulaşılmıştır (Dombrowski vd., 2017).
2017	Pessl vd.	Çalışmada yalın üretimin Endüstri 4.0'ın uygulanabilmesi için yol haritasında temel prensip olarak benimsenmesi hususundaki önerinin önemli olduğu doğrulanmıştır (Pessl vd., 2017).
2017	Ma vd.	Çalışmada Endüstri 4.0'ın orta çıkışının Jidoka'nın uygulama yelpazesini genişlettiğini ve Siber Güvenlik Sistemleri teknolojilerine dayalı akıllı bir Jidoka'nın üretim sistemi esnekliğini geliştirmeye yönelik nasıl maliyet yönünden verimli ve etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir (Ma vd., 2017).
2017	Öksüz vd.	Çalışmada yalın üretim bileşenlerinin ile Endüstri 4.0 araçlarından hangisi ile geliştirilebileceği ve günümüz üretim şartlarına adapte edilebileceği açıklanmıştır. Çalışma sonucunda bu iki kavramın birbirinden bağımsız olamayacağı ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin yalın üretim kullanımını kolaylaştıracağını ortaya konulmuştur (Öksüz vd., 2017).
2017	Tortorella ve Fettermann,	Brezilya'daki üretim faaliyeti gösteren işletmelerde Endüstri 4.0 ile yalın üretim kullanımı arasındaki bağlantıyı inceleyen çalışma sonucunda yalın üretim uygulamaları ile Endüstri 4.0 araçları arasında pozitif bir ilişki olduğu ve iki kavramın aynı anda kullanımının daha çok performans iyileştirmeleri sağladığı görülmüştür (Tortorella ve Fettermann, 2017).
2018	Hoellthaler vd.	Çalışmada yalın üretim sisteminde dijital teknolojilerin uygulanma potansiyellerinin ölçülmesine ne yönelik bir model önerilmiştir. Ayrıca araştırmada yalın üretim sisteminin dijitalleştirilmesi hususunun karlılık durumundaki karar destek yaklaşımını temsil etmekle birlikte bu dijital teknolojilerin yalın sistemde uygulanmasının verimliliği artırmasına ilişkin potansiyellerin belirlenmesinde kılavuzluk edecek bir yöntem ihtiyacından bahsetmektedir (Hoellthaler vd., 2018).
2018	Buer vd.	Yalın üretim ve Endüstri 4.0'a yönelik ilişkinin hâlihazırdaki konumunun belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmada bu iki kavramın artış eğilimi gösteren verimlilik ve esneklik hususunda benzer genel hedeflerinin olduğu ortaya konulmuş ve yalın üretimin birçok hususta performans avantajı sağladığı kanıtlanmıştır (Buer vd., 2018)

Tablo 4. 2 (devam)Literatürde Yalın Üretim ve Endüstri 4.0

2018	Mayr vd.	Çalışmada Endüstri 4.0 ve yalın üretim yöntemlerinin birleştirilmesi üzerine bir matris üzerine durulmuş olup Endüstri 4.0'ın sekiz yalın üretim yöntemini nasıl destekleyeceği hususu ele alınmıştır. Araştırmadan elde edilen bulgulara Endüstri 4.0 araçlarının toplam verimli bakım ve değer akış haritalama metotları ile orantılı sonucuna ulaşılmış olup birbirleri ile nasıl geliştirilmesi gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte tam zamanında üretimde büyük veri ve analitiğinin önemini vurgulanmakla birlikte Artırılmış Gerçekliğin TZÜ, TVB, SMED, DAH ve Poka-Yoke için önemli olduğu belirtilmiştir (Mary vd., 2018).
2018	Öğünç	Çalışmada IoT'nin TZÜ sistemine nasıl uyarlanabileceği hususuna ve hangi faydaları sağlayabileceğine değinilmiştir. Ayrıca araştırma sonucunda malzeme tedarikinden çalışanların performansına kadar tüm sürecin aksaklığa uğramadan en verimli şekilde yürütülmesi ve IoT sistemlerinin kullanılmasıyla daha olanaklı hale geleceği sonucuna ulaşılmıştır (Öğünç, 2018).
2018	Yıldız ve Uğur	Endüstri 4.0 araçlarının yalın üretim prosesine olan katkılarına yönelik literatür araştırması yapılmıştır. Çalışma kapsamında işletmelerin yalın üretim anlayışını benimseyerek süreçlerde iyileştirmeye gitmeleri gerektiğine değinilmiştir. Bununla birlikte Endüstri 4.0 araçlarını sürece bütünleştirerek verimlilik hususunda üst seviyelere çıkaracakları belirlenmiştir (Yıldız ve Uğur, 2018).
2019	Rossini vd.	Avrupalı üreticilere yönelik belirlenen kriterlere uygun firmalara SurveyMonkey aracılığı ile gerçekleştirdiği ve 108 geçerli cevaptan oluşan anket çalışmasından elde edilen verilerle AB'nin Endüstri 4.0'ın daha üst düzeylerini benimsemeyi hedefleyen üreticiler tarafından süreci desteklemenin bir yolu olarak yalın üretimi eşzamanlı olarak uygulamalıdır bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca, çalışmada sonuçlarında yalın üretimin operasyonel performans iyileştirmesi üzerindeki etkilerinin kesin olarak belirlendiğini ortaya konulmaktadır (Rossini vd., 2019).
2019	Pereira vd.	Çalışmada Siber-Fiziksel Sistemler (CPS)'in anında Anahtar Performans Göstergesi (KPI) geri bildirimi sağlayan gerçek zamanlı veriler sağladığı, Andon ve Kanban'ın kullanımını basitleştirdiği, bununla birlikte 3D yazıcının tam zamanın üretimi geliştirdiği ve tedarik süresini azalttığı ayrıca lojistik verimliliği arttırdığı ve bulut bilişimin gerçek zamanlı bilgi, yöneticilerin kararlarında israfı azaltmasına ve iş riskini en aza indirmesine olanak tanıdığı ifade edilmiştir (Pereira vd., 2019)
2019	Gerger	Çalışmada Endüstri 4.0 ile Heijunka yönteminin en önemli unsurlarından olan SMED yerini tek dokunuşta kalıp değiştirmeye (OTED – One-Touch Exchange of Die) bırakmaya başladığına değinilmiştir. Endüstri 4.0 ile tekli dakikalarda kalıp değiştirme yapay zekâ uygulamaları ile saniyenin ondan biri düzeyinde gerçekleştirilmesi sağlanacağı ifade edilmiştir (Gerger, 2019).
2020	Gürsoy	Çalışmada otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyette bulunan işletmede, yalın üretim sisteminde dijitalleşme ve Endüstri 4.0 uygulamaları ile süreç iyileştirme analizi yapılmıştır (Gürsoy, 2020).

Tablo 4. 2 (devam)Literatürde Yalın Üretim ve Endüstri 4.0

2020	Rosin vd.	Endüstri 4.0'ın yalın ilkelerin verimliliğini güçlendirdiği ifade edilmiştir. Ayrıca yalınlığı iyileştirmek için en sık kullanılan teknolojinin: IoT, simülasyon, robotik teknoloji olduğu üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte Endüstri 4.0 ile iyileştirilmiş yalın tekniklerin tam zamanında üretim ve Jidoka olduğu ifade edilmiştir (Rosin vd., 2020).
2021	Buer vd.	Yalın üretim ve dijitalleşmenin operasyonel performans üzerindeki tamamlayıcı etkisi konulu çalışmada Norveçli üreticilere yapılan ve 75 katılımcıdan oluşan anket çalışması ile yalın üretim ve fabrika dijitalleşmesinin imalat firmalarının operasyonel performansını nasıl etkilediğine dair hem teorik hem de pratik bilgiler sağlanmıştır. Ayrıca çalışma ile yalın üretimin modasının geçmediğini, bunun yerine gelişen teknolojilerin faydalarından yararlanmak ve bunları iyileştirilmiş operasyonel performansla dönüştürmek için her zamankinden daha önemli olduğu gösterilmektedir. İlave olarak çalışmada, dijital teknolojilerin kullanıcıları ile yalın üretim uygulamaları arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmış ve iki alan arasında uyumluluk olduğunu öne sürülmüştür (Buer vd., 2021).
2021	Ciano vd.	Endüstri 4.0 teknolojileri ve yalın üretim teknikleri arasındaki bire bir ilişkiler: çoklu vaka çalışması konulu çalışmada Endüstri 4.0 ile Yalın arasındaki bire bir ilişki, tedarikçi, imalat ve müşteriye göre sınıflandırıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca akıllı makinelerin Andon ve SMED tekniklerini güçlendirdiğine değinilmiştir. Bununla birlikte Kaizen'i güçlendiren ürün simülasyonuna yer verilmiştir (Ciano vd., 2021).
2021	Marinelli vd.	Yalın üretim ve Endüstri 4.0 birleştirici uygulaması: uygulamalar ve algılanan faydalar konulu makalesinde Endüstri 4.0 ve yalın araçların birleştirici kullanımına ilişkin endüstri uygulamalarını incelemektedir. İlgili bir anket araştırması, Gerçek zamanlı verilerin, veri alışverişi için IoT, büyük veri analitiği, Siber-Fiziksel Sistemler (CPS), tahmine dayalı algoritmalar ve robotların sürekli akış, Kanban, standart çalışma, TVB ve sürekli iyileştirme gibi yalın nitelikleri desteklemek için kullanılan en popüler Endüstri 4.0 uygulamaları arasında olduğunu ortaya koymaktadır. Anket çalışması kapsamında, yalın üretim ve Endüstri 4.0 konusunda deneyime ve ilgili bilgiye sahip, farklı imalat şirketlerinden 200 endüstri uzmanına çevrimiçi olarak dağıtılmış ve 44 kişiden yanıt alınmıştır (Marinelli vd., 2021).
2022	Florescu ve Barabas	Yalın yönetim ve Endüstri 4.0 entegrasyonu ile üretim sistemlerinin gelişim trendlerine ilişkin gerçekleştirilen çalışması Endüstri 4.0 araçlarının ve yalın bileşenlerin genel bir bakış ile gelişmiş düzeyde üretim sistemleri geliştirmek için bunların entegrasyonu için bir vizyon sağlamaktadır. Bununla birlikte Endüstri 4.0'ın geliştirme sütunlarını ve aynı zamanda yalın yönetim ilkelerini temel alan akıllı üretim teknolojilerini uygulayarak tüm üretim süreçlerini bu şekilde yeniden düşünceleri gerekiyor (Florescu ve Barabas, 2022).
2022	Tripathi vd.	Bu makalede yazarlar, Endüstri 4.0 için daha temiz bir üretim sistemi oluşturmak üzere yalın ve akıllı bir üretim modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Gerçekleştirilen vaka çalışmasının sonuçlarında, yalın ve akıllı üretim kavramının Endüstri 4.0'da önemli bir rol oynayabileceği belirtmişlerdir. Çalışmada radyo frekansı tanımlama teknolojisi ile yalın entegrasyon sonuçları iyileştirildiği ve toplam çalışma süresini %87 azalttığı ifade edilmiştir (Tripathi vd., 2022).

Tablo 4. 2 (devam)Literatürde Yalın Üretim ve Endüstri 4.0

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde genel olarak yalın üretim sistemi ile Endüstri 4.0 arasında birbirlerini etkileyen bir iletişimin varlığından söz edilmektedir. Ayrıca yalın üretim tekniklerinin günümüz şartlarında başarıya ulaşabilmesi için

Endüstri 4.0 dönüşümünün sunduğu ileri teknolojiler ile bütünleştirilmesi gerektiği neticesine ulaşabiliriz. Sonuç olarak Endüstri 4.0 ve yalın üretim anlayışındaki yöntemlerin bir bütün olarak uygulanması ile süreç mükemmelleştirilecek ve yalın üretim uygulamalarının uyumluluğu daha esnek olacak, böylece müşteri memnuniyeti maksimum seviyeye çıkarılabilecektir.



5. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 VE ARAÇLARI İLE İLİŞKİSİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

5.1. Araştırma Konusu

Yalın üretim tekniklerinin Endüstri 4.0 ve araçları ile ilişkisi ve Savunma Sanayii'nde bir uygulama.

5.2. Araştırmanın Amacı

Çalışmada Savunma Sanayiinde Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren ve yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 araçlarının kullanma potansiyeli yüksek işletmelerde; yalın üretim tekniklerinin ve Endüstri 4.0 araçlarının kullanılma durumunu incelemek ve yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları arasında ilişkiyi görmek amaçlanmıştır.

5.3. Araştırmanın Kapsamı

Araştırma kapsamında Savunma Sanayii sektöründe yer alan Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren ve yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 araçlarının kullanma potansiyeli yüksek başlıca işletmeler yer almaktadır. Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren 18 firma bulunmakta olup elektro-optik alanında çalışan ve yalın üretim uygulayan firmalarda da yalın üretim sisteminde görev alan toplam yaklaşık 600 birey araştırma kapsamını oluşturmaktadır.

5.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırmada uygulama yapılacak örneklemin Savunma Sanayii sektöründe olması ve bu sektörde Elektro-Optik alanında çalışan ve yalın üretim uygulayan firmalarda da yalın üretim sisteminde görev alan çalışanlar ile yürütülmesi bu çalışmanın araştırma grubu ile ilgili sınırlılıklarındandır. Ayrıca Savunma Sanayii sektöründe yer alan firmaların gizlilik içeren verilere sahip olması anket uygulamasını sınırlandırıcı faktör olarak rol oynamıştır.

5.5. Araştırmanın Yöntemi

Bu araştırmada, yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 araçları arasındaki ilişkiyi anlamaya yönelik olarak örneklem dahilindeki işletme çalışanlarına anket uygulanmıştır.

Sürekli veriler için ortalama $\pm$ standart, kategorik veriler için sıklık ve yüzde tanımlayıcı istatistik olarak kullanılmıştır. Sürekli verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir (Field, 2013).

Ölçeklerin psikometrik özellikleri geçerlik ve güvenirlik analizleri ile değerlendirilmiştir. Ölçeğin yapısal geçerliği aşamasında faktör yapısı Temel Bileşenler Analizi (TBA) ile ortaya çıkartılmış ve bu faktör modeli Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ile sınanmıştır (Brown, 2015). Veri setinin TBA uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett küresellik testi ile değerlendirilmiştir (Pett vd., 2003). Faktör döndürme yöntemi olarak “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Ölçeği” için Varimax, “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” için ise Promin yöntemi tercih edilmiştir. Faktör sayısına Horn (1965) tarafından geliştirilen paralel analiz ile karar verilmiştir

5.6. Araştırma Metodolojisi

Araştırmanın metodolojisi; anket formunun oluşturulması, örneklem seçimi, verilerin toplanması, verilerin değerlendirilmesi, geçerlilik ve güvenirlik analizi ve bulguların yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır.

5.6.1. Anket Formunun Hazırlanması

Anket formunun hazırlanmasında birinci bölümünde Balcı (2018)’in Siparişe Göre Üretim Yapan Sistemlerde Yalın Üretim: Konya Sanayisi Üzerinde Bir Araştırma konulu çalışmasından ve Atak (2018)’in Teknopark Firmalarında Endüstri 4.0 Dönüşümüne Yönelik Teknoloji Geliştirmede Güncel Sorunlar ve Etki Faktörleri: Türkiye Örneği çalışmasında uygulanan anket çalışmasından yararlanılmıştır. Anket kapsamı 3 bölümden oluşmakta olup birinci bölümünde demografik özelliklere yönelik sorular yer almakta; ikinci bölümünde yalın üretim israf türleri, ilkeleri ve Endüstri 4.0 ile ilişkinin varlığını algılamaya yönelik sorular bulunmakta olup üçüncü bölümde ise yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçlarının kullanım sıklığını ölçmeye yönelik sorular yer almaktadır. “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” yalın üretim ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi ölçmek için geliştirilen ve geçerlik güvenirlik çalışması yapılan ölçek 5’li likert tipte, 12 maddeden oluşmaktadır. Bu ölçeğin geçerli ve güvenilir bir ölçüm aracı olma durumu Cronbach Alfa katsayısı ile ölçülmüş ve sonuç 0,943 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ikinci bölümü oluşturan “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği”nin geçerli ve

güvenilir bir ölçüm aracı olduğu görülmüştür. Ayrıca üçünü bölüme ilişkin ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; Yalın Üretim Tekniği boyutu için 0,927, ve Endüstri 4.0 Araçları boyutu için 0,915'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,943'tür. Bu sonuçlara göre "Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği"nin geçerli ve güvenilir bir ölçüm aracı olduğu görülmüştür.

5.6.2. Örneklem Seçimi

Araştırma evrenini Elektro-Optik sektöründe yer alan tüm işletmeler içerisinde bu alanda faaliyet gösteren ve yalın üretim sistemi ile Endüstri 4.0 araçlarının kullanma potansiyeli yüksek işletmeler oluşturmaktadır. Araştırma evreni Elektro-Optik sektöründe yer alan başlıca 18 firmada elektro-optik alanında çalışan ve yalın üretim uygulayan firmalarda da yalın üretim sisteminde görev alan toplam yaklaşık 600 bireyi kapsamaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek anket uygulaması, araştırmanın evrenini temsil eden bir örneklem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmamıza dâhil edeceğimiz örneklem sayısına istatistiksel power analizi yapılarak %80 güçte, %95 güven aralığında %5 ($p= 0.05$) hata payı olarak kabul edildiğinde örneklem sayısı 134 olarak belirlenmiştir.

Metodolojik çalışmalarda kullanılan Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) ve Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden doğru sonuçlar elde edebilmek için büyük örnek sayılarına ihtiyaç olduğunda hemfikir olduğu halde bu büyüklüğün miktarı konusunda ortak bir karara ulaşamamışlardır (Harrington, 2009). Modele ait tahmin edilen parametrelerin kabul edilebilir kesinlikte olması ve uyumu ölçen indekslerin güvenilir seviyede olması için testin istatistiksel gücünün yeterli düzeyde olması gereklidir. Testin gücü ise doğrudan örnek sayısına bağlıdır (Brown, 2015).

Geleneksel yöntemler içinde en küçük örnek sayısının 100 ile 200 aralığında olmasını tavsiye eden, her bir serbest parametre için gereken en küçük örnek sayısının 5 ile 10 aralığında olmasını tavsiye eden birçok kural önerilmiştir (Bentler ve Chou, 1987; Boomsma, 1983).

"Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği"ne ait 26 maddenin her birisi için 5 kişi olmak üzere en küçük örnek sayısının toplam 130 kişi olmasına karar verilmiştir.

5.6.3. Verilerin Toplanması

Çalışmaya Elektro-Optik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde çalışan bireyler içerisinde rastgele olarak 400 bireye Google Forms üzerinden anket formu gönderilmiştir. Örneklem grubu üzerinde uygulanan anketlerin geri dönüşümünden sonra yapılan kontrollerde eksik ya da hatalı kodlamalar tespit edilmiş ve bazı anket formları değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sonuç olarak 199 birey çalışmaya dahil edilmiştir.

5.6.4. Verilerin Değerlendirilmesi

DFA parametre tahmin yöntemi olarak; “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Ölçeği” için En Çok Olabilirlik (EÇO), “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” için ortalama ve varyans düzeltmeli (weighted least squares mean and variance adjusted estimator, WLSMV) yöntem kullanılmıştır (Wang ve Wang, 2012). Model veri uyumunun varlığı ilk olarak faktör yüklenim değerlerinin ve ki-kare değerinin (χ^2) istatistiksel anlamlılığı ile değerlendirilmiştir. İkinci aşamada Normlaştırılmış ki-kare (χ^2/sd) değeri ile Karşılaştırmalı uyum indeksi (Comparative Fit Index, CFI), Tucker-Lewis İndeksi (TLI), Uyum İyiliği İndeksi (Goodness of Fit Index, GFI) ve Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) gibi uyum iyiliği indeks değerlerinin literatürde belirtilen kesim noktalarına göre kıyaslanmasıyla iyi uyumun varlığı araştırılmıştır (Meydan ve Şeşen, 2015). Ölçeğin güvenirliği, Cronbach alfa (α) iç tutarlılık güvenirlik katsayısı ile değerlendirilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkiye Spearman korelasyon katsayısı ile bakılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için IBM SPSS 21 (IBM SPSS Inc, Chicago, IL) paket programı kullanılmıştır. TBA için FACTOR (11.05.01) paket programı, Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) için ise AMOS 21.0 ve Mplus (Version 6.12) paket programları kullanılmıştır. İstatistiksel kararlar 0,05 anlamlılık seviyesine göre verilmiştir.

Araştırmamızdan elde ettiğimiz bulgular ve değerlendirmeler üç alt bölümde araştırmanın demografik faktörlerine ilişkin bulgular, araştırmanın ölçeklerine ilişkin bulgular ve araştırmanın hipotezlerine ilişkin bulgular başlıkları altında sunulmuştur.

5.7. Anket Uygulamasının Bulguları ve Geçerlilik ve Güvenirlik Analiz Sonuçları

Araştırmada kullanılan ölçeklere ait geçerlilik, güvenilirlik analizlerine ait bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bölümde araştırmamızda kullanılan Ölçeklere katılımcıların verdikleri cevaplardan elde edilen veriler ışığı altında açıklayıcı faktör analizi, doğrulayıcı faktör analizi ve iç tutarlılık katsayıları hakkında bilgiler verilmiştir.

5.7.1. Birinci Bölüm “Sosyodemografik Sorular” ile ilgili Analiz Sonuçları

Araştırmanın bu kısmında, katılımcılara uygulanan anketten elde edilen sosyodemografik özellikler ile Yalın üretim ve Endüstri 4.0 ile ilgili verilerin istatistiksel analiz sonuçlarına yer verilmektedir. Araştırma örnekleminin sosyodemografik özellikleri frekans ve yüzdeler ile katılımcıların Yalın üretim ve Endüstri 4.0 ile ilgili değişkenlere ait dağılımlar ise en küçük, en büyük değer, ortalama ve standart sapma ile aşağıda sunulmuştur.

n=199	Frekans	%
Yaş		
18-24 yaş arası	26	13,1
25-34 yaş arası	113	56,8
35-44 yaş arası	41	20,6
45-54 yaş arası	15	7,5
55 yaş ve üzeri	4	2,0
Cinsiyet		
Kadın	40	20,1
Erkek	159	79,9
Eğitim Durumu		
Lise ve altı	17	8,5
Ön Lisans	32	16,1
Lisans	96	48,2
Yüksek Lisans	48	24,1
Doktora	6	3,0
İşletmedeki Pozisyonu		
Teknisyen	56	28,1
Mühendis	87	43,7
Proje Sorumlusu	24	12,1
Yönetici	28	14,1
Diğer	4	2,0

Tablo 5.1. Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular

Çalıştığı Birim		
Üretim	76	38,2
Proje Yönetimi	85	42,7
Kalite	8	4,0
Ar-Ge	4	2,0
Tasarım	7	3,5
Bakım Onarım	5	2,5
Satış ve Pazarlama	10	5,0
Yazılım	4	2,0
Hizmet Yılı		
0-5 yıl	111	55,8
6-10 yıl	41	20,6
11-15 yıl	25	12,6
16-20 yıl	11	5,5
20 üstü	11	5,5
Personel_Sayısı	Min=5, Max=15000, Ort±Sd=1456.80±2621.61	
Faaliyet Yılı	Min=1.5, Max=53, Ort±Sd=32.37±17.85	

Tablo 5.1. (devam) Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular

Yukarıdaki tabloda örnekleme dâhil olan 199 katılımcının yaş dağılımları incelendiğinde; 26'sının (%13,1) 18-24, 113'ünün (%56,8) 25-34, 41'inin (%20,6) 35-44, 15'inin (%7,5) 45-54 yaş aralığında yer aldığı 4'ünün (%2,0) de 50 yaş üzeri olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler incelendiğinde katılımcıların daha çok 25-34 ve 35-44 yaş aralıklarında olduğu görülmüştür.

Örneklemdaki cinsiyet dağılımına bakıldığında anketi yanıtlayan katılımcıların %79,9'u (n=159) erkek, %20,1'i (n=40) kadın olarak görülmektedir.

Örneklemin eğitim durumuna göre dağılımı incelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun üniversite ve üstü eğitime sahip olduğu görülmektedir. Katılımcıların, 17'si (%8,5) lise ve altı, 32'si (%16,1) ön lisans, 96'sı (%48,2) lisans, 48'i (%24,1) yüksek lisans ve 6'sı (%3,0) da doktora mezunudur.

Araştırmaya dâhil olan 199 çalışanın firmadaki pozisyonuna göre dağılımına bakıldığında; 56'sının (%28,1) teknisyen, 87'sinin (%43,7) mühendis, 24'ünün (%12,1) proje sorumlusu, 28'inin (%14,1) yönetici olduğu görülmektedir. Yukardaki veriler incelendiğinde çalışmaya katılanların çoğunluğunu (%71,8'ini) teknisyen ve mühendisler oluşturmaktadır.

Örnekleme dâhil olan çalışanların hizmet yılı süreleri incelendiğinde; 111'inin (%55,8) 0-5, 41'inin (%20,6) 6-10, 25'inin (%12,6) 11-15, 11'inin (%5,5) 16-20 yıl aralığında yer aldığı 11'inin (%5,5) de 20 yıl üzeri olduğu görülmektedir. Elde edilen verilere göre çalışmaya katılanların çoğunluğunun (%76,4'ü) 10 yıldan az hizmet süresine sahip olduğu görülmektedir.

Katılımcıların çalıştığı birimlere ait dağılımlar incelendiğinde; 76'sının (%38,2) üretim, 85'inin (%42,7) proje yönetimi, 8'inin (%4,0) kalite, 4'ünün (%2,0) Ar-Ge, 7'sinin (%3,5) tasarım, 5'inin (%2,5) bakım onarım, 10'unun (%5,0) satış ve pazarlama ve 4'ünün (%2,0) yazılım kısmında görev yaptığı görülmektedir. Yukardaki verilere göre katılımcıların çoğunluğunun (%80,9'u) üretim ve proje yönetiminde çalıştığı görülmektedir.

Tabloda firmaların toplam personel sayılarına bakıldığında; en düşük 5, en yüksek 15000 ve ortalamanın ise (Ort±Sd) 1456.80±2621.61 olduğu görülmektedir.

Tabloda katılımcıların çalıştıkları firmalara ait faaliyet yılları incelendiğinde; en düşük 1.5 yıl, en yüksek 53 yıl ve ortalamanın ise (Ort±Sd) 32.37±17,85 olduğu görülmektedir.

5.7.2. Katılımcıların Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Konusundaki Algılarına İlişkin Bulgular

Araştırma örneklemine dahil olan katılımcıların, yalın üretim ve Endüstri 4.0 faaliyetleri konusundaki algılarına ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur.

n=199	Frekans	%
Yalın üretim sistemi ve teknikleri hakkında bilgi sahibi misiniz?		
Evet	138	69,3
Hayır	61	30,7
Yalın üretim konusunda danışmanlık hizmeti aldınız mı?		
Evet	51	25,6
Hayır	148	74,4
Çalıştığınız işletmede yalın üretim teknikleri uygulanıyorsa kaç yıldır?		
5 yıldan az	151	75,9
5-10 yıl arası	24	12,1

Tablo 5.2. Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Konusuna İlişkin Bulguları

10 yıldan fazla	13	6,5
Uygulanmaz	11	5,5
Endüstri 4.0 ve teknolojileri hakkında bilgi sahibi misiniz?		
Evet	103	51,8
Hayır	96	48,2
Endüstri 4.0'a yönelik danışmanlık hizmeti aldınız mı?		
Evet	12	6,0
Hayır	187	94,0

Tablo 5. 2 Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 Konusuna İlişkin Bulguları

Tablo 5.2.'ye baktığımızda katılımcıların 138'inin (%69,3) Yalın üretim sistemi ve teknikleri hakkında bilgi sahibi olduğu görülmüştür.

“Yalın üretim konusunda danışmanlık hizmeti aldınız mı?” sorusuna evet diyenlerin oranlarının %25,6 (n=51) hayır diyenlerin oranının ise %74,4 (n=148) olduğu görülmektedir.

“Çalıştığımız işletmede yalın üretim teknikleri uygulanıyorsa kaç yıldır uygulanmaktadır?” sorusuna verilen cevapların dağılımına göre; 5 yıldan az diyenler %75,9 (n=151), 5-10 yıl arası diyenler %12,1 (n=24) ve 10 yıldan fazla diyenler ise %6,5'tir (n=13).

“Endüstri 4.0 ve teknolojileri hakkında bilgi sahibi misiniz?” sorusuna evet diyenlerin oranlarının %51,8 (n=103) hayır diyenlerin oranının ise %48,2 (n=96) olduğu görülmektedir.

“Endüstri 4.0'a yönelik danışmanlık hizmeti aldınız mı?” sorusuna verilen cevapların dağılımına göre; evet diyenler %6,0 (n=12) ve hayır diyenler ise % 94,0'dır (n=187).

5.7.3. İkinci Bölüme Yönelik “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” ile ilgili Geçerlilik ve Güvenirlik Analiz Sonuçları

Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi ölçmek için geliştirilen ve geçerlik güvenirlik çalışması yapılan ölçek 5'li likert tipte, 12 maddeden oluşmaktadır. 5'li likert tipte ölçüm yapan ölçüm aracımız için cevap seçenekleri şöyledir;

- 1) Kesinlikle Katılmıyorum
- 2) Katılmıyorum
- 3) Kararsızım

4) Katılıyorum

5) Kesinlikle Katılıyorum

- Yapısal Geçerlik Aşamaları

Yapısal geçerlik temel bileşenler analizi (TBA) ve doğrulayıcı faktör analizleri (DFA) ile değerlendirilmiştir.

- Temel Bileşenler Analizi (TBA) Sonuçları

TBA ölçek geliştirilirken en çok tercih edilen yapı geçerliği değerlendirme yöntemlerinin başında gelir (Osborne ve Costello, 2005). Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi ölçmek için geliştirilen Ölçeği oluşturan 12 maddenin boyut yapısı ve kaç alt boyuttan oluştuğu Temel Bileşenler Analizi ile değerlendirilmiştir.

Örneklem yeterliliği Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ile korelasyon matrisinin birim matristen farklılığı Bartlett'in küresellik testi ile analiz edilmiştir (Pett vd., 2003).

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test	0,824
Bartlett'in Küresellik test istatistikleri	$\chi^2 = 1176,056$ (sd =66; p < 0,001)

Tablo 5.3. Örneklem Yeterliliği Ölçüleri

Tablo incelendiğinde KMO değeri (0,824) Kaiser (1974) belirlediği kesim noktası olan 0,80'i geçtiği için excellent (Meritorious) derecede örneklem yeterliliğine sahip olduğu söylenebilir (Kaiser, 1974). Bartlett'in Küresellik testi sonucunda ($\chi^2 = 1176.056$, df =66, p < 0,001) veriler arasında yeterli korelasyonun olduğu ve korelasyon matrisinin birim matristen anlamlı derecede farklı olduğu görülmüştür (Field, 2013). Bu sonuçlara göre veri setinin TBA için uygun olduğu değerlendirilmektedir.

TBA ile elde edilen faktör modelinin Thurstone (1947) tarafından önerilen basit yapıya (simple structure) uygun olması için rotasyon yöntemine başvurulmuştur (Pett, 2003). Anlaşılabilir ve yorumu kolay bir faktör yapısı ortaya çıkartmak için dik döndürme yöntemlerinden Varimax yöntemi kullanılmıştır (Pett, 2003).

Ölçek maddeleri	İsraf Türleri	Yalın Üretim İlkeleri	Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi
Madde2_1	,812		
Madde2_2	,735		
Madde2_3	,714		
Madde2_4	,833		
Madde2_5	,789		
Madde2_6	,834		
Madde2_7	,798		
Madde2_8		,669	
Madde2_9		,804	
Madde2_10		,837	
Madde2_11			,943
Madde2_12			,935

Tablo 5.4. TBA Sonuçları

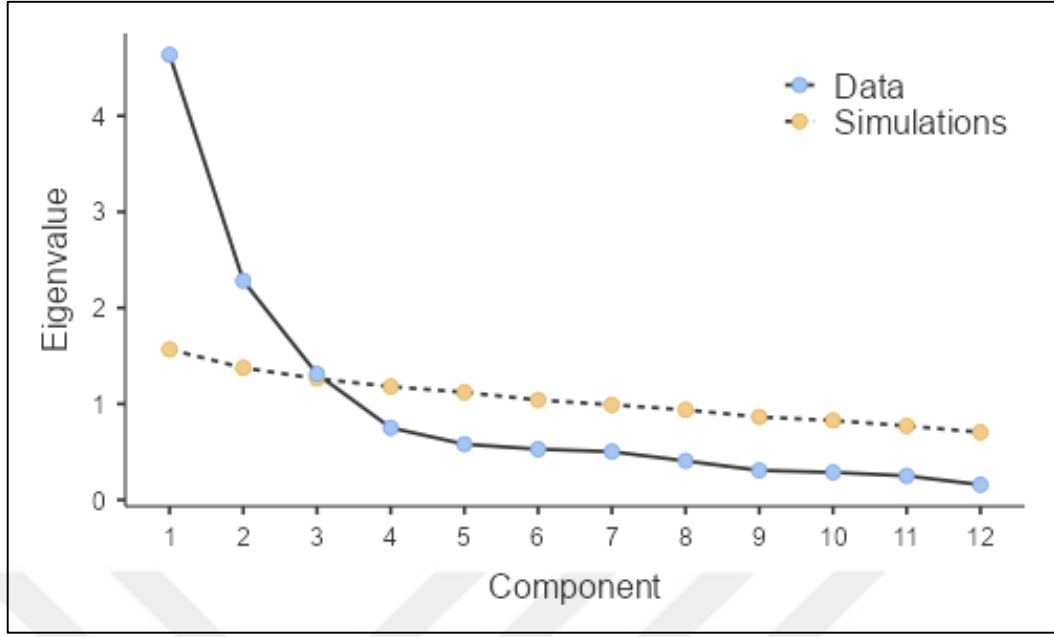
Tablo 5.4’de gösterildiği gibi temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen 3 alt boyuta ait faktör yükleri Stevens (2002) tarafından belirtilen 0,40’dan büyük olarak bulunduğu için 12 maddenin de istatistiksel anlamlılığa sahip olduğu değerlendirilmektedir.

İsraf Türleri boyutunu oluşturan 7 maddenin (Madde1-7) faktör yükleri (0.714-0.834), 3 maddelik (Madde8-10) Yalın Üretim İlkeleri boyutuna ait faktör yükleri (0.669-0.837) ve 4 maddelik (Madde11-12) Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutuna ait faktör yükleri ise (0.935-0.943) aralığında yer almaktadır.

Faktörler	Öz Değer	Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
İsraf Türleri (1-7)	4,636	38,631	38,631
Yalın Üretim İlkeleri (8-10)	2,283	19,024	57,655
Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi (11,12)	1,311	10,927	68,582

Tablo 5.5. Faktörlere Ait Öz Değer ve Açıklayıcı Varyans Oranı

Faktör sayısına karar vermek için literatürde sıklıkla diğer faktör sayısına karar verme yöntemlerinden üstünlükleri vurgulanan iki yöntemden biri olan ve Horn (1965) tarafından geliştirilen paralel analiz kullanılmıştır (Zwick & Velicer, 1986). Tablo 6.5’de görüldüğü gibi, 3 boyutun da özdeğeri sırasıyla şu şekildedir; 4,636, 2,283 ve 1,311 elde edilmiştir. Varyans açıklama oranı %68,582 olarak bulunmuştur.



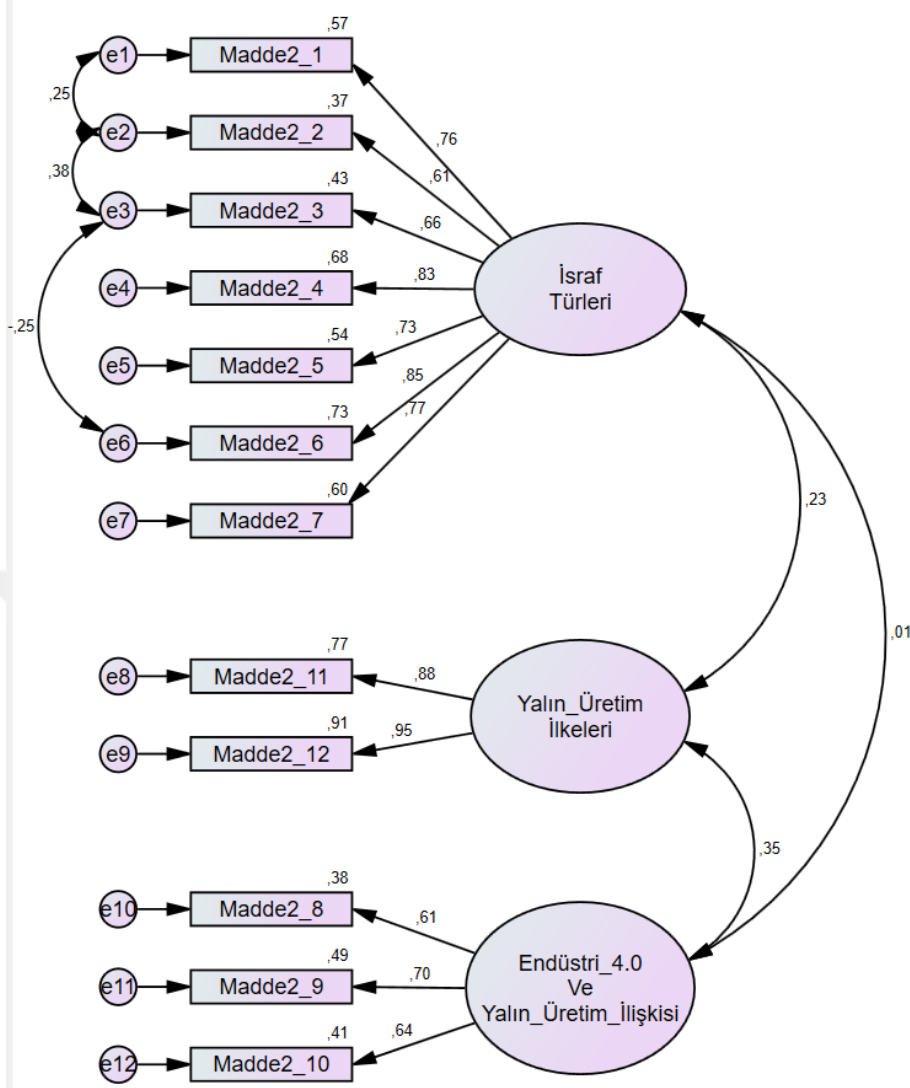
Şekil 5.1. Paralel Analiz Sonucu Yamaç Paraşütü Grafiği (Scree Plot)

Yukardaki şekil incelendiğinde, Paralel analiz yönteminden elde edilen değerlerin Cattell (1966) tarafından önerilen yamaç birikinti grafiği (Scree Plot) ile gösterilmesinde de 3 boyutlu yapının desteklenmiş olduğu görülür. Sonraki aşamada TBA ile elde edilen 2 boyutlu yapının veri seti ile uyumu Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ile sınanacaktır.

- Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) Sonuçları

Yapısal geçerliğin ikinci aşamasında elde edilen 3 faktörlü yapısının veri setine uyumu DFA ile sorgulanmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi, yapısal eşitlik modellemesinin özel bir türüdür. Veri seti ve modele ait kovaryans matrislerinin uyumunun sorgulandığı hipotezi test eden çok değişkenli analiz tekniğidir.

DFA için AMOS 21.0 paket programı kullanılmış, ölçeğe ait 3 boyutlu ölçüm modelinin yapısal geçerliği En Çok Olabilirlik (EÇO) parametre tahmin metodu ile değerlendirilmiştir (Kline, 2016).



Şekil 5.2. DFA Ölçüm Modeli

Şekil 5.2’de ölçeğe ait 3 boyutlu ölçüm modeli görülmektedir. AMOS paket programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen modifikasyon (model iyileştirme) indekslerinin önerdiği 3 adet düzeltme yapılmıştır (Meydan ve Şeşen, 2015). Madde2’nin hata terimi hem 1. Madde hem de 3. Maddenin hata terimleri ile ve Madde3’ün hata terimi Madde6’nın hata terimi ile ilişkilendirilmiştir. Düzeltilmiş modelin veriye uyumu DFA sonuçlarına göre dört aşamada değerlendirilmiştir (Brown, 2015).

İlk aşamada, ölçek maddelerinin 3 faktör altındaki faktör yüklenim tahminlerinin, gücüne, yönüne ve istatistiksel anlamlılığına bakılmıştır. Geriye kalan aşamalarda ise faktör modelinin veri seti ile uyumu, uyum iyiliği indeksleri değerlendirilmiştir (Meydan ve Şeşen, 2015).

Kavram (Değişken) ve Göstergeler	Standart olmayan Faktör Yükleri	SE	t-değeri (Kritik Oran)	p	Standart Faktör Yükleri
İsraf Türleri					
Madde2_1	1,000				0,756
Madde2_2	0,766	0,079	9,664	<0,001	0,612
Madde2_3	0,811	0,089	9,065	<0,001	0,657
Madde2_4	1,044	0,087	11,956	<0,001	0,826
Madde2_5	0,940	0,090	10,459	<0,001	0,733
Madde2_6	0,828	0,061	13,63	<0,001	0,852
Madde2_7	1,002	0,090	11,127	<0,001	0,775
Yalın Üretim İlkeleri					
Madde2_8	1,000			<0,001	0,613
Madde2_9	1,168	0,203	5,75	<0,001	0,700
Madde2_10	1,117	0,194	5,75	<0,001	0,638
Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi					
Madde2_11	1				0,879
Madde2_12	1,066	0,133	7,987	<0,001	0,952

Tablo 5.6. Doğrulayıcı Faktör Analizi Parametre Tahmin Sonuçları

Tablo 5.6.'da 3 alt boyutun ilki olan “İsraf Türleri boyutunu” oluşturan 7 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Standart faktör yükleri 0.612-0,852 aralığında yer almaktadır.

“Yalın Üretim İlkeleri boyutunu” oluşturan 3 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p < 0,001$), standart faktör yüklerinin 0.613-0,700 aralığında yer aldığı görülmüştür.

“Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutunu” oluşturan 2 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p<0,001$), standart faktör yüklerinin 0.613-0,700 aralığında yer aldığı görülmüştür.

Bu sonuçlar bize, ölçeğimiz için teklif edilen 3 boyutlu modelin DFA ile incelenen yapısal geçerliği için gerekli olan ilk adımın tamamlanmış olduğunu gösterir (Brown T. A., 2015).

İkinci adımda uyum iyiliği indeks değerlerinin istenilen düzeyde olup olmadığı 3 aşamalı bir süreçte incelenecektir. Elde edilen uyum ölçüleri ve standart uyum kriterleri Tablo 6.7.’de yer almaktadır.

Uyum Ölçüleri	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Veri Yapımıza Uygun Model Uyum Değerleri
χ^2			78,460
Df (p)			48 (p=0,004)
χ^2/ df	$0 \leq \chi^2/ df \leq 2$	$2 < \chi^2/ df \leq 5$	1,635
CFI	$0,95 < TLI \leq 1,00$	$0,90 \leq TLI \leq 0,95$	0,973
TLI	$0,95 < TLI \leq 1,00$	$0,90 \leq TLI \leq 0,95$	0,963
GFI	$0,95 < GFI \leq 1$	$0,90 \leq GFI \leq 0,95$	0,942
RMSEA	$0 \leq RMSEA \leq 0,05$	$0,05 < RMSEA \leq 0,08$	0,057 (0,033-0,079)

Tablo 5.7. Uyum Ölçüleri ve Standart Uyum Kriterleri

Tablo 5.7. ‘de gösterildiği üzere 3 alt boyuttan oluşan ölçeğin analiz sonucunda elde edilen uyum iyiliği indeksleri ile model yapısının verimize uygunluğu 3 aşamada kontrol edilmiştir.

3 boyutlu modelimizin uygunluğunu değerlendirmek için ilk olarak ki-kare (χ^2) test istatistiğinin anlamlılığı kontrol edilmiştir. Ki-kare test istatistiği kestirimi yapılan tek istatistik değeri olup diğer uyum iyiliği indeksleri ki-kare değerinden türetilmiştir (Çelik ve Yılmaz, 2016). Analiz sonucunda elde edilen $\chi^2(48) = 78,460$ ($p=0,004$) değerlerine göre model ile veri uyumu görülmemiştir.

İkinci aşamada Normlaştırılmış ki-kare/serbestlik (χ^2/sd) ile model ve veri uyumu değerlendirilmiştir. Bu değer $0 \leq 1,635 \leq 2$ aralığında yer aldığı için model ve veri uyumunun iyi olduğunu göstermiştir (Meydan ve Şeşen, 2015).

Üçüncü aşamada Karşılaştırmalı uyum indeksi (Comparative Fit Index, CFI), Tucker-Lewis İndeksi (TLI), Uyum İyiliği İndeksi (Goodness of Fit Index, GFI) ve Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) literatürde belirtilen kesim noktalarına göre değerlendirilmişlerdir. Elde edilen CFI (0,973), TLI (0,963) değerleri iyi uyumu, GFI (0,942) ve RMSEA (0,057) değerleri ise kabul edilebilir uyumu göstermiştir (Schermelleh-Engel vd., 2003).

4 aşamalık süreçte değerlendirilen ölçeğin faktör yüklerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indekslerinin gösterdiği kabul edilebilir ve iyi uyum düzeyleri 3 faktörlü modelin yapısal geçerliliğini desteklemiştir.

- Ölçek Güvenilirliği

Güvenirlik, ölçüm araçlarının yaptığı ölçümlerin hatasızlığını ifade eden bir kavramdır. Likert türü ölçeklerin iç tutarlılık güvenilirliğini ölçmek için en çok tercih edilen güvenilirlik katsayısı Cronbach alfa'dır.

Ölçeğe ait ortalama, standart sapma ve Cronbach alfa katsayıları Tablo 6.8'de yer almaktadır.

Boyutlar	Maddeler	Ort $\pm$ SS	Cronbach Alfa
İsraf Türleri	(1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7)	2,93 $\pm$ 0,95	0,901
Yalın Üretim İlkeleri	(8, 9 ve 10)	3,38 $\pm$ 0,85	0,686
Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi	(11 ve 12)	3,60 $\pm$ 0,88	0,911
Toplam		3,16 $\pm$ 0,66	0,822

Tablo 5.8. TBA Sonucunda Belirlenen 3 Boyutlu Yapıya Ait Ortalama, Standart Sapma ve Güvenirlik Değerleri

Tablo 5.8.'de ölçeği oluşturan 3 boyutlu yapının ortalama, standart sapma ve güvenilirlik değerleri görülmektedir. Ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; İsraf Türleri boyutu için 0,820, Yalın Üretim İlkeleri

0,686 ve Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutu 0,911'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,822'dir.

Ölçek toplamı ve 3 alt boyut için elde edilen Cronbach Alfa iç tutarlılık katsayısı Nunnally ve Bernstein (1994) tarafından belirtilen 0,70 kesim noktasına yakın ve yüksek bulunduğu için ölçekten elde edilen ölçümlerin güvenilir olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre ölçeğimize ait 3 boyutlu yapının yeterince güvenilir olduğu değerlendirilmektedir.

5.7.4.Üçüncü Bölüme Yönelik “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” ile ilgili Geçerlilik Güvenirlik Analiz Sonuçları

“Yalın Üretim Teknikleri ve Endüstri 4.0 Araçları Değerlendirme Ölçeği” çalışanların üretim teknikleri hakkındaki bilgilerini değerlendirmek için geliştirilen ve geçerlik güvenirlilik çalışması yapılan ölçek 5’li likert tipte, 26 maddeden oluşmaktadır. 5’li likert tipte ölçüm yapan ölçüm aracımız için cevap seçenekleri şöyledir;

- 1) Her zaman
- 2) Sıklıkla
- 3) Ara sıra
- 4) Nadiren
- 5) Hiçbir zaman

•Yapısal Geçerlik Aşamaları

Yapısal geçerlik temel bileşenler analizi (TBA) ve doğrulayıcı faktör analizleri (DFA) ile değerlendirilmiştir.

•Temel Bileşenler Analizi (TBA) Sonuçları

“Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” Osborne ve Costello (2005) tarafından belirtilen ölçek geliştirilirken en çok tercih edilen yapı geçerliği değerlendirme yöntemlerinin başında gelen TBA ile analiz edilmiştir.

Örneklem yeterliliği Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ile korelasyon matrisinin birim matristen farklılığı Bartlett’in küresellik testi ile analiz edilmiştir (Pett vd., 2003).

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test	0,890
Bartlett'in Küresellik test istatistikleri	$\chi^2 = 2181,7$
	(sd =325; p < 0,001)

Tablo 5.9. Örneklem Yeterliliği Ölçüleri

Tablo 5.9. incelendiğinde KMO değeri (0,890) Kaiser (1974) tarafından belirlenen kesim noktasına (0,80) göre mükemmel (Meritorious) derecede örneklem yeterliliğine sahip olduğunu göstermektedir (Kaiser, 1974). Bartlett'in Küresellik testi sonuçları ($\chi^2 = 2181,7$, df =325, p < 0,001) korelasyon matrisinin birim matrsten anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir (Field, 2013). Elde edilen sonuçlar veri setinin TBA için uygun olduğunu göstermiştir.

TBA ile elde edilen faktör modelinin Thurstone (1947) tarafından önerilen basit yapıya (simple structure) uygun olması için rotasyon yöntemine başvurulmuştur (Pett vd., 2003). Anlaşılabilir ve yorumu kolay bir faktör yapısı ortaya çıkartmak için Lorenzo-Seva (1999) tarafından geliştirilen Promin eğik döndürme yöntemi tercih edilmiştir. Faktör sayısına literatürde sıklıkla diğer faktör sayısına karar verme yöntemlerinden üstünlükleri vurgulanan MAP ve paralel analiz kullanılmıştır (Koçak vd., 2016).

Ölçek maddeleri	Yalın Üretim Tekniği	Endüstri 4.0 Araçları
Madde1	0,923	
Madde2	0,954	
Madde3	0,909	
Madde4	0,934	
Madde5	0,803	
Madde6	0,561	
Madde7	0,740	
Madde8	0,695	
Madde9	0,703	
Madde10	0,628	
Madde11	0,580	
Madde12	0,480	
Madde13	0,692	
Madde14	0,900	
Madde15		0,556
Madde16		0,759
Madde17		0,721

Tablo 5.10. TBA Sonuçları

Madde18	0,555
Madde19	0,717
Madde20	0,917
Madde21	0,608
Madde22	0,841
Madde23	0,619
Madde24	0,874
Madde25	0,901
Madde26	0,919

Tablo 5.10. (devam) TBA Sonuçları

Tablo 5.10. incelendiğinde TBA sonucunda elde edilen 2 alt boyuta ait faktör yükleri Stevens (2002) tarafından belirtilen 0,40'dan büyük olarak bulunduğu için 26 maddenin de istatistiksel anlamlılığa sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Yalın Üretim Tekniği boyutunu oluşturan 14 maddenin (Madde1-14) faktör yükleri (0.480-0.954) ve 12 maddelik (Madde8-10) Endüstri 4.0 Araçları boyutuna ait faktör yükleri (0.555-0.919) aralığında yer almaktadır.

Faktörler	Öz Değer	Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
Yalın Üretim Tekniği (1-14)	12,857	49,450	49,450
Endüstri 4.0 Araçları (15-26)	2,927	11,259	60,709

Tablo 5.11. Faktörlere Ait Öz Değer ve Açıklayıcı Varyans Oranı

Faktör sayısına karar vermek için literatürde sıklıkla diğer faktör sayısına karar verme yöntemlerinden üstünlükleri vurgulanan iki yöntemden biri olan paralel analiz kullanılmıştır (Koçak vd., 2016). Tablo 6.11'de görüldüğü gibi, 2 boyutun da özdeğeri sırasıyla şu şekildedir; 12,857 ve 2,927 elde edilmiştir. Varyans açıklama oranı %60,709 olarak bulunmuştur. Sonraki aşamada TBA ile elde edilen 2 boyutlu yapının veri seti ile uyumu Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ile sınanacaktır.

• Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) Sonuçları

Yapısal geçerliğin ikinci aşamasında elde edilen 2 faktörlü yapısının veri setine uyumu DFA ile sorgulanmıştır. DFA yapısal eşitlik modellemesinin özel bir türüdür. Analiz için Mplus (Version 6.12) paket programı kullanılmış ölçeğe ait 2 boyutlu ölçüm

modelinin yapısal geçerliği Muthén (1993) tarafından geliştirilen ortalama ve varyans düzeltmeli (weighted least squares mean and variance adjusted estimator, WLSMV) parametre tahmin metodu ile değerlendirilmiştir (Muthén & Muthén, 1998-2011). WLSMV metodu Mplus paket programında sıralı, sırasız kategorik verilerin analizinde en çok tavsiye edilen ve varsayılan tahmin yöntemidir (Wang ve Wang, 2012).

Yapılan analiz sonucunda elde edilen modifikasyon (model iyileştirme) indekslerinin önerdiği 4 adet düzeltme yapılmıştır (Meydan ve Şeşen, 2015). Madde2'nin hata terimi hem 1. Madde hem de 3. Maddenin hata terimleri ile Madde3'ün hata terimi Madde1'in hata terimi ile Madde24'ün hata terimi Madde25'in hata terimi ile ilişkilendirilmiştir. Düzeltilmiş Modelin veriye uyumu DFA sonuçlarına göre dört aşamada değerlendirilmiştir (Brown, 2015).

İlk aşamada, ölçek maddelerinin 2 faktör altındaki faktör yüklenim tahminlerinin, gücüne, yönüne ve istatistiksel anlamlılığına bakılmıştır. Geriye kalan aşamalarda ise faktör modelinin veri seti ile uyumu, uyum iyiliği indeksleri değerlendirilmiştir (Meydan ve Şeşen, 2015).

Kavram (Değişken) ve Göstergeler	Standart olmayan Faktör Yükleri	SE	t-değeri (Kritik Oran)	p	Standart Faktör Yükleri
Yalın Üretim Tekniği					
Madde1	1,000				0,600
Madde2	1,047	0,060	17,466	<0,001	0,628
Madde3	1,071	0,071	15,063	<0,001	0,643
Madde4	1,299	0,088	14,822	<0,001	0,780
Madde5	1,062	0,078	13,662	<0,001	0,637
Madde6	1,337	0,099	13,505	<0,001	0,802
Madde7	1,338	0,096	13,988	<0,001	0,803
Madde8	1,357	0,097	13,931	<0,001	0,814
Madde9	1,301	0,093	14,042	<0,001	0,781
Madde10	1,171	0,087	13,494	<0,001	0,703
Madde11	1,383	0,104	13,245	<0,001	0,830
Madde12	1,476	0,110	13,359	<0,001	0,886
Madde13	1,278	0,085	14,961	<0,001	0,767
Madde14	1,084	0,073	14,763	<0,001	0,650

Tablo 5.12. DFA Parametre Tahmin Sonuçları

Endüstri 4.0 Araçları					
Madde15	1,000				0,871
Madde16	0,847	0,045	18,739	<0,001	0,738
Madde17	0,937	0,038	24,535	<0,001	0,816
Madde18	0,644	0,064	10,026	<0,001	0,561
Madde19	0,872	0,046	18,997	<0,001	0,760
Madde20	0,880	0,048	18,230	<0,001	0,767
Madde21	0,630	0,062	10,209	<0,001	0,549
Madde22	0,926	0,042	22,042	<0,001	0,807
Madde23	0,871	0,043	20,043	<0,001	0,759
Madde24	0,790	0,048	16,560	<0,001	0,688
Madde25	0,890	0,044	20,125	<0,001	0,776
Madde26	0,902	0,042	21,692	<0,001	0,786

Tablo 5.12. (devam) DFA Parametre Tahmin Sonuçları

Tablo 5.12.'de 2 alt boyutun ilki olan Yalın Üretim Tekniği boyutunu oluşturan 14 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Standart faktör yükleri 0.600-0,886 aralığında yer almaktadır.

Endüstri 4.0 Araçları boyutunu oluşturan 12 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p<0,001$), standart faktör yüklerinin 0.549-0,871 aralığında yer aldığı görülmüştür.

Bu sonuçlar bize, ölçeğimiz için teklif edilen 2 boyutlu modelin DFA ile incelenen yapısal geçerliği için gerekli olan ilk adımın tamamlanmış olduğunu gösterir (Brown, 2015).

İkinci adımda uyum iyiliği indeks değerlerinin istenilen düzeyde olup olmadığı 3 aşamalı bir süreçte incelenecektir. Elde edilen uyum ölçüleri ve standart uyum kriterleri Tablo'da yer almaktadır.

Uyum Ölçüleri	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Veri Yapımıza Uygun Model Uyum Değerleri
χ^2			828,650
Df (p)			294 ($p<0,001$)
χ^2/ df	$0 \leq \chi^2/ df \leq 2$	$2 < \chi^2/ df \leq 5$	2,818
CFI	$0,95 < TLI \leq 1,00$	$0,90 \leq TLI \leq 0,95$	0,920
TLI	$0,95 < TLI \leq 1,00$	$0,90 \leq TLI \leq 0,95$	0,912
RMSEA	$0 \leq RMSEA \leq 0,05$	$0,05 < RMSEA \leq 0,08$	0,096 (0,088-0,103)

Tablo 5.13. Uyum Ölçüleri ve Standart Uyum Kriterleri

Tablo 5.13'te sunulduğu gibi 2 alt boyuttan oluşan ölçeğin analiz sonucunda elde edilen uyum iyiliği indeksleri ile model yapısının verimize uygunluğu 3 aşamada kontrol edilmiştir.

2 boyutlu modelimizin uygunluğunu değerlendirmek için ilk olarak ki-kare (χ^2) test istatistiğinin anlamlılığı kontrol edilmiştir. Ki-kare test istatistiği kestirimi yapılan tek istatistik değeri olup diğer uyum iyiliği indeksleri ki-kare değerinden türetilmiştir (Çelik ve Yılmaz, 2016). Analiz sonucunda elde edilen $\chi^2(294) = 828,650$ ($p < 0,001$) değerlerine göre model ile veri uyumu görülmemiştir.

İkinci aşamada Normlaştırılmış ki-kare/serbestlik (χ^2/sd) ile model ve veri uyumu değerlendirilmiştir. Bu değer $2 \leq 2,818 \leq 5$ aralığında yer aldığı için model ve veri arasında kabul edilebilir uyumunun olduğunu göstermiştir (Meydan ve Şeşen, 2015).

Üçüncü aşamada Karşılaştırmalı uyum indeksi (Comparative Fit Index, CFI), Tucker-Lewis İndeksi (TLI) ve Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) literatürde belirtilen kesim noktalarına göre değerlendirilmiştir. Elde edilen CFI (0,920) ve TLI (0,963) değerleri kabul edilebilir uyumu göstermiştir (Schermelleh-Engel vd., 2003).

4 aşamalık süreçte değerlendirilen ölçeğin faktör yüklerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indekslerinin gösterdiği kabul edilebilir ve iyi uyum düzeyleri 2 faktörlü modelin yapısal geçerliliğini desteklemiştir.

- Ölçek Güvenilirliği

Güvenirlik, ölçüm araçlarının yaptığı ölçümlerin hatasızlığını ifade eden bir kavramdır. Ölçekteki maddelerin aynı yapıya destek vererek bütün oluşturup oluşturmadıklarını ölçen bir katsayıdır. Ölçek güvenilirliğinin değerlendirildiği çalışmalarda en çok tercih edilen güvenilirlik katsayısı Cronbach alfa'dır.

Ölçeğe ait ortalama, standart sapma ve güvenilirlik katsayıları Tablo'da yer almaktadır.

Boyutlar	Maddeler	Ort $\pm$ SS	Cronbach Alfa
Yalın Üretim Tekniği	(1-14)	2,81 $\pm$ 1,21	0,927
Endüstri 4.0 Araçları	(15-26)	2,95 $\pm$ 1,32	0,915
Toplam		2,85 $\pm$ 1,26	0,943

Tablo 5.14. Boyutlu Yapının Ortalama, Standart Sapma ve Güvenirlik Değerleri

Tablo 5.14.'de gösterildiği gibi ölçeği oluşturan 2 boyutlu yapının ortalama, standart sapma ve güvenilirlik değerleri görülmektedir. Ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık

katsayıları sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; Yalın Üretim Tekniği boyutu için 0,927, ve Endüstri 4.0 Araçları boyutu için 0,915'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,943'tür.

Ölçek toplamı ve 2 alt boyut için elde edilen Cronbach Alfa iç tutarlılık katsayısı Nunnally ve Bernstein (1994), tarafından belirtilen 0,70 kesim noktasından yüksek bulunduğu için ölçekten elde edilen ölçümlerin güvenilir olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre ölçeğimize ait 2 boyutlu yapının yeterince güvenilir olduğu değerlendirilmektedir.

5.7.5. Yalın Üretim Teknikleri ve Endüstri 4.0 Araçları ile Arasındaki İlişkiye Yönelik Bulgular

	Büyük Veri		Bulut Bilişim		Nesnelerin İnterneti		3D		İleri Robotik		Simülasyon		Siber Güvenlik		Yatay/Dikey Yazılım		Artırılmış Gerçeklik		RFID		Sensör teknoloji		Yapay Zeka	
	r*	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
5S	0.37	<.01	0.21	<.01	0.26	<.01	0.17	.015	.17	.02	.23	<.01	0.15	.03	0.29	<.01	0.38	<.01	0.17	.02	0.21	<.01	0.15	.04
Değer Akış Haritalama	0.32	<.01	0.15	.03	0.23	<.01	0.19	<.01	.19	<.01	.20	<.01	0.16	.03	0.28	<.01	0.38	<.01	0.25	<.01	0.25	<.01	0.20	.04
Kanban	0.39	<.01	0.23	<.01	0.24	<.01	0.23	<.01	0.25	<.01	0.21	<.01	0.25	<.01	0.30	<.01	0.35	<.01	0.23	<.01	0.29	<.01	0.19	.01
Toplam Verimli Bakım	0.47	<.01	0.31	<.01	0.31	<.01	0.21	<.01	0.29	<.01	0.15	0.03	0.26	<.01	0.32	<.01	0.31	<.01	0.21	<.01	0.26	<.01	0.22	<.01
Andon	0.36	<.01	0.28	<.01	0.32	<.01	0.13	0.06	0.24	0.06	0.10	0.16	0.14	.05	0.27	<.01	0.35	<.01	0.16	<.01	0.18	0.01	0.23	<.01
Jidoka	0.53	<.01	0.39	<.01	0.49	<.01	0.28	<.01	0.49	<.01	0.31	<.01	0.17	.02	0.43	<.01	0.38	<.01	0.31	<.01	0.31	<.01	0.41	<.01
Heijunka	0.49	<.01	0.34	<.01	0.41	<.01	0.30	<.01	0.41	<.01	0.30	<.01	0.19	<.01	0.31	<.01	0.30	<.01	0.19	<.01	0.27	<.01	0.35	<.01
Poka-Yoke	0.46	<.01	0.33	<.01	0.41	<.01	0.31	<.01	0.40	<.01	0.33	<.01	0.27	<.01	0.32	<.01	0.28	<.01	0.26	<.01	0.31	<.01	0.38	<.01
Tek Parça Akış	0.41	<.01	0.31	<.01	0.39	<.01	0.29	<.01	0.40	<.01	0.32	<.01	0.15	<.01	0.31	<.01	0.36	<.01	0.25	<.01	0.36	<.01	0.29	<.01

Tablo 5.15. "Yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları Değerlendirme Ölçeği" Maddeleri Arasındaki İlişki

hücresel imalat	0,49	<.01	0,24	<.01	0,29	<.01	0,26	<.01	0,37	<.01	0,38	<.01	0,21	<.01	0,37	<.01	0,25	<.01	0,24	<.01	0,34	<.01	0,28	<.01
Shojinka	0,46	<.01	0,30	<.01	0,46	<.01	0,29	<.01	0,49	<.01	0,35	<.01	0,14	0,05	0,34	<.01	0,49	<.01	0,29	<.01	0,32	<.01	0,42	<.01
SMED	0,49	<.01	0,34	<.01	0,48	<.01	0,31	<.01	0,54	<.01	0,49	<.01	0,18	<.01	0,43	<.01	0,51	<.01	0,38	<.01	0,42	<.01	0,55	<.01
Tam Zamanında Üretim	0,50	<.01	0,30	<.01	0,41	<.01	0,29	<.01	0,37	<.01	0,35	<.01	0,21	<.01	0,34	<.01	0,37	<.01	0,34	<.01	0,33	<.01	0,26	<.01
Kaizen	0,39	<.01	0,22	<.01	0,23	<.01	0,24	<.01	0,25	<.01	0,21	<.01	0,22	<.01	0,18	<.01	0,35	<.01	0,12	,09	0,18	,01	0,04	,54

Tablo 5. 15. (devam) "Yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları Değerlendirme Ölçeği" Maddeleri Arasındaki İlişki

* Spearman korelasyon katsayısı

**0,05 Anlamlılık Düzeyinde Anlamlı Fark

Tablo 5.15.'e baktığımızda, Endüstri 4.0 araçları ile yalın üretim teknikleri arasındaki ilişki Spearman sıra korelasyon katsayısı ile aşağıdaki kesim noktalarına göre değerlendirilmiştir (Alpar, 2011);

1. 0,00-0,19 İlişki yok veya önemsiz düzeyde
2. 0,20-0,39 Zayıf (düşük) ilişki
3. 0,40-0,69 Orta düzeyde ilişki
4. 0,70-0,89 Kuvvetli (yüksek) ilişki
5. 0,90-1,00 Çok kuvvetli ilişki

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Büyük Veri ve Veri Analitiği teknolojisinin kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Toplam Verimli Bakım, Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, hücreli imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) sistemi ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemlerinin kullanımı arasında ise orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.47$, $r=0.53$, $r=0.49$, $r=0.46$, $r=0.41$, $r=0.49$, $r=0.46$, $r=0.49$ ve $r=0.50$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.37$, $r=0.32$, $r=0.39$, $r=0.36$ ve $r=0.39$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Bulut Bilişim teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi), Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka-Yoke (süreçte

hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) sistemi, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.21$, $r=0.23$, $r=0.31$, $r=0.28$, $r=0.39$, $r=0.34$, $r=0.33$, $r=0.31$, $r=0.24$, $r=0.30$, $r=0.34$, $r=0.30$ ve $r=0.22$).

Değer Akış Haritalama yönteminin kullanımı arasında ise önemsiz düzeyde ilişki vardır ($r=0.15$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Nesnelerin İnterneti kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemlerinin kullanımı arasında ise orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.49$, $r=0.41$, $r=0.41$, $r=0.46$, $r=0.48$ ve $r=0.41$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi), Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.26$, $r=0.23$, $r=0.24$, $r=0.31$, $r=0.32$, $r=0.39$, $r=0.29$ ve $r=0.23$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından 3 Boyutlu 3D Yazıcılar kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) sistemi, Tam Zamanında Üretim (TZÜ)

(üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.23$, $r=0.21$, $r=0.28$, $r=0.30$, $r=0.31$, $r=0.29$, $r=0.26$, $r=0.29$, $r=0.31$, $r=0.29$ ve $r=0.24$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin) ve Değer Akış Haritalama yönteminin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.17$ ve $r=0.19$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından İleri Robotik teknoloji kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.49$, $r=0.41$, $r=0.40$, $r=0.40$, $r=0.49$ ve $r=0.54$).

Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Hücresel imalat tekniği, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.25$, $r=0.29$, $r=0.37$, $r=0.37$ ve $r=0.25$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin) ve Değer Akış Haritalama yönteminin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.17$ ve $r=0.19$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Simülasyon teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yönteminin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.49$). 5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan

önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.23$, $r=0.20$, $r=0.21$, $r=0.31$, $r=0.30$, $r=0.33$, $r=0.32$, $r=0.38$, $r=0.35$, $r=0.35$ ve $r=0.21$).

Toplam Verimli Bakım yönteminin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.15$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Siber Güvenlik teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Hücresel imalat tekniği, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.23$, $r=0.20$, $r=0.21$, $r=0.31$, $r=0.30$, $r=0.33$, $r=0.32$, $r=0.38$, $r=0.35$, $r=0.35$ ve $r=0.21$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi), Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Tek Parça Akış, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.15$, $r=0.16$, $r=0.14$, $r=0.17$, $r=0.19$, $r=0.15$, $r=0.14$ ve $r=0.18$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Jidoka (otonomasyon) tekniği ve SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında ise orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır ($r=0.43$ ve $r=0.43$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı

bir uyarı sistemi), Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka-Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.29$, $r=0.28$, $r=0.30$, $r=0.32$, $r=0.27$, $r=0.31$, $r=0.32$, $r=0.31$, $r=0.37$, $r=0.34$ ve $r=0.34$).

Kaizen (sürekli iyileştirme) yönteminin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.18$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Artırılmış Gerçeklik teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır ($r=0.49$ ve $r=0.51$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi), Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka-Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.38$, $r=0.38$, $r=0.35$, $r=0.31$, $r=0.35$, $r=0.38$, $r=0.30$, $r=0.28$, $r=0.36$, $r=0.25$, $r=0.37$ ve $r=0.35$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından RFID teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Jidoka (otonomasyon) tekniği, Poka-Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma), Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği, SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) sistemi, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve

verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.25$, $r=0.23$, $r=0.21$, $r=0.31$, $r=0.26$, $r=0.25$, $r=0.24$, $r=0.29$, $r=0.38$ ve $r=0.34$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi) ve Heijunka (sıralı/dengeli üretim) yöntemlerinin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.17$, $r=0.16$ ve $r=0.19$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Sensör teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yönteminin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır ($r=0.42$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin), Değer Akış Haritalama, Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem), Toplam Verimli Bakım, Jidoka (otonomasyon) tekniği, Heijunka (sıralı/dengeli üretim), Poka-Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.21$, $r=0.25$, $r=0.29$, $r=0.26$, $r=0.31$, $r=0.27$, $r=0.31$, $r=0.36$, $r=0.34$, $r=0.32$ ve $r=0.33$).

Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi) ve Kaizen (sürekli iyileştirme) yönteminin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.18$ ve $r=0.18$).

- ✓ Çalıştığı işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 araçlarından Yapay Zekâ teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden;

Jidoka (otonomasyon) tekniği, Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği ve SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) yöntemlerinin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.41$, $r=0.42$ ve $r=0.55$).

Değer Akış Haritalama, Toplam Verimli Bakım, Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi), Heijunka

(sıralı/dengeli üretim), Poka-Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği, Tek Parça Akış, Hücresel imalat tekniği ve Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır (sırasıyla; $r=0.20$, $r=0.22$, $r=0.23$ $r=0.35$, $r=0.38$, $r=0.29$, $r=0.28$ ve $r=0.26$).

5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin) ve Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem) yöntemlerinin kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki vardır ($r=0.15$ ve $r=0.19$).

		Yalın Üretim Tekniği	Endüstri 4.0 Araçları	İkinci Ölçek Toplam	Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi	İlk Ölçek Toplam
İsraf Türleri Boyutu	r^*	-,255	-,261	-,264	,199	,911
	p^{**}	<,001	<,001	<,001	,005	<,001

Tablo 5.16. İki Ölçeğin Boyutları Arasındaki İlişkiler

* Spearman korelasyon katsayısı

**0,05 Anlamlılık Düzeyinde Anlamlı Fark

“Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” israf türleri boyutu ile Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutu ve ölçek toplamı arasındaki ilişki Spearman korelasyon analizi ile incelenmiştir. İsraf türleri boyutu ile Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutu arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki, ölçek toplamı ile arasında ise kuvvetli düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur (sırasıyla; $r=0.199$ ve $r=0,911$).

“Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” israf türleri boyutu ile “Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği” alt boyutlarından Yalın Üretim Tekniği, Endüstri 4.0 Araçları ve ölçek toplamı arasındaki ilişki Spearman korelasyon analizi ile incelenmiştir. İsraf türleri boyutu ile Yalın Üretim Tekniği, Endüstri 4.0 Araçları ve ölçek toplamı arasında zayıf düzeyde negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur (sırasıyla; $r=-0.255$, $r=-0,261$ ve $r=-0,264$).



6. DEĞERLENDİRME

Çalışmada yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları arasındaki ilişkinin varlığını ve düzeyini ölçmek adına Türkiye’de Savunma Sanayiinde Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren başlıca işletmelerde çalışan toplam 199 kişiye anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada katılımcıların 138’nin yalın üretim sistemi ve teknikleri hakkında bilgi sahibi olduğu görülmüştür. Ayrıca uygulama yapılan işletmelerde çoğunluğu işletmede yalın üretim tekniklerinin 5 yıldan az kullanıldığını ifade etmiştir. Bunun yanı sıra işletmede çalışanların 103 kişi (%51,8’i) Endüstri 4.0 ve teknolojileri hakkında bilgi sahibi olduğunu belirtmiş ve bu kişilerden sadece 12’si Endüstri 4.0’a yönelik danışmanlık hizmeti aldığı ifade edilmiştir. Anket sonucunda elde edilen bulgularda, yalın üretim ile Endüstri 4.0 arasında bir ilişki olduğu yalın üretim tekniklerinin ile Endüstri 4.0 bileşenlerinin kullanımı arasında ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda israf türleri ile yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları arasında negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunduğu görülmüştür.

Yalın üretim ve Endüstri 4.0’a yönelik literatür incelendiğinde, Chen ve Chen (2014) parça imalatı alanında yalın uygulama için ORFPM sisteminin uygulanmasına yönelik gerçekleştirdiği bir vaka çalışmasında çevrimiçi bir radyo frekansı tanımlama (RFID) tabanlı tesis performans izleme (ORFPM) sistemi sunmaktadır. Bu sistem, küçük bir üretim tesisinde yalın üretimin uygulanmasını destekler. Bu sistem, bilgisayar destekli programlama kullanarak otomatik olarak gerçek zamanlı bir değer akışı haritası (DAH) oluşturmak için RFID yoluyla kablosuz izlemeyi kullanmaktadır. DAH’ın oluşturulması otomatik olarak zamandan tasarruf sağlar, hataları azaltır ve DAH’ı denetçiler için her an daha görünür hale getirir. Bununla birlikte çalışmada yalın üretim tekniklerinden biri olan değer akış haritalamanın Endüstri 4.0 ile gerçek zamanlı veri toplama yoluyla geliştirebileceği savunulmuştur. Ayrıca yeni teknoloji ile sayesinde elde edilen gerçek zamanlı değer akış haritalamanın, israfları azaltmak için mükemmel olanaklar ve kararlar hakkında anında geri bildirim sunacağına ve bunun örneğin parti büyüklükleri ve üretim dizilimi ile ilgili üretimdeki deneyleri kolaylaştıracağı ifade edilmiştir. Çalışmamızda işletmelerin üretim sürecinde Endüstri 4.0 araçlarından RFID teknolojisinin kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden değer akış haritalama kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu sonucu elde edilmiş ve Chen’in çalışmasını desteklenmiştir.

Wang vd. (2016) çalışmasında yalın üretim ile akıllı üretim arasındaki ilişkiyi analiz eder. Çin'deki durumu göz önüne alınarak işletmeye yalın akıllı üretim sistemi (LIPS) kavramı önerilmektedir. Çalışmada LIPS'e dayanarak, süreçteki işi en aza indirmek, israfları ortadan kaldırmak ve üretim verimliliğini artırmak için bir kontaktör ürününün üretim sürecine değer akışı analizi ve tasarımı uygulanır. Ayrıca çalışmada Endüstri 4.0 ve yalın üretimin entegrasyonunun performans faydalarını değerlendirdiği ve yalın uygulamalar üzerinde kanban ve tek parça akış üzerindeki etkilerini araştırılarak performans boyutlarından verimlilik ve esneklik üzerinde durulur. Araştırmada kontaktörün üretim karakteri dikkate alınarak ana ilkeler belirlenmiştir: İlk olarak, üretim hattında tek parça akış geliştirmek anlamına gelen entegrasyondur. Bu kapsamda, karmaşık parçaları üretmek için beş eksenli takım tezgâhı ve 3D yazıcılar entegre edilmiştir, bu da entegrasyon kurulum süresini kısalttığı için verimliliği büyük ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Diğer bir ilke, uzun kurulum süresine sahip sarf malzemelerinin üretimini kontrol etmek için süpermarket ve kanban kullanmak anlamına gelen çekme sistemidir. Çekme sistemi, akışlar arasındaki üretimi kontrol etmenin kendi kendini düzenleyen bir yoludur ve müşterilerin tam zamanında ihtiyaç duydukları şeyi üretmeye yardımcı olur. Siber-Fiziksel Sistemler'in gelişmesiyle birlikte, kanbanın bilgileri farklı istasyonlara entegre edilen sensörler tarafından iletilecektir. Örneğin, parçalar neredeyse tükendiğinde ERP sistemlerine sinyal göndermek için süpermarkete manyetik sensörler sabitlenmiştir. Çalışmamızda işletmede üretim aşamasında kullanılan tek parça akış ile 3D yazıcıların kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte üretimde siber güvenlik teknolojisinin kullanımı ile kanban tekniğinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü bir anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Elde edilen bulgular literatüre uyum sağlamaktadır.

Chen ve Lin (2017) araştırmasında 3D baskı ve yalın üretim ilişki üzerine tartışılmıştır. Bu kapsamda tek parça akış, 5S ve tam zamanında üretim teslimatları gibi yalın üretimin bazı hedeflerini nasıl kolaylaştırabileceği üzerine durulmuştur. Çalışmamızda da işletmede üretim süreçlerinde 3D yazıcılarının kullanımının yalın üretim tekniklerinden tek parça akış ve tam zamanında üretim yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada farklı olarak 5S tekniği kullanımı arasında ise önemsenmeyecek

düzeyde ilişkisi olduğu verisi elde edilmiştir. Bu kapsamda 3D baskı ve yalın üretim ilişkisine yönelik makale çalışmamız ile kısmen desteklenmiştir.

Dombrowski vd. (2017) Endüstri 4.0 ve yalının birbiri ile olan karşılıklı bağımlılıkları incelendiği çalışmada Alman imalat sektöründe kullanılan Endüstri 4.0 teknolojilerinin 260 kullanım örneği üzerinde durulmuştur. Araştırmada, Endüstri 4.0 ve yalın üretim sistemleri unsurları arasındaki bağıllık kantitatif şekilde analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, bu iki kavram arasındaki en yüksek korelasyon, israf ile bulut bilişimin önlenmesi arasında açıklanmıştır. Ayrıca 37 kullanım koşulunda, sıfır hata unsuruna yöneltilecek faaliyetlerde büyük veriler kullanılmıştır. Sıfır hata ilkesi ile büyük veriler arasında diğer bir yüksek korelasyon sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmamızda ise literatürden farklı olarak elde edilen bulgulara göre israf türleri ile Endüstri 4.0 bileşenleri arasında zayıf düzeyde negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur.

Ma vd. (2017), Endüstri 4.0 ve yalın üretimin entegrasyonunun performans faydalarını değerlendirdiği çalışmada Siber-Fiziksel Sistem tabanlı akıllı Jidoka'nın üretim sistemi esnekliğini artırmak için nasıl uygun maliyetli ve etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Ayrıca performans boyutu olarak maliyet, esneklik ve güvenilirlik hususunda sağladığı faydaları kanıtlamaktadır. Diğer bir taraftan, çalışmalar yalnızca operasyonel performans ölçümlerine odaklanma birlikte çalışmada Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışının Jidoka'nın uygulama yelpazesini genişlettiği ifade edilmektedir. Çalışmamızda farklı olarak işletmenin üretim süreçlerinde yeni sanayi devrimi bileşenlerinden Siber Güvenlik teknolojisinin kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden Jidoka'nın kullanımı arasında ise ilişkinin var olduğu ancak önemsenmeyecek düzeyde bir olduğu sonucu elde edilmiştir.

Öksüz vd. (2017) çalışmada yalın üretim teknikleri ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişki analiz edilmiş ve Endüstri 4.0 dönüşümünde hangi tekniklerin hangi teknolojilerle geliştirilebileceği bilgisine yer verilmiştir. Çalışma sonucunda yalın üretim felsefesinin Endüstri 4.0 dönüşümü ile organizasyonlara daha kolay adapte edilebileceği ve böylece işletmelerde rekabet gücünün, etkinlik ve verimliliğin arttırılabileceği ortaya konmuştur. Yapılan araştırmada yalın üretim tekniklerinden;

- ✓ Jidoka'nın Endüstri 4.0 araçlarından veri analitiği, robotik sistemler, nesnelerin interneti ve sensör teknolojileri arasında ilişki olduğu

savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde Jidoka'nın kullanımı ile veri analitiği, ileri robotik teknolojisi, nesnelerin interneti kullanımı arasında orta düzeyde; sensör teknolojisi kullanımı ile zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.

- ✓ Tam zamanında üretim'in Endüstri 4.0 araçlarından nesnelerin interneti, bulut sistemler, eklemeli üretim, siber güvenlik ve RFID teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde tam zamanında üretimin kullanımı ile nesnelerin interneti kullanımı arasında orta düzeyde; bulut bilişim, eklemeli imalat, siber güvenlik, RFID teknolojisi kullanımı ile zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.
- ✓ Kanban'ın Endüstri 4.0 araçlarından sensör ve RFID teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde kanbanın kullanımı ile sensör ve RFID teknolojisi kullanımı ile zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.
- ✓ Kaizen'in Endüstri 4.0 araçlarından veri analitiği, simülasyon, sensör ve RFID teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde kaizen'in kullanımı ile büyük veri ve veri analitiği, simülasyon ve RFID teknolojileri arasında zayıf düzeyde; sensör teknolojisi kullanımı arasında ise önemsenmeyecek düzeyde ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.
- ✓ Hücresel Üretim'in Endüstri 4.0 araçlarından veri analitiği, robotik sistemler ve eklemeli üretim teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde hücresel üretimin kullanımı ile büyük veri ve veri analitiği kullanımı arasında orta düzeyde; robotik sistemler ve eklemeli üretim teknolojileri arasında ise zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.
- ✓ Heijunka'nın Endüstri 4.0 araçlarından robotik sistemler ve veri analitiği teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde Heijunka'nın kullanımı ile büyük veri ve veri analitiği ve robotik sistem teknolojileri arasında ise orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.

- ✓ SMED'nin Endüstri 4.0 araçlarından robotik sistemler, eklemeli imalat, sensör ve RFID teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde SMED'nin kullanımı ile ileri robotik teknolojisi ve sensör teknolojisi kullanımı arasında orta düzeyde; eklemeli imalat ve RFID teknolojileri arasında ise zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.
- ✓ Poka-Yoke'nin Endüstri 4.0 araçlarından sensör teknolojileri arasında ilişki olduğu savunulmuştur. Çalışmamızda üretim süreçlerinde Poka-Yoke'nin kullanımı ile sensör teknolojisi kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bu çerçevede, Öksüz vd. (2017) çalışması ile çalışmamız sonucunda elde edilen bulgular birbiri ile uyum sağladığı görülmüştür. Ayrıca Öksüz'ün çalışmasında Endüstri 4.0 teknolojileri ile yalın üretim felsefesinin yeni uygulamaları mümkün olabilecek ve böylece israfın azaltılabileceği, verimliliği ve müşteri memnuniyetinin artırılabilirliği hususlarında kolay bir hal alacağı savunulmuştur. Bununla birlikte sonuç olarak bu iki kavramın birbirinden bağımsız olamayacağı ve Endüstri 4.0 bileşenlerinin yalın üretimin uygulanmasını kolaylaştıracağı ortaya konmuştur. Bu doğrultuda araştırmamızda “Endüstri 4.0 araçları ile yalın üretim teknikleri arasında ilişki bulunduğu” ve “Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı yalın üretim anlayışının yürütülmesi açısından kolaylaştırıcı bir etken” olduğuna yönelik veriler elde edilmiş olup Öksüz ve Öner'in çalışması bu kapsamda desteklenmiştir.

Tortorella ve Fettermann (2017), çalışmasında Brezilya'daki imalat işletmelerinde yalın üretim uygulamaları ile Endüstri 4.0'ın uygulanması arasındaki ilişki incelenmesi amaçlanmıştır. İnceleme için farklı büyüklük ve sektörlerden 110 işletmeye anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması sonucunda elde edilen veriler çok değişkenli analiz yoluyla analiz edilmiş. Analizler sonucunda işletmenin büyüklüğü fark etmeksizin iki kavram arasındaki ilişki gözlenebileceği elde edilmiştir. Çalışma bulguları yalın üretim uygulamalarının Endüstri 4.0 teknolojileriyle pozitif ilişkili olduğunu ve bunların eşzamanlı uygulanmasının daha büyük performans iyileştirmelerine yol açtığını göstermektedir. Çalışmamızda elde edilen verilerde de süreçlerde yalın üretim araçları kullanımı ile Endüstri 4.0 teknolojileri kullanımı arasında genel olarak pozitif ilişki bulunmuş ve çalışma desteklenmiştir.

Mary vd. (2018) araştırmasından elde edilen bulgulara Sanayi 4.0 araçlarının toplam verimli bakım ve değer akış haritalama metotları ile orantılı sonucuna ulaşılmış olup birbirleri ile nasıl geliştirilmesi gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte tam zamanında üretimde büyük veri ve analitiğinin önemini vurgulanmakla birlikte Artırılmış Gerçekliğin TZÜ, TVB, SMED, DAH ve Poka-Yoke için önemli olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda üretim süreçlerinde büyük veri ve veri analitiği teknolojisi kullanımı ile tam zamanında üretim tekniğinin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Endüstri 4.0 üretim tekniklerinden artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden SMED kullanımı arasında orta düzeyde; tam zamanında üretim, toplam verimli bakım, değer akış haritalama ve Poka-Yoke yöntemlerinin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Bulgular neticesinde çalışmamızın Mary ve diğerlerinin çalışması ile uyumlu olduğu ve desteklediği sonucuna varılmıştır.

Marinelli vd. (2021) anket çalışmasında yalın araçlar/kavramlar ve uygulama sıklığı ile birlikte Endüstri 4.0 bileşenlerinin uygulama sıklığına bakılmıştır. Anket sonuçlarında, gerçek zamanlı veri, veri alışverişi için IoT, büyük veri analitiği, Siber –Fiziksel Sistemler (CPS), tahmine dayalı algoritmalar ve robotların sürekli akış, kanban, standartlaştırılmış çalışma, TVB ve sürekli iyileştirme gibi yalın özellikleri desteklemek için kullanılan en popüler Endüstri 4.0 uygulamaları arasında olduğunu gösterilmektedir. Çalışmamızda üretim süreçlerinde Kanban'ın kullanımı ile büyük veri ve veri analitiği, IoT, siber güvenlik, ileri robotik teknolojilerin kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Çalışmamızda üretim süreçlerinde TVB'ın kullanımı ile büyük veri ve veri analitiği teknolojilerin kullanımı arasında orta düzeyde; IoT, ileri robotik ve siber güvenlik teknolojileri arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bulgular ile Marinelli vd. çalışması uyum sağlamış ve desteklenmiştir. Bu doğrultuda işletmelerde yalın üretim araçlarının kullanım düzeyinde artış olmasıyla yeni teknolojilerin benimsenme düzeyinin artması sonucunda ilişki seviyelerinde de artış meydana gelebilecektir.

Öğünç (2018), nesnelerin interneti uygulamalarının tam zamanında üretim sistemi üzerindeki etkisi üzerine yaptığı çalışmada IoT uygulamasının TZÜ sistemine nasıl

uyarlanabileceği hususuna ve hangi faydaları sağlayabileceğine değinilmiştir. Ayrıca araştırma sonucunda malzeme tedariki, makine bakımı, standartlaşma ve çalışanların performansı başta olmak üzere tüm bu sürecin aksamadan en verimli şekilde işleyebilmesi ise IoT sistemlerinin kullanılmasıyla daha olanaklı hale geleceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu kapsamda çalışmamız sonucunda elde edilen bulgulardan; işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinde nesnelerin internetinin kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden TZÜ yönteminin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu Ögünç'ün çalışması ile uyumlu bulunmuş ve çalışma desteklenmiştir.

Rossini vd. (2019) çalışmasında, Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ile yalın üretim arasındaki ilişkinin operasyonel performansın iyileştirme düzeyi üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Amaç doğrultusunda yalın üretim ve Endüstri 4.0 uygulayan Avrupalı üretici ile bir anket çalışması yapılmış olup 108 geçerli cevap elde edilmiştir. Elde edilen bulgular ile Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulamalarıyla oldukça ilişkili olduğunu anlayarak, AB üreticilerinden yöneticiler her iki yaklaşımın uygulanmasını daha iddialı bir şekilde ele alabilecekleri ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada Endüstri 4.0'ın daha yüksek seviyelerine ulaşmayı hedefleyen şirketlerin daha önce belirli bir düzeyde yalın uygulamaları uygulamış olmaları gerektiğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda çalışmamız bulgularında işletmelerin üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 kullanımı ile yalın üretim tekniklerinin kullanımı arasında ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu doğrultuda Rossini ve diğerleri'nin çalışması desteklenmiştir.

Pereira vd. literatür özetine yönelik Endüstri 4.0 Yalın Uygulamaları Nasıl Geliştirebilir? konulu çalışmasında büyük veri ve veri analitiği teknolojisinin değer akış haritalama yöntemine olumlu katkılarının olduğu savunulmuştur. Nesnelerin interneti teknolojisinin tam zamanında üretim uygulamasını kolaylaştırıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca 3D yazıcının, yalın düşünceye tüm faydaları ile tek parça akış konseptine mükemmel bir şekilde uyduğu için çok yalın dostu olarak anıldığından bahsedilmiştir. Bununla birlikte 3D yazıcının tam zamanında üretimi geliştirdiği ve tedarik süresini azalttığı ve lojistik verimliliği arttırdığına değinilmiştir. Çalışmamız sonucunda elde edilen bulgularda; işletmede üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinde büyük veri ve veri analitiği kullanımı ile yalın üretim tekniklerinden

değer akış haritalama yönteminin kullanımı arasında zayıf düzeyde; nesnelerin interneti teknolojisinin kullanımı ile tam zamanında üretim tekniğinin kullanımı arasında orta düzeyde, 3D yazıcıların kullanımı ile tek parça akış ve tam zamanında üretim yöntemi kullanımı arasında zayıf düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda çalışmamız Pereira ve diğerlerinin çalışmasını desteklemektedir.

Gerger'in (2019) Endüstri 4.0 üretim sürecinde süreç değişkenliğinin optimizasyonunda Heijunka yöntemi konulu çalışmasında tekli dakikalarda kalıp değiştirme (SMED) yönteminin Endüstri 4.0'ın yapay zekâ uygulamaları ile geliştirilerek saniyenin ondan biri düzeyinde gerçekleştirilmesinin sağlanacağı ifade edilmiştir. Çalışmamızda elde edilen bulgularda da yapay zekâ teknolojisinin kullanımı ile SMED yönteminin kullanımı arasında orta düzeyde pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki olduğu sonucu elde edilmiş olup Gerger'in çalışması desteklenmiştir.

Tripathi vd. (2022) Endüstri 4.0'da atölye yönetiminin daha temiz üretimi için yalın ve akıllı üretim kullanan sürdürülebilir bir metodolojiye yönelik çalışmasında radyo frekansı tanımlama teknolojisi ile yalın entegrasyon sonuçlarını iyileştirildiği ve toplam çalışma süresini %87 azalttığı ifade edilmiştir. Çalışmamız bulgularında üretim süreçlerinde Endüstri 4.0 üretim tekniklerinden RFID teknolojisi kullanımı ile yalın üretim tekniklerinin kullanımı arasında ilişki olduğu sonucu elde edilmiş olup bu kapsamda çalışma desteklenmiştir.

7. SONUÇLAR

Teknolojisinin günden güne hızla geliştiği günümüz koşullarında işletmelerin küresel boyutta rekabet edebilmeleri oldukça önemli bir hal almıştır. Birinci Sanayi Devriminden bu yana işletmeler gelişen teknolojilere uyum sağlamaya çalışmış ve pazardaki konumlarını koruyabilmek için üretim süreçlerini ve yapılarını bu doğrultuda iyileştirmiştir. Dördüncü Sanayi Devrimiyle birlikte teknolojinin ilerlemesinde yaşanan büyük sıçrayışların işletmelerin bu hıza ayak uydurmalarını zorlaştırmış olmasının yanı sıra kısa süreli adaptasyon süreci ile işletmeye büyük getiriler sunacağı bilinmektedir. Bu sebeple işletmelerin Endüstri 4.0 ve teknolojilerini en kısa sürede benimsemeleri ve üretim süreçlerine uyarlamaları gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, Endüstri 4.0 bileşenleri ile Yalın Üretim tekniklerinin ilişkisinin incelenmesi amacıyla bu konuda yetersiz çalışmaların olduğu Türkiye Savunma Sanayii Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren işletmelerde çalışan toplam 199 kişiye anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması “Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği” Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi ölçmek için geliştirilen ve geçerlik güvenirlik çalışması yapılan ölçek 5’li likert tipte, 12 maddeden oluşmaktadır. Ölçeğin yapısal geçerliği temel bileşenler analizi (TBA) ve doğrulayıcı faktör analizleri (DFA) ile değerlendirilmiştir. Veri setinin TBA için uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett’in küresellik testi ile analiz edilmiştir. KMO değeri (0,824) mükemmel (Meritorious) derecede örneklem yeterliliğini, Bartlett’in Küresellik testi sonuçları ($\chi^2 = 1176.056$, $df = 66$, $p < 0,001$) ise korelasyon matrisinin birim matristen anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir. Veri setine TBA uygulanmış Varimax döndürme yöntemi ile varyans açıklama oranı %68,582 olan 3 faktörlü bir yapı elde edilmiştir. İsrar Türleri boyutunu oluşturan 7 maddenin (Madde1-7) faktör yükleri (0.714-0.834), 3 maddelik (Madde8-10) Yalın Üretim İlkeleri boyutuna ait faktör yükleri (0.669-0.837) ve 4 maddelik (Madde11-12) Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutuna ait faktör yükleri ise (0.935-0.943) aralığında yer almıştır.

Yapısal geçerliğin ikinci aşamasında 3 faktörlü yapının veri setine uyumu AMOS 21.0 paket programı ile DFA yapılarak sorgulanmıştır. Parametre tahmin metodu olarak En Çok Olabilirlik (EÇO) kullanılmıştır. İsrar Türleri, Yalın Üretim İlkeleri ve Endüstri

4.0 ile Yalın Üretim İlişkisi boyutlarını oluşturan maddelerin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Analiz sonucunda elde edilen Ki-kare test istatistiği değerlerine ($\chi^2(48) = 78,460$, $p = 0,004$) göre model ile veri uyumu görülmemiştir. Normlaştırılmış ki-kare/serbestlik değeri ($0 \leq 1,635 \leq 2$), CFI (0,973) ve TLI (0,963) uyum iyiliği indeks değerleri iyi uyumu, GFI (0,942) ve RMSEA (0,057) değerleri ise kabul edilebilir uyumu göstermiştir. Ölçeğin faktör yüklerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indekslerinin gösterdiği kabul edilebilir ve iyi uyum düzeyleri 3 faktörlü modelin yapısal geçerliliğini desteklemiştir.

Ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; İsrâf Türleri boyutu için 0,820, Yalın Üretim İlkeleri 0,686 ve Endüstri 4.0 ve Yalın Üretim İlişkisi boyutu 0,911'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,822'dir. Bu sonuçlara göre "Yalın Üretim ve Endüstri 4.0 İlişki Ölçeği" nin geçerli ve güvenilir bir ölçüm aracı olduğu görülmüştür.

"Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği" çalışanların üretim teknikleri hakkındaki bilgilerini değerlendirmek için geliştirilen ve geçerlik güvenirlik çalışması yapılan ölçek 5'li likert tipte, 26 maddeden oluşmaktadır. Ölçeğin yapısal geçerliği temel bileşenler analizi (TBA) ve doğrulayıcı faktör analizleri (DFA) ile değerlendirilmiştir. Veri setinin TBA için uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett'in küresellik testi ile analiz edilmiştir. KMO değeri (0,890) mükemmel (Meritorious) derecede örneklem yeterliliğini, Bartlett'in Küresellik testi sonuçları ($\chi^2 = 2181,7$, $df = 325$, $p < 0,001$) ise korelasyon matrisinin birim matrsten anlamlı derecede farklı olduğunu göstermiştir. Veri setine TBA uygulanmış Promin eğik döndürme yöntemi ile varyans açıklama oranı %60,709 olan 2 faktörlü bir yapı elde edilmiştir. 14 maddelik Yalın Üretim Tekniği boyutuna ait faktör yükleri (0.480-0.954) ve 12 maddelik Endüstri 4.0 Araçları boyutuna ait faktör yükleri (0.555-0.919) aralığında yer almıştır. Yapısal geçerliğin ikinci aşamasında 2 boyutlu yapının veri seti ile uyumu Mplus (Version 6.12) paket programı kullanılarak DFA ile sınanmıştır. Parametre tahmin metodu olarak Muthén (1993) tarafından geliştirilen ortalama ve varyans düzeltmeli (weighted least squares mean and variance adjusted estimator, WLSMV) kullanılmıştır. Yalın Üretim Tekniği boyutunu oluşturan 14 maddenin ve Endüstri 4.0 Araçları boyutunu oluşturan 12 maddenin standart olmayan faktör yükleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Analiz sonucunda elde edilen Ki-

kare test istatistiği değerlerine ($\chi^2(294)=828,650$, $p<0,001$) göre model ile veri uyumu görülmemiştir. Normlaştırılmış ki-kare/serbestlik değeri ($2 \leq 2,818 \leq 5$), CFI (0,920) ve TLI (0,963) uyum iyiliği indeks değerleri kabul edilebilir uyumu göstermiştir. Ölçeğin faktör yüklerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indekslerinin gösterdiği kabul edilebilir ve iyi uyum düzeyleri 2 faktörlü modelin yapısal geçerliliğini desteklemiştir. Ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; Yalın Üretim Tekniği boyutu için 0,927, ve Endüstri 4.0 Araçları boyutu için 0,915'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,943'tür. Bu sonuçlara göre "Yalın ve Endüstri 4.0 Üretim Teknikleri Değerlendirme Ölçeği"nin geçerli ve güvenilir bir ölçüm aracı olduğu görülmüştür.

Savunma Sanayiinde Elektro-Optik alanında faaliyet gösteren ve yalın üretim sistemi ile Endüstri 4.0 araçlarının kullanma potansiyeli yüksek işletmelere yapılan anket çalışmasında katılımcılarının çoğunluğunu üretim ve proje yönetiminde görev alan personel oluşturmaktadır. Çalışmada bu alanda çalışan personelin (%71,8'ini) teknisyen ve mühendistir. Araştırmada katılımcıların 138'nin yalın üretim sistemi ve teknikleri hakkında bilgi sahibi olduğu görülmüştür. Ayrıca uygulama yapılan işletmelerde çoğunluğu yalın üretim tekniklerinin 5 yıldan az kullanıldığını ifade etmiştir. Bunun yanı sıra işletmede çalışanların 103 kişi (%51,8'i) Endüstri 4.0 ve teknolojileri hakkında bilgi sahibi olduğunu belirtmiş ve bu kişilerden sadece 12'si Endüstri 4.0'a yönelik danışmanlık hizmeti aldığı görülmüştür. Diğer bir taraftan bulgular neticesinde Endüstri 4.0 ve araçları ile Yalın Üretim Teknikleri arasında ilişki olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Ayrıca israf türleri ile Yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçları arasında negatif yönlü istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunduğu görülmüştür.

Aynı zamanda araştırmada bulgularında, Endüstri 4.0 araçları ile yalın üretim teknikleri arasında ilişki bulunduğu ve işletmelerin üretim süreçlerinde bu araç ve tekniklerin kullanımının arttırılması sonucunda elde edilen ilişki düzeyinden daha kuvvetli bir ilişki seviyesine ulaşılabilceği görülmüştür. Üretim süreçlerinde meydana gelen israfların azaltılması için ise yalın üretim teknikleri ve Endüstri 4.0 araçlarının kullanımının sağlanması ve kullanım sıklığının artırılarak işletmenin geneline yaygınlaştırılması gerektiği belirlenmiştir.

Savunma sanayi alanı ülkelerin ekonomik kalkınma potansiyeli açısından önemli bir etkiye sahiptir. Savunma sanayi ekonomide bulunan diğer sektörler ile güçlü bağlantıları olan bir sektördür. Günümüzde savunma sanayiinde üstünlüğü bulunan ülkelerin çoğunluğunun teknolojik açıdan üstünlüğü olan gelişmiş ülkelere meydana geldiği görülmektedir. Bu sebeple Türkiye başta olmak üzere gelişmekte olan ülkelerin savunma sanayi sektörünün önemli bir alanı olan Elektro-Optik alanında üstünlüğe sahip olabilmesi ve dışa bağımlılığını azaltabilmesi için bu alanda faaliyet gösteren işletmelerin yalın üretim sistemini benimseyerek üretim süreçlerinde meydana gelebilecek israfları ortadan kaldırması ve sürekli iyileştirmeyi sağlaması gerekmektedir. Aynı zamanda hızla değişkenlik gösteren rekabet ortamında bulunabilmek ve üstünlük sağlamak için işletmelerin üretim süreçlerinde yalın üretimin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması ile birlikte kısa zamanda Endüstri 4.0 ve araçlarına yönelik bilgi düzeyinin artırılarak kullanılması yönünde çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acar, D., Ömürbek, N., & Eroğlu, H. (2006). Tam Zamanında Üretim Sisteminin Tekstil Sektöründeki Uygulama Boyutları. Samsun: Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, s.49.
- Adalı, M. R., Kiraz, A., Akyüz, U., & Halk, B. (2017). Yalın üretime geçiş sürecinde değer akış haritalama tekniğinin kullanılması: Büyük ölçekli bir traktör işletmesinde uygulama. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s.242-251.
- Aguilar-Escobar, V. G., Bourque, S., & Godino-Gallego, N. (2015). Hospital kanban system implementation: Evaluating satisfaction of nursing personnel. Investigaciones Europeas de Direccion y Economia de la Empresa, s.101-110.
- Ahuja, I. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. International Journal of Quality & Reliability Management, 709-756.
- Akarsu, B. (2019). Bir otomotiv firmasında yalın üretim odaklı montaj hattı iyileştirme çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi, s.21.
- Akgeyik, T. (1998). Stratejik Üretim Yönetimi. Sistem Yayıncılık.
- Al-Badi, A., Tarhini, A., & Khan, A. (2018). Exploring big data governance frameworks. Procedia Computer Science, s.271-277.
- Allen, J., Robinson, C., & Stewart, D. (2001). Society of Manufacturing Engineering press. Lean Manufacturing : A Plant Floor Guide (s. 174-175). USA: Dearborn, Michigan.
- Altın, E., & Demirel, S. (2016). Kızıl ötesi sensörlerin sağlık alanındaki uygulamaları. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 4(2), s.1-16.
- Amellal, H., Meslouhi, A., & Allati, A. (2019). Secure Bid Data using QKD protocols. Procedia Computer Science, 148, s.21-29.
- Andon, B. (2003). Bir Otomotiv Yan Sanayi Fabrikasında Andon Sistemi ve Uygulaması, Andon System Application In Automotive Supply Industry. 13. Üretim Araştırmaları Sempozyumu Sürdürülebilir Yenilikçi Üretim ve Hizmet Stratejileri, (s. 186-192). Sakarya.
- Ansal, H. (1994). Kapitalist Üretim Esneklik kazanıyor: Postfordizm. İktisat Dergisi, C. (346), 28-36.
- Ardito, L., Petruzzelli, A., Panniello, U., & Garavelli, A. (2019). Towards Industry 4.0. . Business Process Management Journal.
- Arslan, S. (2008). Yalın Üretim ve MAN Türkiye A.Ş.'de Örnek Bir Yalın Üretim Uygulaması. s. 3-18.
- Arslandere, D. M., & Tekin, P. M. (2017). Üretimde Hata Önleme Aracı Olarak Poka-Yoke Sistemi ve Bir Uygulama Örneği. Kesit Akademi Dergisi, 345.
- Arslandere, M. (2017). Yalın Üretime Geçiş Çalışmaları; Değer Akış Haritalama, Bireysel Öneri Sistemi, Kaizen Çalışmaları: Büyük Ölçekli Firmalarda Uygulamalar, s. 8-25.
- Arslandere, M. (2018). Yalın üretim ve yalın üretime geçiş çalışmaları: büyük ölçekli gıda firmalarında uygulamalar. Eğitim Yayınevi.
- Ashton, K. (2009). That "Internet of Things" thing. RFID Journal.
- Aslantaş, T. (2014). Yalın Üretim Felsefesi, Yöntemleri ve Kanban Tekniğinin Otomotiv Sektörüne Uygulanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ankara.

- Atak, G. (2018). Impact factors and current issues on technology development for industry 4.0 transformation in technopark companies: the case of Turkey (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Ayçın, E. (2016). Yalın Üretim Uygulamalarında İsrafin Azaltılması ile Performans Ölçütleri Arasındaki İlişkilerin ve Etkileşimin Analizi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı İşletme Programı Doktora Tezi.
- Aydemir, N. (1995). Rekabet Stratejileri ve Yalın Üretimin Zaferi. ISO Dergisi, 75.
- Aykül, M. K. (2018). Yalın Üretim Kapsamında Soğuk Gıda Lojistiği Uygulanan Bir Gıda Üretim Tesisinde Değer Akış Analizi Uygulaması. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2022). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. International Journal of Production Economics, s.231.
- Bahrin, M., Othman, M., Azli, N., & Talib, M. (2016). Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. Journal Teknologi (Sciences&Engineering), s.137-143.
- Bakanlığı, T. K. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Sanayide Dijitalleşme Çalışma Grubu Raporu.
- Balcı, C. (2018). Siparişe göre üretim yapan sistemlerde yalın üretim: Konya sanayisi üzerinde bir araştırma (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Banger, G. (2017a). Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme (1. Baskı). Ankara: Dorlion Yayınları.
- Banger, G. (2017b). Endüstri 4.0 Ekstra. Ankara: Dorlion Yayınları.
- Bartodziej, C. (2017). The concept industry 4.0. In The concept industry 4.0 (s. 27-50). Wiesbaden: Springer Gabler.
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of industrie 4.0 in lean manufacturing learning factories. Procedia Manufacturing, 23, s.147-152.
- Bentler, P. M., Chou C. H. (1987). Practical issues in structural modeling. Sociological Methods & Research, 16: s. 78-117.
- Berksun, E. (2018). Sanayide Endüstri 4.0 Süreçleri: Çorum Sanayisinde Bir Uygulama. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Bernard, R., Mattice, L., & Wright, D. (2008). Lean Security: Applying Lean Manufacturing Principles to Security is Part of Continual Improvement at Baxter Cherry Hill. Securit Technology & Design, s.32-36.
- Beyca, Ö. (2018). Additive Manufacturing Technologies and Applications . Industry 4.0: Managing The Digital Transformation Ed. by. Alp Üstündağ ve Emre Çevikcan (s. 217-234). Switzerland: Springer International Publishing.
- Bhatt, H., & Glover, B. (2006). RFID Essentials. O'Reilly Publishing.
- Bilgin, O. (2018). Dördüncü sanayi devrimi ve Türkiye ekonomisi: Ulusal yenilik sistemi çerçevesinde bir inceleme (Master's thesis, Kırıkkale Üniversitesi).s.44-46
- Birgün, S., Gülen, K. G., & Özkan, K. (2006). Yalın üretime geçiş sürecinde değer akışı haritalama tekniğinin kullanılması: İmalat sektöründe bir uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s.47-59.
- Bodek, N. (2004). Kaikaku: The Power and Magic of Lean: A Study in Knowledge. PCS Press.

- Boomsma, A. (1983). On the robustness of LISREL (maximum likelihood estimation) against small sample size and non-normality. Dissertaion, Groningen: s.n.
- Boston Conculting Group. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi. İstanbul
- Brinker, B. (1996). Handbook of Cost Management. Lamond, New York: Warren Gorhan.
- Brown, D. (2007). RFID Implementation. New York: McGraw-Hill Comp.
- Brown, T. A. (2015). Confirmatory factor analysis for applied research (2nd ed.). The Guilford Press.
- Brunet, A. P., & New, S. (2003). Kaizen in Japan: An Empirical Study. International Journal of Operations & Production Management, s.1426-1446.
- BSG, T. (Aralık, 2017). Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği Raporu. Yayın No: TÜSİAD-T/2017, 12-589.
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. International Journal of Production Research, 56(8), 2924-2940.
- Buer, S.-V., Semini, M., Strandhagen, J., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. International Journal of Production Research, 1976-1992.
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi (7), s.50-70.
- Bulut, S. (2012). Beyaz Eşya Yan Sanayi Sektöründe ERP ve Yalın Üretim Olgunluğu Analizi ve Otomotiv Yan Sanayi ile Kıyaslama. İTÜ Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Cattell, R. B.(1966) The Scree Test For The Number Of Factors, Multivariate Behavioral Research, 1:2, 245-276
- Chen, J., & Chen, K. M. (2014). Application of ORFPM System for Lean Implementation: An Industrial Case Study. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 72 (5-8), 839-582.
- Chen, T., & Lin, Y. C. (2017). Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review. International Journal of Intelligent Systems 32 (4), 394-413.
- Christer, K., & Ahlström, P. (1996). Assessing Changes toward Lean Production . International Journal of Operation & Productions Management, s. 24-41.
- Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. International journal of production research, 59(5), 1386-1410.
- Corporation, L. E. (2008). Lean Lexicon. 5 dü. Cambridge: Lean Enterprise Institute Yayınları.
- Crawford, K., & Cox, J. (1991). Addressing Manufacturing Problems Through the Implementation of Just-In-Time. Production and Inventory Management Journal, First Quarter, s.33-36.
- Crowley, G. R., & Sobel, R. S. (2010). Adam Smith: managerial insights from the father of economics. Journal of Management History. s. 504-508
- Ćwiklicki, M., & Obora, H. (2011). Hoshin kanri: policy management in Japanese subsidiaries based in Poland. Management and Education, 9(2), 216-235.
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve Simülasyon. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, s. 9-26.

- Çelik, H. E. ve Yılmaz, V. (2016). LISREL 9.1 ile Yapısal Eşitlik Modellemesi: Temel Kavramlar-Uygulamalar-Programlama.“3. Baskı”, Ankara. Anı Yayıncılık
- Çelik, T. (2020). Endüstri 4.0'ın Rekabet Stratejileri ve Pazar Performansı İlişkisindeki Aracı Rolü: Gaziantep Makine Halısı Üreticileri Örneği. Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi.
- Çelikçapa, F. O. (2000). Üretim Yönetim ve Teknikleri (3. Baskı) (s. 265). İstanbul: Alfa Yayınevi.
- Çeliktaş, M., Sonlu, G., Özgel, S., & Atalay, Y. (2015). Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası. Mühendis ve Makina Dergisi, s.24-34.
- Çiçek, H. (2021). Dördüncü Sanayi Devrimi ve Türkiye. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, s.32-34.
- Dawson, R. (1962). Simulation in the social sciences. In Simulation in Social Science: Readings, ed. H. Guetzkow. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Demirer, Ö., & Cindiloğlu Demirer, M. (2019). Endüstriyel Devrimler Tarihsel Bir Perspektif, 1. Basım. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Demirezen, B. (2019). Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Turizm Sektöründe Kullanılabilirliği Üzerine Bir Literatür Taraması. Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi, s.4-5.
- Demirkol, İ., & Özcan, S. (2018). Endüstri 4.0 ve Çağrı Merkezi Hizmetlerini Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma. Sakarya Üniversitesi İşletme Bilimi Dergisi, s.273-294.
- Digra, M., & Sharma, A. (2014). To Find Out the Present Barriers in Achieving Single Minute Exchange of Die in Hand Tool Industries. MIT International Journal of Mechanical Engineering, s.85-89.
- Dobretsberger J.(1940). Ekonomi Siyaseti, Türkçesi: İlteber A.H., 193, İÜ Yayınları, Yayın No: 109, İstanbul.
- Doğan, N., Ö. (2011). Sağlık Sektöründe Etkinliğin İyileştirilmesi: Bir Yalın Üretim Uygulaması., s. 7-9.
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of industrie 4.0 & lean production systems: a use cases Analysis. Procedia Manufacturing, 11, s.1061-1068.
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, s.95-102.
- Ertuğrul, İ., Özveri, O., & Gündoğan , A. (2013). Yalın Üretim Sisteminin Tekstil Sanayinde Uygulanabilirliği. KAU İİBF Dergisi, s.15-32.
- Eşme, S., & İlhan, E. (2003). Toplam Verimli Yönetim Anlayışı ile Ekipman-Verimliliğinin Arttırılması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi, s.236-240.
- Field, A. (2013) Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics: And Sex and Drugs and Rock “N” Roll, 4th Edition, Sage, Los Angeles, London, New Delhi.
- Finkenzeller, K. (2003). RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Florescu, A., & Barabas, S. (2022). Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0. Applied Sciences, 12(10), s.1-26
- Frazier, W. (2014). Metal Additive Manufacturing: A Review. Journal of Materials Engineering and Performance 23(6), s.1917-1928.

- Gabaçlı, N., & Uzunöz, M. (2017). IV. Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Otomotiv Sektörü. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt:2 Ekonomik Araştırmalar, (s. 149-174).
- Gahi, Y., Guennoun, M., & Mouftah, H. (2016). Big data analytics: security and privacy challenges. 2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), (s. 952-957). Messina, Italy.
- Genç, K., Metin, Ç., Cevdet, Ö., & Gökhan, K. (2019). Sanayi Devrimleri (1 b). Gece Akademi Yayınları Ankara.
- Gerbert, P., Lorenz, M., Russmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_f
- Gerger, A. (2019). Endüstri 4.0 Üretim Sürecinde Süreç Değişkenliğinin Optimizasyonunda Heijunka Yöntemi. İzmir Democracy University Social Sciences Journal, 1-17.
- Global Industry 4.0 Market Report. (2022). Global Industry 4.0 Market Size, Share & Industry Trends Analysis Report by Technology, Regional Outlook and Forecast, 2022-2028. Marqual IT Solutions Pvt. Ltd (KBV Research)
- Godina, R., Pimentel, C., Silva, F., & Matias, J. (2018). A structural literature review of the single minute exchange of die: The latest trends. Procedia Manufacturing, s.783-790.
- Goertzel, B., & Pennachin, C. (1998). Artificial General Intelligence. USA: Springer.
- Gornicki, B. (2014, Haziran). A better way of production: small-batch and one-piece-flow. Industrial Heating, s. 35.
- Gökşen, Y. (2003). Geleneksel Üretimden Esnek Üretime: Karşılaştırmalı Bir İnceleme. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, s.32-48.
- Görçün, Ö. (2016). "Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0". Beta Yayınevi.
- Görener, A., & Yenen, V. Z. (2007). İşletmelerde Toplam Verimli Bakım Çalışmaları Kapsamında Yapılan Faaliyetler ve Verimliliğe Katkıları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s.47-63.
- Gündüz, M., Alakbarov, N., & Erkan, B. (2018). Türkiye’de ekonomik büyümenin belirleyicisi olarak toplam faktör verimliliği. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (57), 253-270.
- Güngör, F. (2003). KALite Yönetim Sisteminde Poka-Yoke Tekniği. III.Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu. İstanbul.
- Gürsakar, N. (2017). Büyük Veri 3. Basım. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Gürsoy, Ö. (2020). Yalın Üretim Sisteminde Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Uygulamaları İle Süreç İyileştirme Analizi: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Aydın: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Haefner, B., Kraemer, A., Stauss, T., & Lanza, G. (2014). Quality value stream mapping. Procedia College International por la Recherche en Productique, s. 254-259.
- Hakansson, J., Skoog, E., & Eriksson, K. (2018). A review of assembly line balancing and sequencing including line layouts. University west Department of Engineering Science.
- Hartwell, R. (2005). İngiltere’de Sanayi Devriminin Nedenleri. Piyasa Dergisi, 5-16.

- Hayes, R. H., & Pisano, G. P. (1994). Beyond World Class- The New Manufacturing Strategy. Harward Business Review, 77-86.
- Hiranabe, K. (2008). Kanban Applied To Software Development: From Agile To Lean. InfoQ.
- Harvey, D. (2012). Postmodernliğin Durumu, Çeviren: Sungur Savran, 6. Baskı, İstanbul.
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in industry, 89, s.23-34.
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2018). Digital Lean Production An Approach to Identify Potentials for the Migration to a Digitalized Production System in SMEs from a Lean Perspective. Procedia Cirp, 67, 522-527.
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. Psychometrika, 30(2): s.179-185.
- Huang, S. H., & v.d. (2022). Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1191-1203.
- Hüttmeir, A., Treville, S., Ackere, A., Monnier, L., & Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. International Journal of Production Economics, s.501-507.
- İçten, T., & Bal, G. (2017). Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(2), s.111-136.
- Imai, M. (2012). Gemba Kaizen: A Commonsense Approach tp a Continuous Improvement Strategy. New York: McGraw Hill Professional.
- Isaacson, W. (2017). Geleceği Keşfedenler- Dijital Çağın Biyografisi (Çev. D. Dalgakıran) (1. Baskı). Domingo.
- İnan, E. (2019). Endüstri 4.0 vizyonunun üretim süreçlerinde getireceği verimlilik. İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yüksek Lisans Tezi.
- İnce, U. (2018). Tekstil sektöründe değer akışı haritalama uygulaması ve yalın üretim anlayışı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: T.C. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İnternet: Andon Industrial Production Line Monitoring System. (2005-2011). <http://www.andon.pl/>, Erişim Tarihi: 06.05.2022
- İnternet: Ateş, C. (2021). Mühendis Beyinler. <https://www.muhandisbeyinler.net/nesnelerin-interneti-iot-nedir/>, Erişim Tarihi: 01.02.2022
- İnternet: Bıçakçı, S. (2018). Bulut Bilişim Nedir? . <https://www.sanayinindijitaldonusumu.com/bulut-bilisim-nedir/>, Erişim Tarihi: 07.08.2022
- İnternet: Bulut, C. (2017). Bulut Bilişim (Cloud Computing) Nedir?. <https://www.endustri40.com/bulut-bilisim-cloud-computing-nedir/>, Erişim Tarihi: 01.03.2022
- İnternet: Büyük Veri Analitiği. IBM: <https://www.ibm.com/tr-tr/analytics/hadoop/big-data-analytics>, Erişim Tarihi: 11.01.2022
- İnternet: Controlengueurope. (2022). <https://www.controlengueurope.com/>, Erişim Tarihi: 05.07.2022

- İmetmet: Çelikliay, G. (2012). Toyota Üretim Sistemi'nin 10 Duayeni. Yalın Enstitü geleceğe 'değer' katar. <https://www.lean.org.tr/toyota-uretim-sisteminin-10-duayeni-2/>, Erişim Tarihi: 03.04.2020
- İnternet: Dal, C. Kanban ve çekme sistemi. LeanACADEMY: <https://www.leanacademy.com.tr/kanban-cekme-sistemi/335-tek-parca-akisi-yararlari.html>, Erişim Tarihi: 08.10.2022
- İnternet: Definition of cybersecurity. (2021). <https://www.itu.int/en/ITUT/studygroups/com17/Pages/cybersecurity.aspx>, Erişim Tarihi: 01.04.2022
- İnternet: Dijital Dönüşüm. (2018). <https://infooloji.com/wp-content/uploads/2018/03/2-dijital-donusum.pdf>, Erişim Tarihi: 09.10.2021
- İnternet: Docplayer. Tam Zamanında Üretim (JIT). <https://docplayer.biz.tr/406628-Tam-zamaninda-uretim-jit.html>, Erişim Tarihi: 10.09.2022
- İnternet: Elektrikde. (2018). Sensör nedir? Sensörlerin kullanım alanlarına göre çeşitleri. www.elektrikde.com/sensor-nedir-sensorlerin-kullanim-alanlarina-gore-cesitleri, Erişim Tarihi: 05.10.2021
- İnternet: Endüstri 4.0. (2022). <https://www.endustri40.com/endustri-4-0da-sensorlerin-onemi/> ertugrulumuyesseroglu.com/marka-sehir-yonetimi-icin-big-datanin-onemi/, Erişim Tarihi: 07.10.2022
- İnternet: <https://elektrikinfo.com/james-wattin-hayati/>, Erişim Tarihi: 05.06.2022
- İnternet: <https://www.history.com/topics/inventions/cotton-gin-and-eli-whitney>, Erişim Tarihi: 05.09.2022
- İnternet: Endüstri 4.0. (2018). <https://www.endustri40.com>, Erişim Tarihi: 09.08.2021
- İnternet: Huth, A., & Cebula, J. (2011). The Basis of Cloud Computing. <https://www.cisa.gov/uscert/sites/default/files/publications/CloudComputingHuthCebula.pdf>, Erişim Tarihi: 03.03.2022
- İnternet: IFR International Federation of Robotics. <https://ifr.org/industrial-robots>, Erişim Tarihi: 07.05.2022
- İnternet: İlhan, R. Eklemeli İmalat ve Eklemeli İmlat Yöntemleri. Otonom Fabrika: https://www.otonomfabrika.com/katmanli-imalat-uretim-nedir/#2_Eklemeli_Imalat_Teknolojisinin_Avantajlari_ve_Dezavantajlari, Erişim Tarihi: 02.11.2020
- İnternet: Kaizen Atölyesi, <https://kaizenatolyesi.com.tr/anasayfa/egitimler-atolye-calismalari/deger-akis-haritalama/>, Erişim Tarihi: 08.10.2022
- İnternet: Makine Eğitimi. Dokumacılık Tarihi, Dokumacılığın Tarihçesi. www.makinaegitimi.com/dokumacilik-tarihi/, Erişim Tarihi: 05.10.2022
- İnternet: Müyesseroğlu, E. ertugrulumuyesseroglu.com/marka-sehir-yonetimi-icin-big-datanin-onemi/, Erişim Tarihi: 07.10.2022
- İnternet: “Sanayi 4.0.” EBSO Araştırma Müdürlüğü, Ege Bölgesi Sanayi Odası. (2015). http://www.ebso.org.tr/Ebsomedia/Documents/Sanayi-40_88510761.Pdf, Erişim Tarihi: 05.10.2021
- İnternet: Ovayolu, H. Tmmob makina mühendisleri odası. Sanayimizi Endüstri 4.0'a Hazırlamalıyız: www.mmo.org.tr/gaziantep/yazili-basinda/sanayimizi-endustri-40a-hazirlamaliyiz, Erişim Tarihi: 05.09.2022
- İnternet: PNGegg, “Horizontal integration Industry 4.0 Architecture Vertical integration Strategic planning, Independence And Unity Day”. <https://www.pngegg.com/en/png-hjfpn>, Erişim Tarihi: 07.10.2022

- İnternet: Schuldenfrei, M. Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0. <https://www.mbtmag.com/business-intelligence/article/13251083/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-40>, Erişim Tarihi: 05.08.2022
- İnternet: Wawak, S. Jidoka, CEOpedia Management Online. <https://ceopedia.org/index.php/Jidoka>, Erişim Tarihi: 08.10.2022
- İnternet: Werma. (2022). www.werma.com, Erişim Tarihi: 04.02.2022
- İnternet: Yapay Zekâ ve Kullanım Alanları. www.yapayzekatr.com/2020/01/06/yapay-zeka-ve-kullanim-alanlari/, Erişim Tarihi: 06.01.2022
- İnternet: Yazıcı, A. (2016). Endüstri 4.0 ve Otonom Robotlar. http://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e_ek.pdf?dergi=1069/, Erişim Tarihi: 05.08.2022
- İnternet: TUZZit. Canvas Creator Sakıçlı Toyoda. https://www.tuzzit.com/en/creator/sakichi_toyoda, Erişim Tarihi: 01.05.2022
- Jensen, M. (1993). The Modern Industrial Revolution, Exit, and the Failure of Internal Control System. *The Journal of Finance*, s. 831-880.
- Johnson, R. (2015). "Cyber Risk". A Joint Hull Committee paper in conjunction with Stephenson Harwood.
- Jones, P., Clarke-Hill, C., Shears, P., Comfort, D., & Hillier, D. (2004). Radio Frequency Identification in the UK: Opportunities and Challenges. *International Journal of Retail & Distribution Management* Vol.32 No.3, s.164-171.
- Juban, R., & Wyld, D. (2004). Would You Like Chips with that?: Consumer Perspectives of RFID. *Management Research News* Vol.27 No.11/12, s.29-44.
- Juels, A. (2006). RFID security and privacy: A research survey. *IEEE journal on selected areas in communications*, 24(2), s.381-394.
- Kablan, A. (2018). Endüstri 4.0, "Nesnelerin İnterneti" Akıllı İşletmeleri ve Muhasebe Denetimi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi (Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), s.1561-1579.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, s.32-36.
- Kasa, H., & Arslan, G. (Ekim 2020). Endüstri 4.0 Kapsamında Teorik Bir Analiz: Türkiye Örneği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi* Cilt.19, Sayı.76, s.1810-1814.
- Kahraman, F. (2017). Çalışma ilişkileri bakımından dördüncü sanayi devrimi ve Sivas ilinde farkındalık üzerine alan araştırması. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.s.59
- Kemmer, S. L., Saraiva, M. A., Heineck, L. M., Pacheco, A. L., Novaes, M. V., Muraio, C., & Moreira, L. (2006). The use of andon in high rise building. *Proceedings International Group for Lean Construction*, s.575-581.
- Kennedy, F. A., & Brewer, P. C. (2006). The lean enterprise and traditional accounting--Is the honeymoon over? *The Journal of Corporate Accounting&Finance*, s. 63-74.
- Kennedy, F., & Brewer, P. (2005). Lean Accounting What's It All About? *Strategic Finance*, 27-34.
- Keser, A. (2012). Teknoloji ve Çalışma Hayatı. Z. Sungur (Ed.), İçinde Çalışma Sosyolojisi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.s.90-115
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017). Big Data Challenges and Opportunities in the Hype of Industry 4.0. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7996801>, 2 Ekim 2020.

- Kılıç, A. (2014). Yalın Üretimin Gıda Sektöründe Uygulanabilirliği: Gaziantep ve Kahramanmaraş İllerinde Bir Araştırma. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kilpatrick, J. (2003). Lean Principles. Utah Manufacturing Extension Partnership, s.1-5.
- Klaus, H., Rosemann, M., Gable, Guy G. (2000). "What is ERP?". Information Systems Frontiers Sayı.2, No.2. s.141-162
- Kline, R. B. (2016). Principles and practice of structural equation modeling (4th ed.). Guilford Press.
- Kobu, B. (2006). Üretim Yönetimi. BETA Yayınları.
- Koçak, C. (2019). Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Bir Cam Ambalaj Fabrikasında Uygulanması. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Koçak, D., Çokluk, Ö. & Kayri, M. (2016). Faktör Sayısının Belirlenmesinde MAP Testi, Paralel Analiz, K1 ve Yamaç Birikinti Grafiği Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13 (1), s. 330-359
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies (s. 1870-1875.). IFAC-PapersOnLine, 48(3).
- Koşan, L. (2014). Muhasebe Eğitiminde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 18(2).
- KPMG. (2021). Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021. Dijital Türkiye Platformu.
- Kumar, R., Dwivedi, R., & Verma, A. (2016). Poka-Yoke technique, methodology & design. Indian Journal of Engineering, 362-370.
- Kuşçu, E. (2015). Çeviride Yapay Zekâ Uygulamaları. Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi (30), 46.
- Lahiri, S. (2006). RFID Sourcebook. Massachusetts: IBM Press.
- Laudon, K., & Laudon, J. P. (2014). Management Information Systems, Upper Saddle River: Pearson. Harlow: Global Edition.
- Liker, J. K. (1997). Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Productivity Press.
- Liker, J., & Meier, D. (2006). The Toyota Way, McGraw Hill E-Books s. 43-180. USA Newyork.
- Liker, K. J. (2004). The Toyota Way/14 Management Principles From The Worlds Greatest Manufacturer. McGraw-Hill USA.
- Liker, K. J. (2005). Toyota Tarzı 14 Yönetim İlkesi (Ümit Şensoy (çev.). İstanbul: Holding Yayınları.
- Liker, J. K. (2012). Toyota Tarzı (çev.: Ümit Şensoy). Optimist Yayınları, İstanbul.
- Liker, J. K. & Hoseus, M., (2015). Toyota Kültürü. Çev. Kıvanç Tanrıyar, Optimist Yayınları, İstanbul.
- Livingston, M., Rosenblum, L., Brown, D., Schmidt, G., Julier, S., Baillot, Y., Maassel, P. (2011). User interface design for military ar applications. UK: Virtual Reality.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration, 6, 1-10.
- Lucci, S., & Kopec, D. (2016). Artificial Intelligence In 21st Century: A living Introduction (Second Edition). USA: Mercury Learning and Information.
- Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. B. (2017). SLAE-CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. Sensors 17 (7), 22.

- Man, F. (2013). Üretim Teknolojilerinin Bilgisayarlaşması ve Sonuçları. İçinde Yeni Teknolojiler ve Çalışma Hayatı. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları. s. 46-66
- Mansuri, A., & Rathore, P. (2014). Cloud Computing: A New Era in the Field of Information Technology Applications and its Services. American Journal of Information Systems.
- Manyika, J., Chui, M., & Brown, B. (2011). Büyük Veri: Yenilik, Rekabet ve Verimlilik için Sonraki Sınır. McKinsey Küresel Enstitüsü.
- Marinelli, M., Deshmukh, A., Janardhanan, M., & Nielsen, I. (2021). Lean manufacturing and Industry 4.0 combinative application:. IFAC PapersOnLine, 288-293.
- Markantonatou, M. (2007). The ideal-typical transition from Fordism to Post-Fordism: A neopositivist problem setting. s.119-129
- Market Research Report. (2022). Industry 4.0 Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Application (Industrial Automation, Smart Factory, and Industrial IoT), By Vertical (Manufacturing, Energy & Utilities, Automotive, Oil and Gas, Aerospace and Defense, Electronics and Consumer Goods, and Others), and Regional Forecast, 2022-2029. Fortune Business Insights.
- Martins, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F., & Matias, J. (2018). A practical study of the application of SMED to electron-beam machining in automotive industry. Procedia Manufacturing, s. 647-654.
- Mayr, A., Weigelt, M., Köhl, 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(1), s. 622-628
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5(4), s.115-133
- McKinsey&Company. (2015). Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey Digital.
- Mcnaair, C., Polutnik, L., & Silvi, R. (2006). "Customer-Driven Lean Cost Management" Cost Management.
- Meissner, D. (2017). A Design Manual.
- Metaverse Global Market Report. (2022). Global Market Trajectory & Analytic. Global Industry Analysts, Inc.
- Metin, S. (2019). İşletmelerin Dijital Dönüşüm (Endüstri 4.0) Farkındalık ve Algı Düzeyinin Değerlendirilmesi: Elazığ OSB Örneği. Doktora Tezi.
- Meydan, C. H. ve Şeşen H. (2015). Yapısal eşitlik modellemesi AMOS uygulamaları. (İkinci Baskı) Ankara: Detay Yayıncılık.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information Systems, 77 (12) s. 1321-1329
- Miltenburg, J. (2001). One-Piece Flow Manufacturing On U-Shaped Production Lines: A Tutorial. IIE Transactions.
- Mittal, S. (2018). Cloud Computing. International Journal of Academic Research and Development.
- Moktadir, M., Ali, S., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. Process Safety and Environmental Protection 117, s.730-741.

- Monden, Y. (1983). Toyota Production System: Practical Approach to Production Management. Norcross, Georgia: Industrial Engineering and Management Press.
- Monden, Y. (1994). "Applying Just in Time", University of Cambridge, Industrial Engineering and Management Technology Policy. s. 15-204.
- Monden, Y. (1998). Toyota Production System - An Integrated Approach to Just-in-Time. Dordrecht: 3rd ed. Kluwer.
- Monks, J. G. (2001). İşlemler Yönetimi, Teori ve Problemler. İstanbul: Nobel Yayınları, s. 2
- Mor, R. S., Bhardwaj, A., Singh, S., & Sachdeva, A. (2018). Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company. Journal of Manufacturing Technology, s. 876-940.
- Morlock, F., & Meier, H. (2015). Service value stream mapping in industrial product-service system performance management. Procedia College International pour la Recherche en Productique.
- Muhuri, P., Shukla, A., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. Engineering applications of artificial intelligence, s.218-235.
- Muthén, B. O. (1993). Goodness of Fit with Categorical and Other Non-Normal Variables. In K. A. Bollen, & J. S. Long (Eds.), Testing Structural Equation Models "s. 205-243". Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Muthén, L. K., Muthén B. O. (1998-2011). Mplus 6.12 programı.
- Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N., & Hayati, N. (tarih yok). Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia - Case Study. Procedia Engineering.
- Noorani, R. (2006). Rapid prototyping: principles and applications. John Wiley & Sons.
- Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). Psychometric theory (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill, Inc.
- Nuroğlu, E., & Nuroğlu, H. (2018). Endüstri 4.0'I Türkiye'nin Dış Ticareti İçin Bir Fırsat Pencerisine Dönüştürmek. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (16 Özel Sayı), s.329-346.
- Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large Scale Production. Cambridge: Productivity Press.
- Ohno, T. (1996). Toyota Üretim Sisteminin Doğuşu ve Evrimi. Toyota Ruhu (Canan Feyyat (çev.). Scala Yayınları. Ohno, T. (2017). Toyota Ruhu (Çev. Canan Feyyat). Scala Yayınları.
- Okur, A. S. (1997). 2000'li Yıllarda Sanayi İçin Yapılanma Modeli: Yalın Üretim. Söz Yayınları, s. 25-40.
- Orr, L. M., & Orr, D. J. (2014). Eliminating Waste in Business: Run Lean, Boost Profitability. Berkeley: Apress.
- Osborne, A. Costello, J. (2005) Best Practices in Exploratory Factor Analysis: Four Recommendations for Getting the Most From Your Analysis. Practical Assessment, Research & Evaluation, 10(7): s. 1-9.
- Oussous, A., Benjelloun, F., Lahcen, A., & Belfkih, S. (2018). Big Data technologies: A survey. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 30(4), s.431-448.

- Öcal, F. M., & Altıntaş, K. (2018). Dördüncü sanayi devriminin emek piyasaları üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi ve çözüm önerileri. *OPUS International Journal of Society Researches*, 8(15), 2064-2092.
- Öğünç, H. (2018). Nesnelerin İnterneti Uygulamalarının Tam Zamanında Üretim Sistemi Üzerindeki Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi- Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı*, s.1651-1673.
- Öksüz, M., Öner, M., & Öner, S. (2017). *Yalın Üretim Tekniklerinin Endüstri 4.0 Perspektifinden Değerlendirilmesi*. Uluslararası Bölgesel Kalkınma Konferansı.
- Özçelik, F., & Ertürk, H. (2010). Yalın Üretim İşletmeleri İçin Değer Akış Yönetim ve Değer Akış Maliyetlemesi. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, s.51-84.
- Özdağoğlu, A., & Rebiş, S. (2016). Applications of Kaizen and cycle time reduction as lean production techniques in a semi-flexible PVC film producer. *International Journal of Management Economics and Business*, s.25-37.
- Özdoğan, O. (2017). Endüstri 4.0 (s. 100). İstanbul: Pusula Yayınları.
- Özer, Ö., & Turhan, M. (2019). 4. Sanayi ve Enformasyon Toplumu Çerçevesinde Kamu Politikalarının Gelişimi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, s. 361-375.
- Özkan, A., & Esmeray, M. (2002). Bir Maliyet Kontrol Sşstemi Olarak JIT Üretim Sistemi ve Muhasebe Uygulamaları. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, s.129-146.
- Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S. (2018). Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye. *Marmara Üniversitesi Siyasal Bilimler Dergisi*, s.1-30.
- Palmarini, P., Erkoyuncu, J., Roy, R., Torabmostaedi, H., & Manufacturing, C. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance (49) s.215-228
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810-822.
- Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2017). Roadmap Industry 4.0–implementation guideline for enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 193-202.
- Petekci, A.R. (2021). Endüstri 4.0: Fırsat mı Tehlike mi? (2021). *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, s. 7-15.
- Pett, M.A., Lackey, N.R. Sullivan, J.J. (2003). *Making Sense of Factor Analysis: The Use of Factor Analysis for Instrument Development in Health Care Research*. United States of America: SAGE Publications, Inc. Editor: Robinson S.
- Pirim, H. (2006). Yapay Zekâ. *Journal of Yaşar Universty*, 1(1), s. 81-92.
- Rahman, N. A., & Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing case study with Kanban system implementation. *Procedia Economics and Finance*, s. 174-180.
- Rajkamal, R., & Rajenderan, P. (2015). Cloud Computing Technology. *International Journal of Engineering and Techniques*.
- Rauch, E., Dallasega, P., & Matt, D. T. (2016). The way from lean product development (LPD) to smart product development (SPD). *Procedia CIRP*, 50, 26-31.
- Rich, N., Bateman, N., & Esain, A. (2006). *Lean Evolution: Lessons from the Workplace*. New York: Cambridge University Press.

- Rifkin, J. (2014). "Üçüncü Sanayi Devrimi: Yanal Güç, Enerjiyi, Ekonomiye ve Dünyayı Dönüştürüyor" (Çev. Sıral, P., Başekim, M.). İletişim Yayınları.
- Rodic, B. (2017). Endüstri 4.0 ve Yeni Simülasyon Modelleme Paradigması. De Guyter,3, s. 193-207.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. International Journal of Production Research, 58(6), 1644-1661.
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, s. 3963–3976.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). The Lean Enterprise Institute. Görmeyi Öğrenmek, Değer Yaratmak ve İsrafi Ortadan Kaldırmak İçin Değer Akış Haritalama (Çev. Ayşe SOYDAN) s.3-60
- Rusli, M. H., Jaffar, A., Ali, M. T., & Muhamud, S. (2012). Integrating big island layout with pull system for production optimization. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, s. 2655-2659.
- RüBmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group.
- Sağiroğlu, C. (2018). %1 içinde Bilişimle-Gelişim: Türkiye’de Dijital Dönüşüm. Üretimde Dijital Dönüşüm. Ankara.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM), 9(3), 811-833.
- Santos, M., Jorge Oliveira Sá, Carina Andrade, Francisca Vale Lima, Eduarda Costa, Carlos Costa, & Bruno Martinho and João Galvão. (2017). A Big Data System Supporting Bosch Braga Industry 4.0 Strategy. International Journal of Information Management, s. 750-760.
- Satyanarayana, S., (2012). “Cloud computing: SAAS”, Computer Sciences and Telecommunications, Sayı. 4, ss. 76-79
- Schermelleh-Engel K., Moosbrugger H., Müller H. (2003). Evaluating the fit of Structural Equation Models: test of significance and descriptive goodness-of-fit measures. 8 s.23–74.
- Schlechtendahl, J., Keiner, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making Existing Production Systems Industry 4.0-Ready. Production Engineering, s. 143-148.
- Schwab, K. (2016). Dördüncü Sanayi Devrimi (Çev. Dicleli, Z.). İstanbul: Optimist Yayınları.
- Schwab, K. (2017). Dördüncü Sanayi Devrimi. İstanbul: Optimist Yayınları.
- Scodanibbio, C. (2020). Lean Kaizen: Continuous Improvement In The Lean Direction. <https://www.scodanibbio.com>.
- Shellabear, M., Lenz, J., & Junior, V. (2004). E-manufacturing with laser-sintering-to series production and beyond. Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering, Vol. 1, September. Erlange, Germany.

- Sevindirici, İ. (2009). Üretim Sistemleri. İstanbul: Kum Saati Yayınları.
- Sezen, B. (2011). Üretim yönetiminde yeni yaklaşımlar ve uygulamalar. Ankara: Eflatun Yayıncılık.
- Shannon, R. (1998). Introduction to the Art and Science of Simulation. Winter Simulation Conference (7), s. 14
- Shen, C. C. (2015). Discussion on key successful factors of TPM in enterprises. Journal of Applied Research and Technology, s. 425-427.
- Shingo, S. (1986). Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System. USA: Productivity Press.
- Shingo, S. (1996). Quick Changeover For Operators: THE SMED SYSTEM. Productivity Press Portland.
- Simandan, D. (2009). Industrialization. Elsevier.
- Singh, J., & Singh, H. (2009). Kaizen Philosophy: A Review of Literature. The Icfai University Journal of Operations Management, s.51-72
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. Procedia Engineering, s. 592-599.
- Sivaslı, E. (2006). İşletme Süreçlerinde Yalın Tekniklerin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İzmir.
- Smith, A. (2005). Exploring Radio Frequency Identification Technology and Its Impact on Business Systems. Information Management & Computer Security, Vol.13 No.1, s.16-28
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, s.43-57
- ST, E. (Aralık 2017). ST Endüstri Medya. Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Zirvesi Dergisi s.20.
- Stearns, P. (2013). The Industrial Revolution in World History. Westview Press.
- Stevens, J. P. (2002). Applied multivariate statistics for the social sciences. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- STM Mühendislik, T. S. (2016). Siber Tehdit Durum Raporu. Ankara: STM Mühendislik, Teknoloji, Danışmanlık.
- Storch, R. L., & Lim, S. (1999). Improving Flow to Achieve Lean Manufacturing In Shipbuilding s. 127-137, Production Planning & Control.
- Sukode, S., Gite, S., & Agrawal, H. (2015). Context Aware Framework In IoT: A Survey. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Volume 4, No.1, 1-9.
- Şeker, A. (2016). Yalın Üretim Sisteminde Kanban, Tek Parça Akışı ve U Tipi Yerleştirme Sistemleri. International Journal of Social Science, s. 462-466.
- Şimşek, S., Şimşek, H., Titirirli, E., & Özel, K. (2018). Elektrikli çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları. 4. Anadolu Enerji Sempozyumu s. 2268-2268
- Taş, O., & Kiani, F. (2021). Nesnelerin interneti (IoT) ve kablosuz algılayıcı ağların güvenliğine yapılan. Politeknik Dergisi 24(1), s.219-220
- Teece, D., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. Strategic Management Journal, s.509-533
- Tekin, M., Arslandere, M., Eltioğlu, M., & Tekin, E. (2018a). Büyük ölçekli bir işletmede 5S uygulaması. International Journal of Social and Humanities, s. 106-122.

- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., Koyuncuoğlu, Ö., & Tekin, E. (2018b). Kaizen ve Bireysel Öneri Sistemi. Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Zirvesi, s. 312-321.
- Terzi, R., Sağiroğlu, Ş., & Demirezen, U. (2017). Büyük Veri ve Açık Veri: Temel Kavramlar. Büyük Veri ve Açık Veri Analitiği: Yöntemler ve Uygulamalar 1. Baskı (s.16-17). Ankara: Grafiker Yayınları.
- The Future of war. (2018). The Economist. January 27th.
- Thurstone, L. L. (1947). Multiple Factor Analysis. Chicago: University of Chicago.
- Toffler, A. (1974). Şok, (çev: S. Sargut). Koridor Yayıncılık, İstanbul.
- Torkul, O., & Kurt, E. (2001). Tam Zamanında İmalat Ortamında Sıralama Kurallarının Karşılaştırılması için Bir Benzetim modeli. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s. 21-27.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2017). Implementation of Industry 4.0 and lean. International Journal of Production Research, 2975-2987.
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Li, C., & Di Bona, G. (2022). A Sustainable Methodology Using Lean and Smart Manufacturing for the Cleaner Production of Shop Floor Management in Industry 4.0. Mathematics, 10.10.3390/math10030347.
- Tufan Emni, F. (2022). Sosyal Beşeri ve İdari Bilimsel Alanında Uluslararası Araştırmalar XV. Eğitim Yayınevi.
- TÜBİSAD. (2021). Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Endeksi Raporu.
- TÜBİTAK. (2016). Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası.
- Türkiye Yazılım Sektörü Stratejisi ve Eylem Planı. (2017-2019). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Türkan, Ö. U. (2010). Üretimde yalın dönüşümün temel performans kriterleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2), 28-41.
- TÜSİAD. (2022). Deloitte Digital ve TÜSİAD. E-ticaretin öne çıkan başarısı, tüketici davranışlarında değişim ve dijitalleşme.
- Tüzmen, A. (2017). Endüstri 4.0 ile Dönüşen Liderlik. HBR Türkiye: <https://hbrturkiye.com/dergi/endustri-4-0-ile-donusen-liderlik>
- Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., & Bartolo, P. (2019). Robot assisted additive manufacturing: A review. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, s.335-345.
- Velte, A., Velte, T., & Elsenpeter, R. (2010). Cloud Computing: A Practical Approach. 16.
- Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. Procedia Manufacturing s. 900-905
- Wang, B., Zhao, J. Y., Wan, Z. G., Ma, J. H., Li, H., & Ma, J. (2016). Paper Presented at the 3rd International Conference on Economics and Management. Lean Intelligent Production System and Value Stream Practice (s. 442-447). Jiangsu, China: ICEM 2016.
- Wang, J., & Wang X. (2012). Structural Equation Applications Using Mplus. West Sussex, United Kingdom: Higher Education Press
- Wolniak, R., Skotnicka, B., & Zasadzien. (2014). The use of value stream mapping to introduction of organizational innovation in industry s. 709-712, Metalurgija.
- Womack, James P., Jones, Daniel T., Roos, Daniel. (1990). Dünyayı Değiştiren Makine s. 16-70, Panel Matbaacılık.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking. New York: Simon & Schuster.

- Wong, T. L. (2016). Cloud Computing, Software Development Tools and Technologies.
- Yavuz, O. (2021). Yalın Üretim ve Endüstri 4.0. Endüstri 4.0 Bakışıyla Üretim Yönetimi (s.81). İstanbul: Çizgi Kitabevi Yayınları.
- Yazgan, H., Sarı, Ö., & Seri, V. (1998). Toyota Üretim Sisteminin Özellikleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s.129-134
- Yıldırım, M. A. (2017). Sanayi İşletmelerinde Yalın Üretim Teknikleri ve Uygulamaları, s. 39
- Yıldız Aybek, H. (2017). Üniversite 4.0'a Geçiş Süreci: Kavramsal Bir Yaklaşım. Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, s.164-176
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, sayı 2, s.546-556
- Yıldız, A., & Levent, U. (2018). Endüstri 4.0 ile Yalın Üretim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Kocaeli. s.672-678
- Yılmaz, İ. (2010). Tam Zamanında Üretim Sistemlerinde Lojistik Operasyonlarının Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi.
- Yorke, C., & Bodek, N. (2005). All You Gotta Do Is Ask. PCS Press.
- Yüksekbilgili, Z., & Çevik, G. (2018). Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz.
- Yüksel, M., & Odabaşı, Ş. (2009). Nesneler İzlenebilir Ve Yönetilebilir Mi? Çözüm: RFID. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Akademik Bilişim.
- Zerenler, M., & Iraz, R. (2006). Japon Yönetim Anlayışı ve Şirket Ağları (Keiretsu) Analizi. Selcuk University Social Sciences Institute Journal, s.757-776
- Zerenler, M., & Karaboğa, K. (2014). Müşteri Memnuniyetinin Sağlanmasında Hataların Önlenmesine Yönelik Üretim Odaklı Bir Bakış Açısı: Poka-Yoke Sistemleri. Selcuk University Sciences Institute Journal (Dr. Mehmet YILDIZ Özel Sayısı), s.263-275
- Zwick, W. R., & Velicer, W. F. (1986). Comparison of Five Rules for Determining the Number of Components to Retain. Psychological Bulletin, 99, s. 432-442.

EKLER

EK-1 Anket Formu

SAVUNMA SANAYİİ FİRMALARINDA YALIN ÜRETİM VE ENDÜSTRİ 4.0

Bu çalışma, Yalın Üretim Tekniklerinin Endüstri 4.0 ve Araçları ile ilişkisi ve Savunma Sanayii'nde Bir Uygulama konulu yüksek lisans tezi amacıyla yürütülmektedir. Bu anket aracılığıyla toplanan veriler yalın üretim ile Endüstri 4.0 arasındaki ilişkiyi anlamamız için kullanılacaktır. Aşağıda bulunan anketi doldurarak, araştırmaya katılmayı kabul etmiş olacaksınız.

Anketimize vereceğiniz cevaplar ve ayıracağınız süre ile bu çalışmaya katkıda bulunmanızı diliyoruz. Araştırmamızın başarısı ve değeri sizin katılımınız ve vereceğiniz cevaplar ile doğrudan ilişkilidir. Çalıştığınız şirkete ilişkin elde edilen tüm bilgiler kesinlikle gizli tutulacak, şirket adı verilmeyecek ve başka hiçbir amaçla kullanılmayacaktır.

Araştırma da bireysel sonuçlar değil grup sonuçları değerlendirilecektir. Bu çalışma süresince toplanan veriler, yalnızca akademik araştırma amacı ile kullanılacaktır ve yalnızca ulusal/uluslararası akademik toplantılarda ve/veya yayınlarda sunulacaktır. Eğer çalışmayla ilgili herhangi bir şikâyet, görüş veya sorunuz varsa bu çalışmanın araştırmacısı ile iletişime geçmekten lütfen çekinmeyiniz.

İlginiz ve katılımınız için şimdiden teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,

Doç. Dr. Oğuzhan YAVUZ

Ayça Beyza ALARSLAN

İletişim Bilgileri:
Savunma Sanayii Başkanlığı
E-posta:
Tel:

DEĞERLENDİRME FORMU

1. GENEL BİLGİLER		
18-24 yaş arası [] 25-34 yaş arası [] 35-44 yaş arası [] 45-54 yaş arası [] 55 yaş ve üzeri []	Yaşınız	1.1
Kadın [] Erkek []	Cinsiyetiniz	1.2
Lise ve altı [] Ön Lisans [] Lisans [] Yüksek Lisans [] Doktora []	Eğitim Durumunuz	1.3
Teknisyen [] Mühendis [] Proje Sorumlusu [] Yönetici [] Diğer []	Meslek Grubunuz	1.4
	İşletmede çalışmakta olduğunuz birim nedir?	1.5
0-5 yıl [] 6-10 yıl [] 11-15 yıl [] 16- 20 yıl [] 25+ yıl []	Hizmet Süreniz	1.6
	Çalışmakta olduğunuz işletmenin personel sayısı?	1.7
	Çalışmakta olduğunuz işletme kaç yıldır faaliyet göstermektedir?	1.8
	Çalışmakta olduğunuz işletme hangi sektörlerde faaliyet göstermektedir?	1.9
Evet [] Hayır []	Yalın üretim sistemi ve teknikleri hakkında bilgi sahibi misiniz?	1.10
Evet [] Hayır []	Yalın üretim konusunda danışmanlık hizmeti aldınız mı?	1.11
Evet [] Hayır []	Çalışmakta olduğunuz işletmede yalın üretim teknikleri uygulanıyor mu?	1.12
5 yıldan az [] 5-10 yıl arası [] 10 yıldan fazla [] Uygulanamaz []	Çalıştığınız işletmede yalın üretim teknikleri uygulanıyorsa kaç yıldır uygulanmaktadır?	1.13
Evet [] Hayır []	Endüstri 4.0 ve teknolojileri hakkında bilgi sahibi misiniz?	1.14
Evet [] Hayır []	Endüstri 4.0'a yönelik danışmanlık hizmeti aldınız mı?	1.15
	Çalışmakta olduğunuz işletmede Endüstri 4.0 ve araçlarının kullanıldığı proje var mı varsa sayısı kaçtır?	1.16

Aşağıdaki önermeleri size en uygun olacak şekilde işaretleyiniz.

2. YALIN ÜRETİM VE ENDÜSTRİ 4.0		Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
2.1	Çalıştığım işletmede hatalı ürün üretilmesinden ve süreç tasarımıyla ilgili israf oluşmaktadır.					
2.2	Çalıştığım işletmede üretim akışında bir sonraki hattan istenilenden çok daha fazla miktarda üretim faaliyeti yapılmasından kaynaklı fazla üretimden israf meydana gelmektedir.					
2.3	Çalıştığım işletmede gereğinden fazla stok bulundurulmasından kaynaklı israf oluşmaktadır.					
2.4	Çalıştığım işletmede üretim sürecine yönelik gerçekleştirilen gereksiz işlemlerden dolayı israf meydana gelmektedir.					
2.5	Çalıştığım işletmede parçaların gereksiz taşınmasında dolayı israf oluşmaktadır.					
2.6	Çalıştığım işletmede üretim sürecine yönelik işlem sırasında gereksiz eylemlerden kaynaklı israf meydana gelmektedir.					
2.7	Çalıştığım işletmede üretim sürecine yönelik bir önceki aşamadaki işlemleri beklemekten veya makinelerin durmasından dolayı bekleme israfı oluşmaktadır.					
2.8	Yalın üretim sistemi ve tekniklerinin üretim faaliyetine katkı sağlamaktadır.					
2.9	Çalıştığım işletmede üretilen ürüne yönelik değer net olarak belirlenmektedir.					
2.10	Çalıştığım işletmede çekme sistemi ile hat akışı boyunca parçaların ve malzemelerin bir önceki süreçten istenilen biçimde gelmesi sağlanmaktadır.					
2.11	Endüstri 4.0 araçları ile yalın üretim teknikleri arasında ilişki bulunmaktadır.					
2.12	Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı yalın üretim anlayışının yürütülmesi açısından kolaylaştırıcı bir etkidir.					

Aşağıda yer alan değişkenleri hangi sıklıkla kullandığınızı belirtiniz.

3. YALIN ÜRETİM VE ENDÜSTRİ 4.0		Her zaman	Sıklıkla	Ara sıra	Nadiren	Hiçbir zaman
3.1	Çalıştığım işletmede yalın üretim tekniği “5S (ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve disiplin)” üretim süreçlerinde kullanılmaktadır.					
3.2	Çalıştığım işletmede Değer Akış Haritalama yöntemi üretim süreçlerinde kullanılmaktadır.					
3.3	Çalıştığım işletmede üretim faaliyetleri kapsamında Kanban (iş yönetmek amacıyla kullanılan görsel sistem) yöntemi kullanılmaktadır.					
3.4	Çalıştığım işletmede Toplam Verimli Bakım yöntemi üretim süreçlerinde kullanılmaktadır.					
3.5	Çalıştığım işletmede üretim sürecinde Andon Sistemi (üretim sürecindeki problemi ilgili kişiye haber veren sesli ve/ya ışıklı bir uyarı sistemi) kullanılmaktadır.					
3.6	Çalıştığım işletmede Jidoka (otonomasyon) tekniği üretim süreçlerinde kullanılmaktadır.					
3.7	Çalıştığım işletmede üretim aşamasında Heijunka (sıralı/dengeli üretim) yöntemi kullanılmaktadır.					
3.8	Çalıştığım işletmede üretim sürecinde Poka- Yoke (süreçte hataları daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarma) tekniği kullanılmaktadır.					
3.9	Çalıştığım işletmede üretim sürecinde Tek Parça Akış yöntemi kullanılmaktadır.					
3.10	Çalıştığım işletmede üretim sürecinde hücreli imalat tekniği kullanılmaktadır.					
3.11	Çalıştığım işletmede üretim hattında Shojinka (U-tipi Üretim) tekniği kullanılmaktadır.					
3.12	Çalıştığım işletmede üretim sürecinde SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme) sistemi kullanılmaktadır.					

3.13	Çalıştığım işletmede Tam Zamanında Üretim (TZÜ) (üretimi ve verimliliği artırmak amacıyla israflardan kaçınma) yöntemi kullanılmaktadır.					
3.14	Çalıştığım işletmede Kaizen (sürekli iyileştirme) yöntemi kullanılmaktadır.					
3.15	Çalıştığım işletmede Büyük Veri ve Veri Analitiği teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.16	Çalıştığım işletmede Bulut Bilişim teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.17	Çalıştığım işletmede Nesnelerin İnterneti aracı kullanılmaktadır.					
3.18	Çalıştığım işletmede 3 Boyutlu 3D Yazıcılar kullanılmaktadır.					
3.19	Çalıştığım işletmede İleri Robotik teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.20	Çalıştığım işletmede Simülasyon teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.21	Çalıştığım işletmede Siber Güvenlik teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.22	Çalıştığım işletmede Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.23	Çalıştığım işletmede Artırılmış Gerçeklik teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.24	Çalıştığım işletmede RFID teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.25	Çalıştığım işletmede Sensör teknolojisi kullanılmaktadır.					
3.26	Çalıştığım işletmede Yapay Zeka teknolojisi kullanılmaktadır.					



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALARSLAN, Ayça Beyza
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Başkent Üniversitesi/ Teknoloji ve Bilgi Yönetimi	19/06/2017
Lise	Özel Yirmi Dokuz Mayıs Ferda Anadolu Lisesi	14/06/2013

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019	Savunma Sanayi Başkanlığı	Proje Asistanı



