T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: “ENDÜSTRİ 4.0” VE BİR CAM AMBALAJ FABRİKASINDA UYGULANMASI

CİHAN KOÇAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: ENDÜSTRİ 4.0 VE BİR CAM AMBALAJ FABRİKASINDA UYGULANMASI

CİHAN KOÇAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. MEHMET ALİ ARSLAN

GEBZE
2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION: INDUSTRY 4.0 AND APPLICATION IN A GLASS PACKAGING PLANT

CİHAN KOÇAK

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. MEHMET ALİ ARSLAN

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve ..2019../...29..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 01/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Cihan KOÇAK (08107128) 'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Prof. Dr. Mehmet Ali ARSLAN
ÜYE	: Prof. Dr. Fevzi BEDİR
ÜYE	: Prof. Dr. Burak DİKİCİ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

2011 Yılında gerçekleştirilen Hannover Fuarında ilk kez dile getirilen “Endüstri 4.0” ifadesi, Dördüncü Endüstriyel Devrim anlamına gelmektedir. Bu fuarda ortaya çıkan fikir sonrasında Almanya hükümetince 2012 yılında bir çalışma grubu oluşturulmuş olup, 2013 yılında çalışma grubunca hazırlanmış olan rapor ile Endüstri 4.0’ ın detaylı tanımlaması yapılmıştır. Bu tez çalışması ile sanayinin bilgisayarlaştırılması ve teknolojik son gelişmelerin uyarlanmasını kapsayan Endüstri 4.0’ a ilişkin temel yaklaşımlar, getirileri, pratik uygulamaları, yaşanabilecek zorluklar ve bir cam ambalaj fabrikasında uygulanabilirliği incelenmektedir.

Endüstri 4.0' a giden yol gelişimsel bir süreç olacaktır. Mevcut temel teknolojilerin ve deneyiminin, imalat mühendisliğinin çok özel gereksinimlerine adapte edilmesi, yeni yerler ve yeni pazarlar için yenilikçi çözümlerin keşfedilmesi gerekecektir. Bu başarılı biçimde gerçekleştirilirse, Endüstri 4.0, benimseyen ülkelerin küresel alandaki rekabetçiliğini arttırmasına ve ulusal imalat sektörünü korumasına yardımcı olacaktır.

Dördüncü Sanayi Devrimi-Endüstri 4.0, ürün ve üretim yöntemlerine ait tüm katma değerli işlemlerin tüm basamaklarında yeni bir aşama olarak ifade edilmektedir. Bu devrim, devamlı olarak artan ve kişiselleşen müşteri taleplerini karşılamayı hedefler ve tasarım aşamasından başlayarak, ürünün son kullanıcıya teslimi ve uygun olan durumlarda geri dönüşümü de dahil olmak üzere tüm süreçleri kapsayacak işlemlerin iyileştirilmesini içerir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dördüncü Sanayi Devrimi, Cam Ambalaj Üretiminde Endüstri 4.0.

SUMMARY

The “Industrial 4.0” term, which means the Fourth Industrial Revolution, was first used in 2011 in the Hannover Fair. The project has been described in detail with the final report prepared in 2013 by Industry 4.0 Working Group which was established in 2012. In this thesis, important basic approaches of the Industry 4.0 revolution, new phenomena occurring in engineering, future expectations, challenges, benefits and applicability in a glass packaging factory are examined.

The road to Industry 4.0 will be an evolutionary process. The existing basic technologies and experience will need to be adapted to the specific requirements of manufacturing engineering, and innovative solutions for new locations and new markets will need to be explored. If this is done successfully, Industry 4.0 will help countries that adopt it to increase global competitiveness and maintain the national manufacturing sector.

Industry 4.0 defines the Fourth Industrial Revolution as a new level in the organization and management of the entire value chain in the lifecycle of products and production systems. This cycle focuses continuously on individualized customer requests and includes services from the product development and production order starting from the idea stage, including the entire chain, including distribution and recycling of a product to the end user.

Key Words: Industrial 4.0, The Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0 in Glass Packaging Production 4.0.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve uzun süren tez aşamam süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyip, göstermiş olduğu sabırlı yaklaşımından dolayı Bölüm Başkanımız ve Danışmanım Sn. Prof. Dr. Mehmet Ali ARSLAN' a ve Sn. Prof. Dr. Fevzi BEDİR' e,

çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime,

göstermiş oldukları sonsuz destekten ötürü Annem' e, sevgili eşim Müjde KOÇAK' a ve hayatımıza katılarak her anımıza mutluluk ve enerji katan canım oğlum Ali Yaman KOÇAK' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ: DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: ENDÜSTRİ 4.0	1
1.1. Endüstri 4.0 Nedir?	1
1.2. Tarihsel Bağlam	3
1.3. Endüstri 4.0 İhtiyacının Nedenleri	6
2. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: ENDÜSTRİ 4.0 ELEMANLARI	13
2.1. Nesnelerin İnterneti “Internet of Things (IoT)”	14
2.2. Büyük Veri “Big Data” ve Bulut Teknolojisi	20
2.3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar	24
2.3.1. 3D Yazıcıların Çalışma Prensibi	25
2.3.2. 3D Yazıcıların Teknolojileri	26
2.3.3. 3D Yazıcılar İle Neler Yapılabilir?	27
2.3.4. Dört Boyutlu (4D) Yazıcılar	27
2.4. Siber-Fiziksel Sistemler	28
2.5. Artırılmış (Zenginleştirilmiş) Gerçeklik	31
2.5.1. Artırılmış (Zenginleştirilmiş) Gerçekliğin Endüstride Kullanımı	32
2.6. Akıllı Endüstriyel Robotlar	36
2.7. Yatay-Dikey Yazılım Bütünleşmesi (Entegrasyonu)	39
2.7.1. Yatay Bütünleşme (Entegrasyon)	39
2.7.2. Dikey Bütünleşme (Entegrasyon)	40
2.8. Siber Güvenlik	41
2.9. Simülasyon	42

3. BİR CAM AMBALAJ FABRİKASINDA ENDÜSTRİ 4.0 UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ 44
3.1. Camın Tarihçesi 44
3.2. Camın Yapısı, Türleri ve Üretimi 45
3.3. Cam Ambalaj Üretimi 47
3.3.1. Harman 47
3.3.2. Ergitme 48
3.3.3. Şekillendirme 49
3.3.4. Tavlama (Soğutma) 53
3.3.5. Ambalajlama/Depolama/Sevkiyat 54
3.4. Cam Ambalaj Üretiminde Endüstri 4.0 Uygulanabilirliği 55
3.4.1. Ahşap Paletlerde Küf Oluşumunun Önlenmesine Yönelik "Hat Üstü (Online) Otomatik Nem Ölçüm Sistemi" 57
3.4.1.1. Mevcut Durum 58
3.4.1.2. Endüstri 4.0 Yaklaşımı 59
3.4.2. Hatalı veya Blokeli Ürün Sevkiyatının Önlenmesine Yönelik "Yükleme Rampası Üzeri Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Etiket Okuyucu Sistemi" Kurulması 62
3.4.2.1. Mevcut Durum 62
3.4.2.2. Endüstri 4.0 Yaklaşımı 63
3.4.3. Otomatik Ön Şekillendirme (Ebişör) Kalıp Yağlama Sistemi 65
3.4.3.1. Otomatik Ebişör Kalıp Yağlama Sistemi Öncesi Durum 68
3.4.3.2. Otomatik Ebişör Kalıp Yağlama Sistemi Çalışma Prensibi ve Sistem Sonrası Durum 69
3.4.3.3. Endüstri 4.0 Yaklaşımı 71
4. SONUÇ 80

KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
1.1:	Sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi.	4
1.2:	Sanayi devrimi dönemlerine ait başlıca icatlar.	6
1.3:	Endüstri 4.0 ile işletmelerin rekabet gücünü artırmasını sağlayacak hususlar.	7
1.4:	Yatay değer şebekesi.	11
1.5:	Endüstri 4.0' ın bileşenleri.	13
2.1:	2016 Yılı itibariyle bazı büyük veri sağlayıcıları.	23
2.2:	3D Yazıcı ile yapılmış gerçek bir araba.	25
2.3:	Siber fiziksel sistem kurulumunda 5C mimarisi.	30
2.4:	5C mimarisi düzeylerindeki uygulamalar ve teknikler.	31
2.5:	Gerçeklik – Sanallık düzlemi.	32
2.6:	Bir karaciğer ameliyatı sırasında faydalanılan "artırılmış gerçeklik" uygulamasına ait bir görüntü.	34
2.7:	Volkswagen firmasının "Marta" projesinde kullanmış olduğu "artırılmış gerçeklik" uygulamasından görüntüler.	34
2.8:	Operasyonel ve bakım anlamında artırılmış gerçeklik uygulaması görüntüsü.	35
2.9:	Akıllı endüstriyel robotların Türkiye' de önümüzdeki 30 yıl içerisinde iş başı yapması beklenmektedir.	37
2.10:	Dikey entegrasyon çeşitleri.	40
3.1:	Cam ambalaj üretiminin üretim aşamaları.	47
3.2:	Harman dairesi yerleşimine ait bir modelleme görüntüsü.	48
3.3:	Ergitme işleminin gerçekleştirildiği fırın içinden bir görüntü.	48
3.4:	Ergitme işleminin gerçekleştirildiği fırına ait bir model görüntüsü.	49
3.5:	Cam ambalaj üretiminde kullanılan 10 kollu IS makinesine ait bir görüntü.	50
3.6:	Üfleme – Üfleme (Blow-Blow BB) Prosesi.	51
3.7:	Presleme – Üfleme (Press-Blow PB) Prosesi.	51

3.8: Şişelerin “alıcı maşa” yardımı ile “finişör kalıbından” alınarak “dead plate” üzerine bırakılma görüntüsü. 52
3.9: Otomatik şişe paletleme (palletizer) makinesi görüntüsü. 55
3.10: Kesit alınmış bir cam ambalaj ürününün cidar kalınlığı dağılımı. 56
3.11: 1927…2000 yılları arasında sıcak uçta gerçek zamanlı proses kontrol ve ürün kalite kontrolüne yönelik sistemler bulunmamakta idi. 57
3.12: Palet görüntüsü. 58
3.13: Küflü palet görüntüsü. 58
3.14: Palet nem ölçümüne ait bir görüntü. 59
3.15: Otomatik palet makinesinde nem ve boyutsal ölçüm sisteminin yerleştirileceği alan görüntüsü. 60
3.16: Endüstri 4.0 vizyonu ile geliştirilecek “otomatik palet nem ve boyut ölçüm sistemi” süreç akışı. 61
3.17: RFID Sistemi çalışma prensibi. 62
3.18: Endüstri 4.0 vizyonu ile geliştirilecek “Yükleme Rampası Üzeri Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Etiket Okuyucu Sistemi” süreç akışı. 64
3.19: Müldebak kalıbı görüntüsü. 65
3.20: Mandren görüntüsü. 65
3.21: Mastör görüntüsü. 65
3.22: Ebişör kalıbı görüntüsü. 66
3.23: Tampon görüntüsü. 66
3.24: Huni görüntüsü. 66
3.25: Finişör kalıbı görüntüsü. 66
3.26: Müldefon kalıbı görüntüsü. 67
3.27: Manuel yağlama işlemi görüntüleri a) fırçaya yağ sürülmesi b) bir aparat yardımı ile fırça üzerindeki fazla yağın alınması c) kalıp yağlama işlemi. 69
3.28: Otomatik kalıp yağlama sistem panosu. 69
3.29: Otomatik kalıp yağlama sistemi görüntüsü. 70

3.30: “Hat üstü kontrol cihazı” ile “otomatik kalıp yağlama robotu iletişimi” süreci akışı. 72
3.31: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotuna tanımlanmış algoritmalar. 74
3.32: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “viskozite kontrolü” süreç akışı. 75
3.33: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “kalıp sıcaklığı” kontrolü. 76
3.34: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “ıskarta” kontrolü süreci. 77
3.35: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “yağ basıncı” kontrolü. 78
3.36: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “yağlama süresi” kontrolü. 79

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
3.1:	Cam endüstrisinin günümüzde karşılaştığı zorluklar.	55
3.2:	Bazı kalıp malzemelerinin yüzey gerilimi değerleri	68
3.3:	Manuel kalıp yağlama ve otomatik kalıp yağlama sistemlerinde kullanılan yağların karşılaştırma tablosu	70

1.GİRİŞ: DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: ENDÜSTRİ 4.0

Bilgi toplumuna geçişte en önemli faktör teknolojidir. Teknolojinin rakipleri ise bilgi, hız ve enerjidir. Teknolojinin yardımı ile bilginin benzersiz ve beğenilen bir şekilde tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere en hızlı sürede dönüştürülmesi sırasında enerji bağımlılığı en az olan ülkelerin refah seviyeleri de buna bağlı olarak yükselmektedir. Amerikalı yazar ve gelecek bilimci Alvin Toffler, insanlık tarihinin üç kısma ayrıldığını ifade etmektedir. Bunlar; organize tarım, endüstrileşme ve hizmet/bilgi ekonomisine geçiştir. Toffler ayrıca sosyal seviyelerin meydana gelmesinde bu akımların öneminin büyük olduğunu dile getirmektedir. Organize tarım sonrasında köylü sınıfı ortaya çıkmıştır, endüstrileşme ile tarım yerini fabrikalara bırakmış ve kalabalık ailelerden çekirdek ailelere doğru bir değişim olmuştur. Ayrıca tarım toplumu döneminde daha sakin olan hayat, endüstri toplumunda daha hızlı ve uyumlu bir şekilde yaşanmaya başlamıştır. Bilgi temelli toplumlarda ise bireysellik daha ön plana çıkmıştır.

1.1. Endüstri 4.0 Nedir?

20. yüzyılın sonu itibari ile bilişim teknolojilerinde yaşanan hızlı ilerlemeler ile birlikte internet teknolojisinin ortaya çıkması sonrasında bu sistemlerin kullanıcı sayısında çok hızlı bir artış meydana gelmiştir. Yine bu dönem içerisinde veri transferi, otomasyon, sensör ve imalat teknolojilerinde geçmiş dönemler ile kıyaslanamayacak derecede yenilikler yaşanmıştır. Dördüncü Sanayi Devrimi - Endüstri 4.0, tüm bu gelişmelerin düşünsel anlamda birleştirildiği bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0; internet, otomasyon, veri toplama, iletişim, yayma teknolojileri ve bilişimin imalat endüstrisine bir bütün olarak entegre edilmesi anlamına gelir. Genel olarak fiziki yapılardan meydana gelen üretim ve tedarik zincirinin internet ve sensör sistemleri ile donatılmasını ile "Akıllı ve Karanlık Fabrika" adında yeni bir üretim biçimi meydana gelmektedir [1].

Küreselleşmenin en son dalgası olan Dördüncü Sanayi Devrimi; tedarik, imalat ve tüketim aşamalarını neredeyse tamamen yeniden tasarlayan yeni bir oluşum olarak ortaya çıkmıştır. Bu süreç kendisinden öncekiler gibi teknolojik bir buluş veya bir

üretim sisteminin bulunması, bir siyasi ya da sosyal bir patlama sonucu meydana gelmemiştir. Çin' in ihracat hacminin 2006 ile 2011 yılları arasında yaklaşık %450 büyümesine karşılık, başta Almanya olmak üzere Avrupa Birliği ülkelerinin Çin' e kayan üretimi tekrar Avrupa' ya çekme girişiminin bir sonucu olarak doğmuştur. Endüstri 3.0 sürecinde elde edilen gelişmeler ve ilerlemeler bu sürece kapı aralamıştır. Endüstri 4.0' ın başlangıcı belli olmakla birlikte, ne zaman sona ereceği konusunda bir öngörüde bulunmak şu an için son derece güçtür [2].

Yakın dönemde bilişim teknolojisinde görülen ivme endüstriyel gelişimde de olumlu etkiler oluşturmaktadır. Bilhassa Avrupa ülkelerinden üretim sektöründe üretimin, bilişim teknolojileri ile ortaya çıkan bilgi ve veriler doğrultusunda planlanarak yapılması önem kazanmıştır. Endüstriyel üretimde bilişimin öneminin anlaşılmasıyla birlikte, ilk kez Almanya'da dile getirilen "Endüstri 4.0" akımı doğmuştur. Bu akımla birlikte üretimde bilgisayarlaşmanın önü açılmakta olup hatta yakın gelecekte endüstriyel üretimlerin robotik sistemlerle yürütüleceği, endüstriyel ürünlerin ihtiyaç doğrultusunda üretilerek stoklama ve depolama süreçlerine gerek duyulmayacağı tahmin edilmektedir. Sonuç olarak, sistemin pratik faydalarından ötürü Endüstri 4.0'ı geliştirmek için hükümetler birbiriyle yarışır hale gelmiştir. Fikrin doğduğu Almanya öncü olarak şanslı bir başlangıç yapmış olsa da Amerika ve Asya pazarlarında da üretimin bilgisayarlaştırılması için yüklü finansal yatırımlar yapılmaya başlanmış olup ülkeler arası rekabet kızışmaktadır [3].

İçinde bulunduğumuz yüzyıldaki teknolojik gelişmelere bakarak gerek günlük yaşantıda gerekse endüstriyel alanda değişim ve dönüşümün kaçınılmaz olduğunu ifade etmek gerekir. Sanayide giderek artan teknolojikleşme süreci ile internet ağı üzerinden veri toplama aygıtları vasıtasıyla sunulan veriler; zihinsel, fiziksel ve mekanik olarak işlenebilmekte, bu da yeni iş fırsatları doğurmaktadır. İşlem temelli teknolojilerle enformasyon teknolojileri bütünleşerek her an her yerde erişilebilirlik manasına gelen "yaygın bilişim" olgusunu oluşturmaktadır. Yaygın bilişim sayesinde makineler arasında iletişimin sağlanabileceği, insan ve makine arasındaki iletişimin kalitesinin arttırabileceği ve bu sayede ekonomik hayata artı değer katılabileceği söylenebilir. İnsan ve makine arasındaki iletişim ve etkileşimin iyileştirilmesiyle birlikte sistemde oluşabilecek olası arızalar daha kısa sürede tahmin edilebilir olup, doğru zamanda yapılan bakımlarla arıza kaynaklı maliyetlerin, iş gücü ve ekonomik kayıpların azaltılabileceği öngörülmektedir.

Endüstriyel üretimde katma değer sağlayacağı öngörülen Dördüncü Sanayi Devrimi "Endüstri 4.0" ın ön yüzünde teknoloji vardır. Bilişim ve operasyon teknolojilerinin bütünleşmesi ile her yerde her an erişilebilirlik ilkesi doğrultusunda gerek sanayide gerekse gündelik hayatta pratik çözümler sunacak ürünlerin daha "akıllı" bir biçimde üretilmesi mümkün olabilecektir. Bu hedeflere ulaşabilmek için dünyanın sanayi ve ticarette gelişmiş olan ekonomiye sahip ülkeleri ekonomilerini bu değişime adapte etmek ve sistemin gereklerini yerine getirebilmek için 2020 yılını kendilerine hedef olarak belirlemişlerdir. Bu tarihte dönüşümü başlatmak için stratejik planlama ve bütçeleme çalışmalarını sürdürmektedirler. Ciddi bir ön çalışma ve planlama gerektiren, önemli ticari ve endüstriyel sonuçlar ortaya koyacak olan ve devrim niteliğinde bir teknolojik gelişmeyi ortaya çıkaracak olan bu süreci yarışa sonradan başlayanın yakalamasının pek kolay olmayacağı aşikârdır [1].

1.2. Tarihsel Bağlam

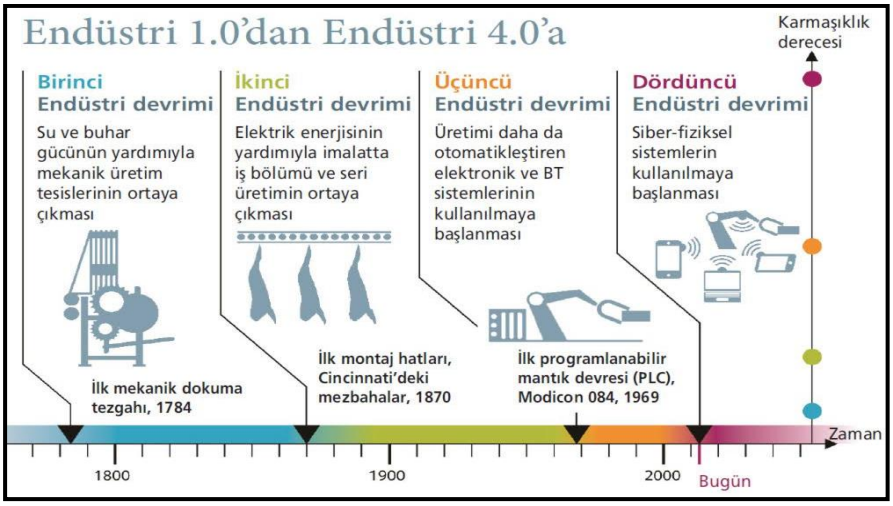
"Devrim" ifadesi, kelime itibariyle bakıldığında; bir alanda hızlı, köklü ve nitelikli değişimi ifade eder. Dünyada tarih boyunca bakıldığında yeni teknolojik gelişmeler ekonomik ve sosyolojik anlamda toplumu etkilemeye başladığında devrimlerin gerçekleştiği görülmektedir. Şüphesiz ki bu değişimlerin aniden olması dahi yıllar almaktadır.

İnsanlık tarihinde yaşam tarzı anlamındaki ilk önemli değişim ~10.000 sene önce hayvanların evcilleştirilmesi ile beraber avcılık ve toplayıcılıktan tarıma geçiş ile söz konusu olmuştur. Ziraat alanındaki bu devrim ile üretim, taşımacılık ve iletişim amacıyla hayvan emeği insan emeğiyle birleşmiş oldu. Tarımsal üretimin zaman içerisinde geliştirilmesi ve yerleşik hayata geçilmiş olmasıyla birlikte nüfus artmaya başladı. Sonuç olarak şehirleşme ve şehirlerin yükselişi söz konusu oldu [4].

Geçmişte üretim süreçlerinin tamamen değişmesine neden olan üç büyük endüstri devrimi yaşanmıştır. Birinci endüstri devrimi, buhar ve su gücünden faydalanarak kol gücünün yerine daha verimli çalışan makinelerin 18. yüzyıl sonlarında icat edilmesiyle gerçekleşmiştir. Bu devrimde en önemli rolü, 1763 senesinde icat ettiği buharlı makine ile James Watt üstlenmiştir. Ardından Edmund Cartwright' ın 1784 yılında, icat etmiş olduğu mekanik dokuma tezgahı ile de dokuma işlemi makineler yardımı ile yapılmaya başlanmıştır. İlk önce Birleşik Krallık ve

devamında Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Japonya da ortaya çıkmış, devamında ise tüm dünyaya yayılmıştır. Birinci endüstriyel devrim ile insan gücünün yerini makineler almış ve buna bağlı olarak metal ve maden kullanımı artarak devam etmiştir ayrıca yine bu devrimin ortaya çıkmasından sonra lojistik sektöründe de iyileşmeler meydana gelmiştir. Birinci endüstri devrimi döneminde makineler; kayış – kasnak, piston ve dişliler ile çalışan basit makinelerdir.

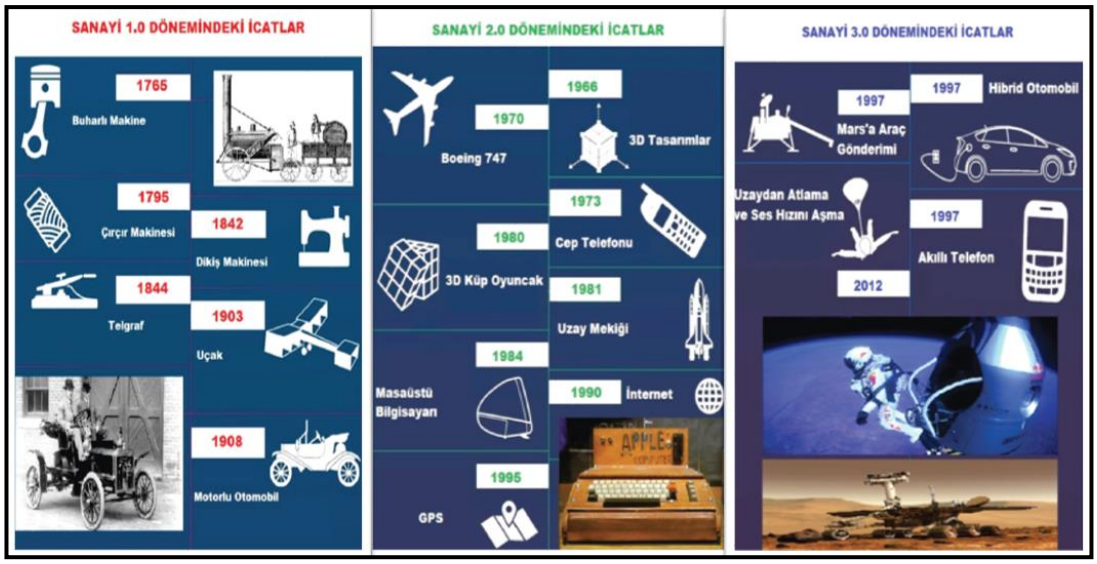
İkinci endüstri devrimi (teknoloji devrimi), 1860 ile 1914 yılları arasındaki dönemi içermektedir. 1860 senesinde Bessemer tarafından çeliğin daha ucuz imal edilebileceğinin bulunmasının ardından bu devremin başladığı kabul edilmektedir. Elektrik enerjisinden faydalanarak seri üretim ortaya çıkmıştır. İlk montaj hattı 1870 yılında Cincinnati' de bulunan bir mezbahada kurulmuştur. İkinci endüstriyel devrim, kimyasal ve elektrik tekniklerden faydalanılarak ilerleme kaydedilmiş ve kısa süre içerisinde ABD, Japonya ve Avrupa' ya yayılmıştır. Bu endüstriyel devrim sayesinde Almanya ve ABD ülkeleri, dünyanın lideri konumuna gelmiştir. Üretim tesisleri ve şehirlerde elektrik teknolojisi kullanımına, 1882 yılında Edison tarafından başlanmıştır. Elektrik ile çalışan makineler, Almanya ve ABD' de üretilmiş ve tüm dünyaya ihraç edilmiştir. Kimya, çelik ve petrol endüstrisi ABD' de çok hızlı bir şekilde ilerleme göstermiştir. Henry Ford'un 1913 senesinde devreye aldığı "üretim bandı" teknolojisinin farklı sanayi sektörlerinde de kullanılmasıyla üretimde verimlilik artışı meydana gelmiştir. 1914 senesinde Birinci Dünya Savaşı' nın başladığı dönemde Japonya, İtalya, Rusya ve Kanada birinci sanayi devrimi ile henüz daha yeni tanışmıştı. Türkiye, İspanya, Hindistan ve Çin ise birinci sanayi devrimine çok sonra başlamıştır.



Şekil 1.1: Sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi.

İkinci Dünya Savaşı sonrası ortaya çıkan elektriğe dayalı imalat teknolojisi sayesinde üçüncü endüstriyel devrim ortaya çıkmıştır. Bu devrimi tetikleyen unsur seri üretim için elektrik enerjisinin seri imalatta kullanılması ve hatların buna göre geliştirilmesi olmuştur. Üçüncü endüstriyel devrim, imalat endüstrisinde elektronik ve mekanik teknolojilerin yerine dijital programlanabilir makinelerin kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Bu devrimin ana öğeleri; ”haberleşme ve bilgi işlem teknikleri” ve bunların ortak gerçekleştirme aracı olan “mikro-elektronik” olup, bu bakımdan diğer devrimlerden ayrılmaktadır. Halen içinde bulunduğumuz ve üçüncü endüstri devrimi olarak isimlendirilen yeni endüstriyel dönem, bilgisayar ve internet teknolojisinin başrolde olduğu, hızlı teknolojik gelişmelerin gerçekleştiği bilişim devri olarak da ifade edilebilir. Bu dönemde enformasyon alanında kat edilen gelişmeler bir patlamaya dönüşerek içinde bulunduğumuz zamanda ekonomik ve stratejik dengeleri değiştirecek hale gelmiştir.

Tarihsel olarak bakıldığında, 19. yüzyılın ortalarında başlayan ikinci endüstriyel devrim beraberinde büyük gelişmeler getirmiştir. Bu endüstriyel devrimin esasında, buhar gücünden faydalanma, demir, çelik ve demir yolları gibi ağır sanayi sembolleri bulunmakta olup, bunlar ilerlemenin en temel teknikleri olarak görülmüştür. Ağır sanayi esaslı üretim stratejileri yirminci yüzyılın ortalarına doğru önem kaybederek yerini yeni ekonomi yaklaşımına bırakmıştır. Bilgi teknolojisi olarak ifade edilen bu yeni ekonomik anlayışın temel bileşenleri; çipler, atom enerjisi, fiber-optik ve bilgisayar gibi mikro elektronik teknolojilerdir [5]. Çağımızda mevcut gelişmeler doğrultusunda yeni bir endüstri devrimine doğru yol alınmaktadır. Dördüncü sanayi devrimi olarak ifade edilen yeni devrim ile Siber-Fiziksel Sistemlere dayalı üretim yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler tarafından üretim çoklemi nitelendirilmesi yapılan bu yeni sanayi devriminde; hibritleştirme, görselleştirme, kişiselleştirme ve kendince en iyileştirme olarak ifade edilen tasarımsal mükemmelliğe doğru harekete başlanmıştır [6].



Şekil 1.2: Sanayi devrimi dönemlerine ait başlıca icatlar.

1.3. Endüstri 4.0 İhtiyacının Nedenleri

Yeni endüstri akımının ana hedefi, bilgisayarlaşma ile birlikte akıllı (smart) fabrikalar yapılarak, üretimde daha esnek, hızlı ve randımanlı üretim sağlamak ve buna bağlı olarak da maliyetleri düşürmektir. Akıllı fabrikalarda kablosuz vericiler ve alıcılar vasıtasıyla kablosuz iletişim ağı kurulması amaçlanmaktadır. Endüstri 4.0'ın ana fikri, üretim sırasında fabrikadaki tüm makine, bilgisayar, alıcı ve bilgisayar sistemlerinin kablosuz internet ağıyla karşılıklı bilgi alışverişinde bulunması, insan gücünü minimuma indirerek sistemin kendi koordinasyon ve optimizasyonunu gerçekleştirerek üretim yapabilmesidir. Optimizasyon sayesinde üretime ayrılan süre ve ihtiyaç duyulan enerji miktarı ile üretim maliyetleri düşerken üretim miktarı ve kalitesinin artacağı tahmin edilmektedir. Mevcut sistemle kıyaslandığında, Endüstri 4.0 sayesinde fabrikalarda üretilen her ürünün aynı insanlar gibi birbirlerinden farklı seri numaraları olan birer kimliğinin olması, aynı zamanda belleklerinde temel bilgilerin dışında kendi geçmişlerine dair bilgileri de saklaması öngörülmektedir. Bu sistemde üretilen ürünler, ürünü ortaya çıkaran makine gibi, her an internete bağlı olacak, anlık konum ve durumları tespit edilebilecek, alıcıları vasıtasıyla çevrelerini algılayıp tetkik ederek kendi kapasitesi nispetince fiziki tepki verirken aynı zamanda internet erişimli diğer cihazlar ile aynı anda iletişime geçebilecektir.

Şekil 1.3: Endüstri 4.0 ile işletmelerin rekabet gücünü artırmasını sağlayacak hususlar.

Söz konusu yeni imalat tekniği ile birlikte ortaya çıkan esneklik sayesinde alıcının (müşteri) standart dışı üretim talepleri de karşılanabilecek ve müşteriye özel üretim sağlanabilecektir. Bütün imalat sürecinin aralarında kilometrelerce uzaklık bulunan az sayıda insanın katılımıyla gerçekleşebilecek olması sistemin bir diğer önemli özelliğidir. Endüstri 4.0 sistemi işlerlik kazandığında üretimde ortaya çıkacak değişiklikler yalnızca fabrikaları etkilemekle kalmayacak, bundan önceki tüm devrimlerde olduğu gibi hem bireyler hem de toplumlar etkilenecektir. Bu yeni devrim ile birlikte sendikal örgütlenmeler, devlet-endüstri ilişkilerinin tekrar gözden geçirilmesi ve tekrar yapılandırılması kaçınılmaz olacaktır [6].

- Endüstri 4.0' ın Prensipleri

Dördüncü Sanayi Devrimi' nin altı ana prensibi bulunmaktadır.

i) Eş (Karşılıklı) Çalışabilirlik: Siber-fiziksel sistemler, nesnelerin ve hizmetlerin interneti yardımıyla akıllı fabrikalar ile insanların birbirleri ile sürekli haberleşmesini kapsar.

ii) Sanallaştırma: İşletmelerin sanal bir kopyasının oluşturulmasını ve bu akıllı fabrika mantığı üzerine dizayn edilmiş olan işletmelerde bulunan sensör verilerinin eş zamanlı olarak simülasyon modellerine de aktarılmasını içerir.

iii) Özerk Yönetim: Akıllı fabrikaların kurulu siber fiziksel sistemlerin yardımı ile bağımsız olarak karar alabilmesini ve uygulayabilmesini ifade eder.

iv) Gerçek Zamanlı Analiz Yeteneği: Dataların toplanması ve çözümlenmesini ifade eder.

v) Hizmetlerin Uyumu: Hizmet ve servislerin interneti sayesinde siber fiziksel sistemlere ve akıllı fabrikalara veri akışını içerir.

vi) Modülerlik: Modüllerin değişkenlikleri doğrultusunda akıllı işletmelerin adaptasyonunun sağlanmasını ve dolayısıyla esnek bir yapıyı ifade eder [7].

- Dördüncü Sanayi Devrimi-Endüstri 4.0 İle "Gelecek"; Akıllı (Smart) Fabrikalar

Endüstri 4.0 mühendislikte, planlamada, imalatta, işletme ve tedarik zinciri proseslerinde en üst kalite standartlarının yanı sıra daha fazla sağlamlık ve esneklik sunacaktır. Dinamik, gerçek zamanda optimize edilen, kendi kendini organize eden, maliyet, mevcudiyet ve kaynak tüketimi gibi çeşitli kriterlere dayalı olarak optimize edilebilen değer değer zincirlerinin ortaya çıkmasına yol açacaktır. Bu uygun bir düzenleyici çerçeve gerektireceği gibi, aynı zamanda standardize edilmiş ara yüzler ve uyumlu hale getirilmiş işletme süreçleri de gerektirecektir [8].

Aşağıdaki hususlar Endüstri 4.0' ın vizyonunu nitelendirmektedir:

- İmalata dahil olan tüm aktörler ve kaynaklar arasında yeni bir sosyo-teknik etkileşim seviyesi ile nitelendirilecektir. Bu otonom özellikle, farklı durumlarda kendilerini kontrol edebilme yetisine sahip olan, kendi kendini yapılandıran, bilgiye dayalı, sensörler ile donatılmış, mekansal olarak dağınık ve ilgili planlama ve yönetim sistemlerini içinde bulunduran imalat kaynakları şebekelerinin (imalat makineleri, robotlar, konveyör ve depolama sistemleri ve üretim tesisleri) çevresinde oluşacaktır. Bu vizyonun kilit öneme sahip bir elemanı olan akıllı (smart) fabrikalar işletmeler arasında değer şebekelerine yerleştirilecek ve hem imalat prosesini hem de imal edilen malı kapsayan, dijital ve fiziksel dünyaları sorunsuz biçimde birleştiren değer şebekelerine gömülü hale getirilecektir. Akıllı fabrikalar imalat süreçlerinin artan karmaşıklığını orada çalışan kişiler için idare edilebilir hale getirecek ve üretimin aynı zamanda cazip, kentsel ortamda sürdürülebilir ve karlı şekilde gerçekleşmesini sağlayacaktır.
- Endüstri 4.0' daki akıllı ürünler kendine özgü biçimde tespit edilebilir ve her zaman konumları belirlenebilir. Yapıldıkları anda bile, kendi imalat süreçlerinin detaylarını bileceklerdir. Bu, belirli sektörlerde, akıllı ürünlerin kendi üretimlerinin aşamalarını tek tek, yarı otonom biçimde kontrol edebilecek olması anlamına gelmektedir. Ayrıca, nihai mamullerin ideal olarak işlev görebilecekleri parametre aralıklarını bilmelerini, yaşam döngüleri boyunca yıpranma ve aşınma işaretlerini

tanıyabilmelerini sağlamak mümkün olacaktır. Bu bilgiler bir havuzda toplanarak akıllı fabrikaların işletme yönetimi uygulamalarına entegre edilmek üzere lojistik, konuşlanma ve bakım açısından optimize edilmesi sağlanabilir.

- Gelecekte, Endüstri 4.0 ile birlikte, tasarım, konfigürasyon, sipariş verme, planlama, üretim, işletme ve geri dönüşüm aşamalarında müşteriye ve ürüne özel özelliklerin dahil edilmesi mümkün olacaktır. Hatta imalat öncesinde ve sırasında, ayrıca muhtemel olarak işletme sırasında da acil değişiklikler için son dakika taleplerinin dikkate alınması dahi mümkün olacaktır. Bu tek seferlik malzemelerin ve çok az miktardaki malların karşı biçimde imal edilmesini mümkün kılacaktır.
- Endüstri 4.0 vizyonunun uygulamaya geçirilmesi, durum ve bağlam hassasiyeti içeren hedeflere dayalı akıllı imalat kaynağı şebekelerinin ve imalat adımlarının çalışanlar tarafından kontrol edilmesini, düzenlenmesini ve yapılandırılmasını mümkün hale getirecektir. Çalışanlar rutin görevleri yapmak zorunda kalmayacaklar, yaratıcı, katma değerli faaliyetlere yoğunlaşabileceklerdir. Bundan dolayı bilhassa kalite güvence anlamında anahtar rol oynayacaklardır.
- Dördüncü Sanayi Devrimi vizyonunun uygulanması ilgili şebeke altyapısının genişlemesini ve hizmet seviyesi anlaşmaları üzerinden şebeke hizmet seviyesi kalitesinin belirlenmesini gerektirecektir. Bu yoğun verili uygulamalardaki yüksek bant genişliği ihtiyaçlarına cevap verilmesini ve hizmet sağlayıcılarının zamanın kritik olduğu uygulamalarda çalışma sürelerini garanti edebilmesini mümkün kılacaktır [8].

Akıllı fabrikalar; üretim sistemlerini meydana getiren tüm öğelerin özerk ve birbirleri ile iletişim halinde işlevlerini yerine getirdiği fabrikalardır. Konvansiyonel fabrikalardan farklı olarak, insan faktörü tümüyle sistem dışında bırakılmış, ancak olağanüstü bir durum meydana geldiğinde müdahale edecek şekilde yapılandırılmıştır. Dolayısıyla olağan bir süreçte makineler, robotlar ve diğer ekipmanlar otonom bir özellik sergilerler.

Akıllı fabrikalar ileri teknolojik gelişmelerin bütünüyle sistem içerisinde yer aldığı, dışsal unsurlar ile süreklilik arz eden bir iletişimin söz konusu olduğu, bu yönüyle elde edilen gerçek zamanlı verileri üretim süreçlerinde etkin bir biçimde kullanabilen sistemlerdir. Enerji tüketimi, materyal akışları, müşterilerin siparişleri ve tedarikçilere ilişkin gerçek zamanlı veriler akıllı fabrikaların temel unsurudur.

Akıllı fabrikalar, dahili ve harici öğeler arasındaki iletişimi, nesnelerin interneti ve sensör sistemleri yardımıyla sağlayacak ve gerekli verileri de büyük veri ağı sayesinde elde etmektedir. Müşterilerden ve veri tabanından gelen tüm veriler, sistem yardımıyla işlenerek, analiz edilmekte ve üretim sistemlerine komutlar verilmektedir.

Makineler de aralarındaki iletişim çerçevesinde kendilerine gelen komutlara uygun olarak fonksiyonlarını gerçekleştirmektedir. Akıllı fabrikaların temel unsurlarından birisi de dijitalleşmedir. Fiziksel niteliğe sahip her türlü unsurun sanal ortamlara dijitalleştirilerek aktarılabilmesi üretim süreçlerinin sanal ortamlarda modellenebilmesi olanağını da sağlamıştır. Dolayısıyla üretim süreçlerini ve buna ilişkin değişkenlerin bilgisayar ortamlarında simülasyonu mümkün hale gelmiş, üretim başlamadan meydana gelebilecek problemler bilgisayar ortamlarında gözlemlenebilmiştir. Bunun sayesinde endüstriler prototip ya da model üretmeye ilişkin fiziki üretim süreçleri yaratma maliyetlerine ve zahmetine katlanmaktan büyük ölçüde kurtulmuştur.

Dijitalleşmenin yanı sıra, gerçek ve sanal evrenin teknolojik ortamda bir araya gelebilmesi ürün tasarımını da önemli ölçüde etkilemiştir. Sanal ortamda oluşturulan ve birebir fiziki ürün özelliklerini yansıtan ürünlerin tasarımlanması hem daha kolay hem de düşük maliyetli hale gelmiştir [2].

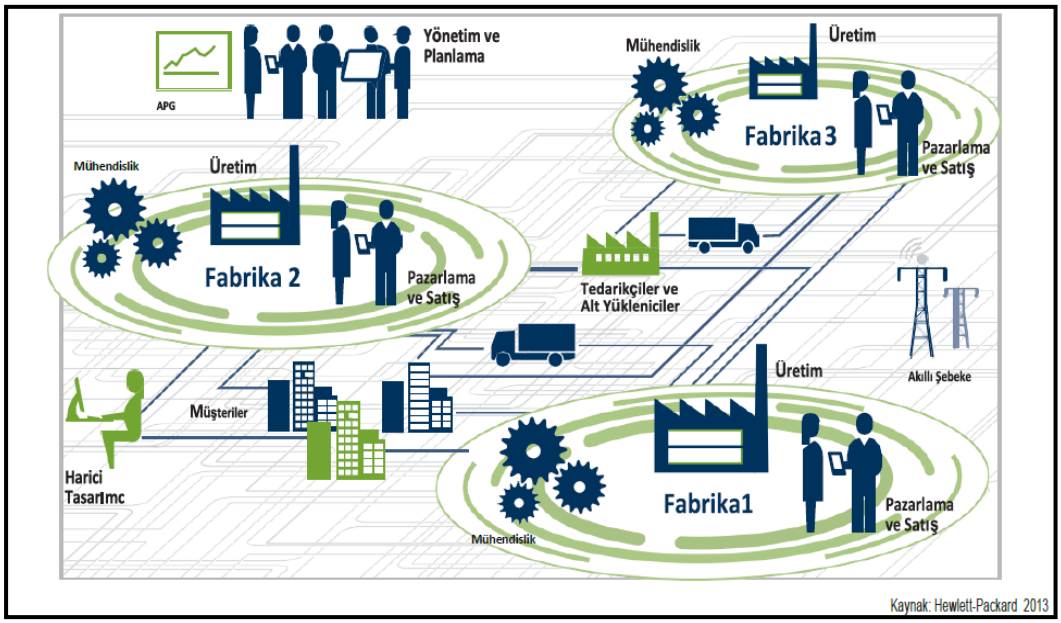
- Yeni İş Fırsatları ve Modelleri

Endüstri 4.0, kişisel, son dakika müşteri gereksinimlerinin karşılaşması için çok daha iyi tasarlanmış olan yeni iş ve ortaklık modellerinin geliştirilmesine yol açacaktır. Bu modeller ayrıca KOBİ' lerin mevcut lisans ve işletme modelleri kapsamında karşılayamayacakları hizmetleri ve yazılım sistemlerini kullanabilmesine imkan verecektir. Yeni iş modelleri, müşterilerin ve rakiplerin durumlarını hesaba katan dinamik fiyatlandırma ve hizmet seviyesi sözleşmelerinin (SLA' lar) kalitesine ilişkin sorunlara, iş ortakları arasında şebeke ağı ve işbirliği ile karakterize edilen bir bağlamda çözümler getirecektir. Potansiyel işletme faydalarının değer zincirindeki yeniler de dahil olmak üzere tüm paydaşlar arasında adil biçimde paylaştırılmasını sağlamak için çaba göstereceklerdir.

CO2 emisyonlarının azaltılması gibi daha geniş düzenleyici gereksinimler iş şebekelerinde bulunan ortaklar tarafından birlikte karşılanabilmeleri için bu iş modellerinin içine entegre edilebilir ve edilmelidirler.

Endüstri 4.0 "şebekeli imalat", "kendini organize eden uyarlanabilir lojistik" ve "müşteri entegreli mühendislik" gibi tek bir şirkettense esasen oldukça dinamik bir işletmeler ağı tarafından uygulamaya konulacak işletme modelleri gerektirecek hususlara ilişkin durum senaryoları kullanmaktadır. Bu finansman, geliştirme, güvenilirlik, risk, sorumluluk ve IP ve know-how korumasına dair birçok sayıda soru işareti oluşturacaktır. Şebekenin organizasyonu ve hizmetlerinin kalifiye farklılaşması söz konusu olduğunda, sorumlulukların iş şebekesi içinde doğru biçimde tayin edilmesi, ilgili ilzam edici belgeler ile desteklenmesi kritik önem taşıyacaktır.

İş modellerinin gerçek zamanlı olarak detaylı biçimde takibi de ayrıca işleme adımlarının ve sistem durumlarının belgelenmesinde ve sözleşme şartları ile yönetmelik şartlarına uyum sağlandığının ispat edilmesi açısından anahtar bir rol oynayacaktır [8].



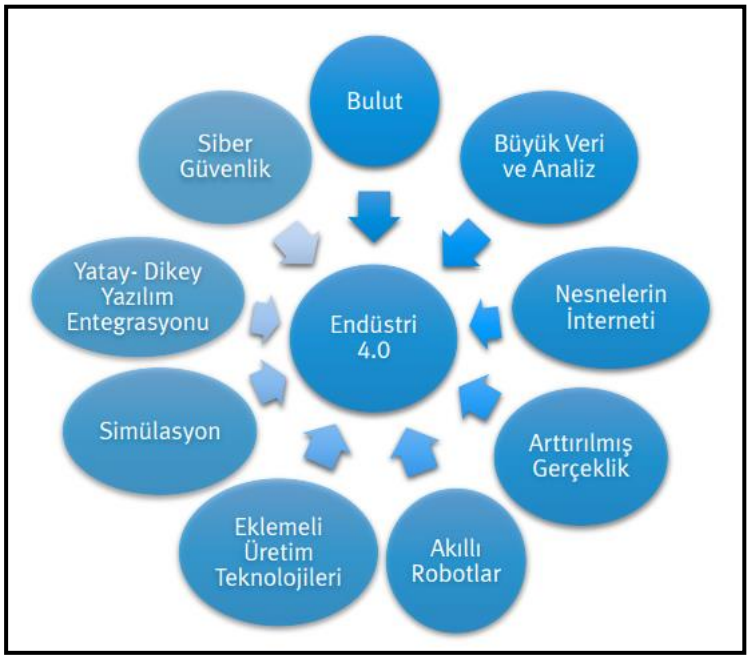
Şekil 1.4: Yatay değer şebekesi.

İşletme süreçlerinin her bir adımı her zaman izlenecek, tamamlandıklarına dair belgelerle kanıtlar sunulacaktır. Tekil hizmetlerin verimli temin edilmesini sağlamak için, ilgili hizmet yaşam döngüsünün neye benzeyeceğinin belirlenmesi, hangi sözlerin taahhüdünün verilebileceğinin ve hangi lisans modellerinin ve koşullarının yeni ortakların - özellikle de KOBİ' lerin - iş şebekelerine katılımına izin vereceğini belirlemek gerekli olacaktır.

Yukarıdakilerin ışığında, Endüstri 4.0' ın öngörülemeyen küresel etkilere ve çok dinamik bir ortama neden olacağını söylemek mümkündür. Yeni teknolojilerin aksaklık yaratıcı niteliği ve yasal hususlar üzerindeki etkisi (teknoloji, hassas kurumsal veriler, sorumluluk, veri koruması, ticaret kısıtlamaları, kriptografi kullanımı vb. gibi hususlara yönelik olarak) mevcut yasaların uygulanması üzerinde tehdit oluşturabilir. Kısa inovasyon döngüleri düzenleyici çerçevenin sürekli olarak güncellenmesi ihtiyacını doğurmakta ve uygulanmaları konusunda da kronik başarısızlıklara yol açmaktadır. Bu nedenle teknolojilerin yasalara uygunluğunun geliştirme öncesinde ve sonrasında teste tabi tutulduğu yeni bir yaklaşımın benimsenmesi gerekli olacaktır. Endüstri 4.0 girişiminin başarısı için anahtar teşkil eden bir başka faktör ise, emniyet ve güvenlik konusudur. Benzer şekilde, bu alanda da çok daha korumacı bir yaklaşıma gerekecektir. Ayrıca, Güvenli Tasarım kavramının yalnızca fonksiyonel bileşenlerle sınırlı olmamasını sağlamak önemli olacaktır [8].

2. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ: ENDÜSTRİ 4.0 ELEMANLARI

Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0), Avrupa'nın sanayisi en güçlü ülkelerinden olan Almanya'da hayata geçirilmesi nedeniyle, Avrupa'da çok yaygın bir şekilde bilinmekte ve global anlamda bilinirliği gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde hızla yayılan Dördüncü Sanayi Devriminin esas amacı, bilgisayarlaşma ile üretimde kendi kendini yönetebilen akıllı fabrikaların kurulmasıdır. Bu hedefe ulaşabilmek için "Nesnelerin İnterneti" ve "Siber-Fiziksel Sistemlerin" hayata geçirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla Dördüncü Sanayi Devrimi' ni daha iyi kavrayabilmek için sisteme ilişkin terim ve kavramların bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu bu iki terime ait uygulamaların günümüzde kullanılmaya başlanılması Dördüncü Sanayi Devrimi' nin Bu kavramlardan birçoğunun bugün hayata geçirilmiş olması her birini Endüstri 4.0' ın habercisi olmakla birlikte, ileride yaşanabilecek gelişmeler için de mühim işaretler vermektedir. Özellikle artık hayatımızın bir parçası olan nesnelerin interneti ve üç boyutlu yazıcılar başlıca işaretlerdir [9].



Şekil 1.5: Endüstri 4.0' ın bileşenleri.

Endüstri 4.0' ın dokuz ana unsuru aşağıda verilmektedir;

i) Nesnelerin İnterneti

ii) Büyük Veri ve Bulut Teknolojisi

iii) Üç Boyutlu Yazıcılar

iv) Siber-Fiziksel sistemler

v) Arttırılmış (Zenginleştirilmiş) Gerçeklik

vi) Akıllı Robotlar

vii) Yatay-Dikey Yazılım Bütünleşmesi (Entegrasyonu)

viii) Siber Güvenlik

ix) Simülasyon

2.1. Nesnelerin İnterneti "Internet of Things (IoT)"

Nesnelerin İnterneti orijinal adı ile "Internet of Things", internet erişimi olan tüm nesnelerin dünya genelinde yaygınlaşmış bir ağ yapısı sayesinde belli protokollere bağlı olarak birbirleri arasında iletişim kurabilmeleri olarak ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra nesnelerin interneti: muhtelif iletişim protokolleri doğrultusunda birbirlerine bağlanarak iletişime giren ve bilginin paylaşımı sayesinde akıllı bir ağ meydana getiren nesneler bütünü olarak ifade edilebilmektedir [2].

Yakın zamana kadar internet üzerinde bir arama yapıldığında Endüstri 4.0 ya da nesnelerin interneti ile ilgili bir bilgiye ulaşmak neredeyse imkansızdı. Sadece birkaç yıl içerisinde bu kavramlar işletmeler, endüstriler, tedarik zincirleri ve gündelik hayat için son derece önemli bir kavram haline geldi. Özellikle mobil telefonlar başta olmak üzere elektronik cihazların "akıllı" olarak ifade edilen duruma gelmesi ve bu "akıllı" yapının gün geçtikçe daha da ilerlemesi, nesneler arasındaki haberleşmeyi büyük oranda artırmıştır. Ayrıca, akıllı nesnelerin kullanım oranı dünya genelinde gün geçtikçe hızla artmaktadır. Ek olarak, sensör, kablosuz ağ gibi iletişim elemanlarının fiyatının git gide azalması "nesnelerin internetinin" ilerleyişini önemli ölçüde etkilemekte ve hızlandırmaktadır.

Son zamanlarda, kablosuz sensör ağları, gömülü sistemler ve ucuz sensörler yaygın dağıtım Nesnelerin İnternetinin yükselişini teşvik etti. Bu kavram çerçevesinde birçok işletme Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti alanlarına yatırım yapmakta, bu konuda çözümler geliştirmektedir. Nesnelerin interneti neredeyse bütün endüstrilerde ve lojistik faaliyetlerde kullanılabilme potansiyeline sahip olan bir fenomendir.

Nesnelerin interneti ya da diğer ismiyle “internet of things”; teknolojinin gelişmesine bağlı olarak nesnelerin birbirleri arasında haberleşmesi ve bu haberleşmeye bağlı olarak bazı fonksiyonları direkt uygulayabilir duruma gelmesidir.

İçinde bulunduğumuz süreçte bu yaklaşımları endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra, tedarik zinciri süreçlerinin tamamında hatta insanların sosyal ve gündelik hayatlarında bile gözlemlemek mümkündür. Örneğin, hastanede tedavi görmekte olan bir hastanın bileğine takılan akıllı bir bileklik sayesinde ilaçlarını zamanında ve hatasız olarak alması sağlanabilmektedir. Bileklikte bulunan etiket doktoru ve hemşireleri hasta ile ilgili olarak uyarabilmekte, hatta kalp atışları ve diğer parametreleri ölçümleyerek, ilaç alınması gereken sürelerle ilgili olarak ilgilileri yönlendirebilmektedir. Aracınızı sürerken ön panelde bulunan yüz tanıma sistemi, yüz ifadenize bakarak anlık olarak ruh halinizi değerlendirecek ve iyi hissetmenizi sağlayacak müzikler çalmaya başlamaktadır. Görüldüğü gibi, nesnelerin internetine ilişkin çok sayıda örnek günlük hayatımızda gözlemlenebilmektedir.

Nesnelerin interneti; bir hareket, oluş veya bir sürecin meydana gelmesi ile başlayan bir prosestir. Dolayısıyla sistemde tanımlanmış bir durumun meydana gelmesi sonucunda, bu duruma ilişkin verilerin bir hareketi başlatması şeklinde bir işleve sahiptir. Nesnelerin duyarlılık gösterdiği bu hareketler sensörler ve akıllı etiketler vasıtasıyla sisteme iletilmekte, sistem bu durumlara ilişkin tanımlanmış davranışları göstermeleri için makine ve ekipmanlara çeşitli komutlar göndermektedir.

Örneğin, market alışverişi sırasında raflarda bulunan sensörler sayesinde raftan ürün alınması durumunda bu hareket sensörler tarafından algılanarak sisteme kaydedilmektedir. Sistemde önceden tanımlanmış algoritmalar çerçevesinde bu veriler işlemsel bir hale getirilerek, tedarik zincirinde yer alan tüm unsurlara farklı komutlar gönderebilmektedir. Bir tedarik unsuruna gönderilen komut; üretim için belirli miktarda hammaddeyi fabrikaya gönder şeklinde olurken, fabrikadaki makinelere üretime başla biçiminde komutlar gönderebilmektedir.

Nesnelerin interneti sistemi bazı bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu bileşenlerden ilki önceden tanımlanan hareket ve durumlar dizinidir. Sistemin tetiklenmesini sağlayacak durum, eylem ve hareketlerin değişik yordamlarda nitelendirilmiş olması gerekmektedir. Aynı zamanda farklılık yaratan her bir durum için farklı algoritmalar belirlenmektedir. Örneğin dondurma üretimi yapan bir işletmede farklı enstrümanlar kullanılarak hava sıcaklığı ölçülebilmekte, bu doğrultuda üretim süreçleri şekillendirilebilmektedir. Dolayısıyla hava sıcaklığına

ilişkin farklı tüm değerler farklı üretim süreçlerinin uygulanmasına yol açabilecek farklı algoritmalar şeklinde tanımlanabilmektedir. Tanımlanmış bu durumlar sistemin işleyişinin başlaması için ilk hareket olarak kabul edilmektedir.

İkinci ana bileşen ise söz konusu durum ve hareketlerin belirlenebilmesi için faydalanılan unsur ve ekipmanlardır. Bu unsurlar; tespit (algılama) ve tanımlama sistemleridir. Algılayıcılar (sensör), barkod sistemleri ve radyo frekanslı tanımlama sistemler bu unsurlar arasında yer almaktadır. Bunlar meydana gelen bir hareketi ya da olağan kabul edilen bir durumda meydana gelen değişimleri tespit ederek, buna ilişkin verileri sisteme göndermektedir.

Üçüncü ana bileşen, elde edilen dataların iletildiği internet ağıdır. Çağımızda bulut sistemleri ve kablosuz bağlantıların kullanılması, data taşınması ile alakalı bazı engellerin de ortadan kalmasını sağlamıştır. Bu kısıtlar; çoğunlukla kablolar ile sağlanan internet erişiminin kapasite açısından ve fiziksel olarak sınırlı olması gibi durumları içermekteydi.

Bir diğer faktör; bu verilerin operasyonelleştiği ve komutlar haline getirildiği bilgi işletim sistemleri ve yazılımlardır. Bu sistemler çeşitli vasıtalarla kendilerine taşınan verileri tanımlanmış algoritmalar ile karşılaştırarak, mevcut duruma uygun optimal bir çözümü üretmesi ve bunu komutlar haline getirerek, diğer unsurlara bu komutların gönderilmesi gibi işlevler üstlenmektedir.

Diğer yandan, sistemde yer alan her bir makine ve ekipman komut alırken aynı zamanda sisteme ve diğer makinelere veri gönderebilmektedir. Öte yandan, bir makinenin bir başka makineye eş zamanlı komut gönderebilmesi de bu sistemin temel dinamiklerinden birisidir. Daha önce ki endüstriyel dönemlerde süreçler; "insandan insana" bir diğer deyişle "people to people – P2P" iken sonrasında "people to machine – P2M" yani "insandan makineye" olarak değişmiş ve son olarak da dördüncü sanayi devriminde ise "makineden makineye" yani "machine to machine – M2M" e dönüşmüştür. Nesnelerin interneti; bu bakış açısına göre ileri seviye teknoloji kullanımı sayesinde üretimdeki insan etmenini olabildiğince minimize etmeye, bu sayede sistemi kusursuzlaştırmaya çalışan bir sistemdir.

Nesnelerin interneti çerçevesinde bir diğer bileşen ise akıllı cihazlardır. Cep telefonları, bilgisayarlar, tabletler vb. elektronik aygıtlar veri alışverişi konusunda kayda değer işlevler üstlenen makinelerdir. Bunlar arasındaki etkileşim ve iletişim düzeyi sistemin başarısı ve performansı açısından son derece önem arz etmektedir.

Nesnelerin interneti kavramı tüketiciler, tedarik zinciri aktörleri ve endüstriler için çok yönlü katma değer ve faydalar sağlayan bir sistemdir. Tüketiciler açısından değerlendirildiğinde; müşterilerin farklılaşan talep ve beklentilerine ilişkin veriler endüstriler tarafından eşzamanlı olarak elde edilebildiği için müşterilerin gereksinimlerini karşılayacak ürünlerin daha yüksek düzeyde özelleştirilebilmesine, aynı zamanda müşterilere verilecek hizmetlerin kalitesinin artırılmasına olanak sağlayabilmektedir. Dolayısıyla tüketicilerin elde edebilecekleri katma değer daha da artabilecektir.

Örnek olarak, sahip olduğumuz akıllı cihazlar gereksinim durumunda çok uzaktaki cihazlarla iletişim kurarak, bu gereksinimleri otomatik bir şekilde karşılamamıza olanak sağlayabilecek, gereksinimin tespit edilmesi, çözümün aranması ve çözümün üretilmesi süreçlerini çok ciddi anlamda kısaltabilecektir. Örneğin otomobilinizin lastiği patladığında içindeki hava basıncını ölçen akıllı sensörler, buna ilişkin bilgiyi otomobilimizin ekranına taşıyabilmekte, aynı zamanda bizi en yakın servise yönlendirebilmektedir. Geçmişte ancak lastikten ses geldiğinde ve iş işten geçtiğinde farkına varabildiğimiz bu tür bir durumu, herhangi bir zarar söz konusu olmaksızın atlatabilmemiz olanaklı olabilecektir.

Benzer bir biçimde kıyafetlerimizde ya da kullandığımız akıllı cep telefonlarında yer alan sensörler yardımı ile sağlık durumumuz kontrol edilebilecek, meydana gelen herhangi bir değişiklik ya da olağan durumdan sapmaların tespit edilmesi durumunda ambulans, doktor vb. unsurlarda bulunan akıllı cihazlarla bağlantı sağlanarak, gerekli yerler doğrudan bilgilendirilecek ve vakit kaybetmeden müdahale edilmesi sağlanabilecektir. Buna paralel olarak, endüstriler talep ve beklentilere daha etkin ve yüksek katma değerli bir biçimde cevap verebilme olanağına da sahip olabilecektir. Öte yandan elde edilecek veriler daha yüksek düzeyde doğruluğa sahip olacağı için, operasyonlar da buna bağlı olarak daha yüksek performansla gerçekleşebilecek, maliyetler ve elde edilecek fayda optimal düzeyde sağlanabilecektir.

Endüstrilerin esnekliği ve çevikliği yönünden de önemli katkılar sağlayabilecek, tüketicilerin talep, beklenti ve tutumlarına ilişkin verilerin ürünün arz edilmesi öncesinde elde edilebilmesini olanaklı hale getirebilecektir. Geçmişte endüstriler ürünleri ile ilgili müşterilerin yaklaşımlarını ürünler müşterilere arz edildikten ve kullanıldıktan sonra öğrenebiliyorlardı ki bu bilgiler de yeterli doğruluğa sahip değildi. Müşterilerin hepsi ölçülebilir ve kullanılabilir verilerin sağlanmasında yeterli ölçüde cesur ya da cömert olamayabiliyorlardı. Tüketicilerin sahip oldukları cihazlar

sayesinde ürünün henüz müşterilere arz edilmeden beğeni ve talep görüp görmeyeceği önceden saptanır hale geldi.

Nesnelerin interneti; nesneler arası iletişimi geliştirirken, beraberinde bu iletişimin eşzamanlı, ek olarak da daha nesnel ve kullanılabilir olmasına olanak sağladı. Meydana gelen bir hareket ya da durumun elektronik unsurlar tarafından algılanması ve sınırları net bir biçimde tanımlanmış algoritmalar çerçevesinde veri olarak sisteme aktarılması sayesinde herhangi bir biçimde farklı anlaşılmalara yol açabilecek özel yaklaşımları tümüyle sistemin dışına çıkartılarak, hata olasılıkları son derece düşük seviyelere indirildi ya da sıfırlanabildi.

Nesneler arasında iletişimin sağlanabilmesi ve giderek geliştirilmesi sayesinde ürünler kendileri hakkında verileri de sisteme gönderebilmeye başladılar. Endüstriler bunun sonucunda ürünlerin kalan ömürleri ile ekonomik ömürlerini tamamlayan ürünlerin sayılarını eş zamanlı öğrenerek, üretim proseslerini otonom bir şekilde dizayn edebildiler. Örnek olarak; ekonomik ömrünü tamamlayan bir ürün buna ilişkin verileri internet ortamı üzerinden üretim sahalarında bulunan makinelere doğrudan gönderebilir ve makineler bu ürünü sipariş gelmeden üretmeye otonom bir şekilde başlayabilir.

Nesnelerin interneti; endüstrilerin ve tedarik zincirlerinin envanter ve stok düzeylerini de mükemmelleştirebilmektedir. Birbirleriyle iletişim halinde olan makine ve ekipmanlar sayesinde ürüne ne zaman gereksinim duyulacağının bilinmesi; üretim süreçlerini olduğu gibi, hammadde ve ürün stoklarının da belirlenmesinde son derece etkin bir role sahiptir. Öte yandan, bu yaklaşım envanterleri azaltabileceği gibi, bütünüyle ortadan da kaldırılmasına da olanak sağlayabilmektedir.

Aynı zamanda müşterilerin kullandıkları ürünlere ilişkin bilgi ve verilerin bu şekilde elde edilebilmesi; müşterilerin gerçekte gereksinim duyduğu, ancak henüz yeterince farkında olmadığı için talepte bulunmadığı hizmetlerin de kendilerine verilebilmesine imkan sağlayabilmektedir. Makinelerin bozulma ve arızalanma ya da parça değişimi gibi bilgileri bir başka cihaza veri olarak göndermesi ile beraber endüstriler ürün bozulmadan bu servisleri müşterilerine arz ederek memnuniyet düzeyini artırabilmekte, aynı zamanda daha etkin planlama yapabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen makineden makineye “M2M” olarak tanımlanan makine ve cihazlar arasında gerçekleşen iletişim; tek başına nesnelerin interneti “IoT” ile eş anlamlı değildir. Nesnelerin interneti; makineden makineye “M2M” iletişimin daha ileri ve gelişmiş bir versiyonu olup, son derece karmaşık bir sistemdir. M2M sadece

cihazlar arası bağlantı iken, IoT; bağlantının yanı sıra iletişim ve etkileşimi sağlayan, ek olarak veri analizi ve çözümlemeler ortaya koyan bir sistemdir.

Öte yandan M2M standart çözümler ortaya koymanın yanı sıra, bu çözümler sabit algoritmalara, dolayısıyla katı çözümlemelere yok açmaktadır. Nesnelerin interneti ise; mümkün olduğunca fazla parametrenin işlendiği, daha yüksek düzeyde alternatif ve çözümlere sahip olan bir sistem olup, farklı koşullara uygun olarak daha optimal ve esnek nitelikte çözümler ileri sürebilmektedir.

Nesnelerin interneti "IoT"; süreç içerisinde çok sayıda fonksiyona ve bileşene sahip bir sistemdir. Bu sistem söz konusu bileşenlerin etkileşimi ve iletişimi çerçevesinde işlevsel bir hale gelebilmektedir. Bu bileşenlerden birisi; fiziksel unsurlardır. Bunlar uygulamada nesne, makine, ekipman vb. farklı isimler alabilmektedirler. Dolayısıyla endüstriyel ya da lojistik faaliyetler içerisinde kullanılan herhangi fiziksel bir unsur bu çerçevede tanımlanabilmektedir. Bu unsurlar nesnelerin interneti çerçevesinde bir başka fiziksel unsurla iletişim kurmaya başladığında sistemin bir elemanı haline gelebilmektedir.

Sistem içerisinde bir diğer fonksiyonel bileşen cihazlardır. Cihazlar karar alma süreçlerinde gerekli olan verileri toplayan, kaydeden ve transfer edebilen unsurlardır. Bunlar hareketi, ısıyı, basıncı vb. birçok değişkeni algılayarak, ölçümlemekte ve veri olarak kullanılabilir hale getirmektedir. Bu kapsamda sensörler, uzaktan algılama ve tanımlama sistemleri cihazlar *"device"* olarak tanımlanmaktadır.

İşletmeler de nesnelerin interneti "IoT" sisteminin önemli parçalarından birisidir. İşletmeler IoT konusunda altyapı sistemlerini oluşturan ve bu sistemleri kullanan endüstri ve işletmelere doğrudan hizmet veren kuruluşlardır. Bu unsurlar sistemin kurulmasının yanı sıra, işler hale getirilmesi sürecinde operatör konumunda işleve sahiptirler.

Sistemin önemli bileşenlerinden birisi de kullanılan yazılım ve donanımlardır. Bu kapsamda, sistemde verilerin işlenmesi ve uygulanabilir çözümlerin geliştirilmesi için farklı türde yazılımlar kullanılabilmektedir. Bunlar daha çok işletmelerin ve endüstrilerin gereksinimleri çerçevesinde yapılandırılmaktadır.

Nesnelerin interneti kavramının gelişimine etki eden unsurların arasında enerjinin giderek daha akıllı hale gelmesi ve buna bağlı olarak ivme kazanan dijitalleşme gibi faktörlerdir. Enerji kaynakları geçmişte son derece verimsiz ve düşük performansla kullanılmaktaydı. Bu dönemde insanlar enerjinin sonlu bir unsur olduğu gerçeği ile yüzleşmemişti. Günümüz şartlarında enerji ekonomik olarak son derece

maliyetli olmasının yanında, elde edilmesi bakımından sosyal ve ekonomik olarak çok ağır bedellerin ödenmesini gerektirmektedir.

Dolayısıyla enerji kullanımına ilişkin paradigmalar günümüz toplumunda ve en yoğun enerji tüketen unsur olan endüstrilerde bütünüyle değişmek durumunda kalmıştır. Enerji kullanımı mümkün olduğunca azaltılarak, alternatif enerji arayışına girilmiştir. Geçmişte enerji üretim santralleri büyük bir yapıda iken, günümüzde enerji üretim santralleri daha küçük birimler çerçevesinde yapılandırılmaktadır. Aynı şekilde geçmişte enerji tedariki sabit ve talep odaklı iken, enerji transferi çoğunlukla analog bağlantılarla sağlanıyordu. Günümüzde ise, dalgalı ve koşullara göre değişen bir tedarik süreci ile birlikte, talep ve arzın uyumlaştırıldığı, dijital unsurların kullanıldığı bir sistem haline gelmişlerdir.

Bu kapsamda enerji üretimi ve tüketimi dahil olmak üzere bütün endüstriyel süreçlerde dijitalleştirme olarak adlandırdığımız bir kavram son derece önemli hale gelmiştir. Dijitalleştirme bütün endüstriyel süreçleri önemli ölçüde etkilemiş, yapısal olarak dönüşümlerine olanak sağlamıştır. Bu sayede hemen tüm süreçler daha nesnel bir görünüme kavuşmuş, planlamaları ve organize edilmeleri kolaylaşmıştır [2].

2.2. Büyük Veri “Big Data” ve Bulut Teknolojisi

“Big Data” yani Türkçe ifade ile “Büyük Veri”, belirli bir süre zarfında elde edilmiş, düzenlenmiş veya düzenlenmemiş yani herhangi bir henüz ananevi metot veya araçlar yardımı ile işlenerek anlamlı bir hal kazanmamış veriler bütünüdür. Bulut teknolojisi ise, internet temelli bir bilgi işlem yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. İnternet ağına bağlanmış büyük sunucular bilgilerin depolanmasını ve paylaşımını sağlar. Bulut teknolojisi ayrıca bilgiye her zaman ve her yerden ulaşılabilmesini esas alan bir teknolojidir. Nesnelerin interneti teknolojisi ile birebir doğrudan ilişki mevcuttur. Bulut bilişim teknolojisinde hem sunucular yardımı ile çok büyük donanım gerektiren hesaplamalar kolayca yapılabilmekte hem de büyük alan gerektiren bilgilerin depo görevi yürütülebilmektedir. Bulut bilişim ile çok düşük yetkinlikte olan bilgisayarlar ile çok yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerektiren hesaplamalar kolayca yapılabilmektedir.

Endüstri 3.0 sürecinden beri giderek artan belirsizlikler; endüstrilerin ve işletmelerin bu değişikliklere cevap verebilmek üzere almak zorunda oldukları

stratejik kararın belirlenmesini ve uygulanmasını son derece zorlaştırmaktadır. İşletmeler ve endüstrilerde karar alma süreçlerinde yer alan yönetici ve operatörler; çoğunlukla karar almalarına imkan sağlayabilecek düzeyde yeterli bilgiye sahip olamadıklarından ya da elde ettiklerinde bu bilgilerin güncelliklerini yitirmiş olduğundan şikayet etmektedirler.

İçinde bulunduğumuz yüzyılda hemen hemen her şey sürekli bir gelişim içerisindedir. Müşterilerin talepleri, kalite bilinci ve beklentileri, imalat teknikleri ve tedarik zinciri prosesleri gibi endüstriyel anlamda ki tüm süreç ve nesneler sürekli ve hızlı bir değişim içerisindedir. Örneğin, günümüzde tüm ihtiyaçları karşıladığı düşünülen bir ürün, beklenti ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kısa süre içerisinde önemini kaybedebilmektedir. Özellikle günümüzün en fazla kullanılan cihazı olan televizyon, cep telefonu ve bilgisayar gibi cihazlar da bu durum kolaylıkla görülebilmektedir. Çoğu insan "Birkaç ay önce aldığım cep telefonunun modası geçti, üst modeli çıktı." diyebilmektedir.

Bu açıdan bakıldığında, değişim açısından baş döndürücü bir hız gösteren dünyamızda endüstriler ve işletmeler aralarındaki rekabette fark yaratabilmek ve öne çıkabilmek için topladıkları verileri çok hızlı bir şekilde işleyerek anlamlı hale getirmek ve operasyonlarını bu anlamlı veriler doğrultusunda tasarımlamak durumundadırlar. Bunda dolayı söz konusu dataların toplanması, sisteme taşınması ve işlenerek anlamlı hale getirilmesinde hız çok önemlidir. Tersi durumda gerçekleşen hızlı dönüşüm ve değişimlere ayak uydurmada geç kalınabilmekte ve rekabetin dışında kalınmaktadır. Büyük veri müşterilerden gelen verilerin toplanması ve gerçek zamanlı karar verme süreçlerinde kullanılan stratejik bilgilerdir.

Günümüz endüstrileri ve işletmeler yüksek rekabet koşullarında alacakları kararları olabildiğince doğru ve yüksek katma değer yaratacak şekilde almak istemektedir. İçerisinde bulunduğumuz bu süreçte yeni fabrikanın ya da perakende satış yapan mağazanın nereye kurulması gerektiği, ürünlere ilişkin indirim ya da fiyat artışlarının yaratacağı etkilerin tam bir başarı ile öngörülebilmesi, dağıtım, depolama vb. hangi lojistik fonksiyona daha fazla yatırımın yapılması gerektiği, kaynakların en etkin bir biçimde nasıl kullanılabileceği gibi soruların yanıtlarını kolayca bulabilmek geçmişte olduğu kadar basit değildir.

Endüstriler ve tedarik zinciri aktörleri alacakları stratejik kararların hedeflere uyumlu olması ve süreç içerisinde meydana gelebilecek değişimlerden etkilenme düzeyinin kabul edilebilir seviyede olmasını istemektedirler. Bu perspektifte

müşterilerine ilişkin tüm bilgi ve verilere ulaşabilmenin sürekli olarak hayalini kurmaktadırlar. İnternetin günümüzde giderek gelişmesi ve içerisine kişisel kullanıcıları da alarak onları sistemin bir bileşeni haline getirmesi bu konuda işletmelerin hayallerine bir adım daha yaklaşmalarına olanak sağlamıştır.

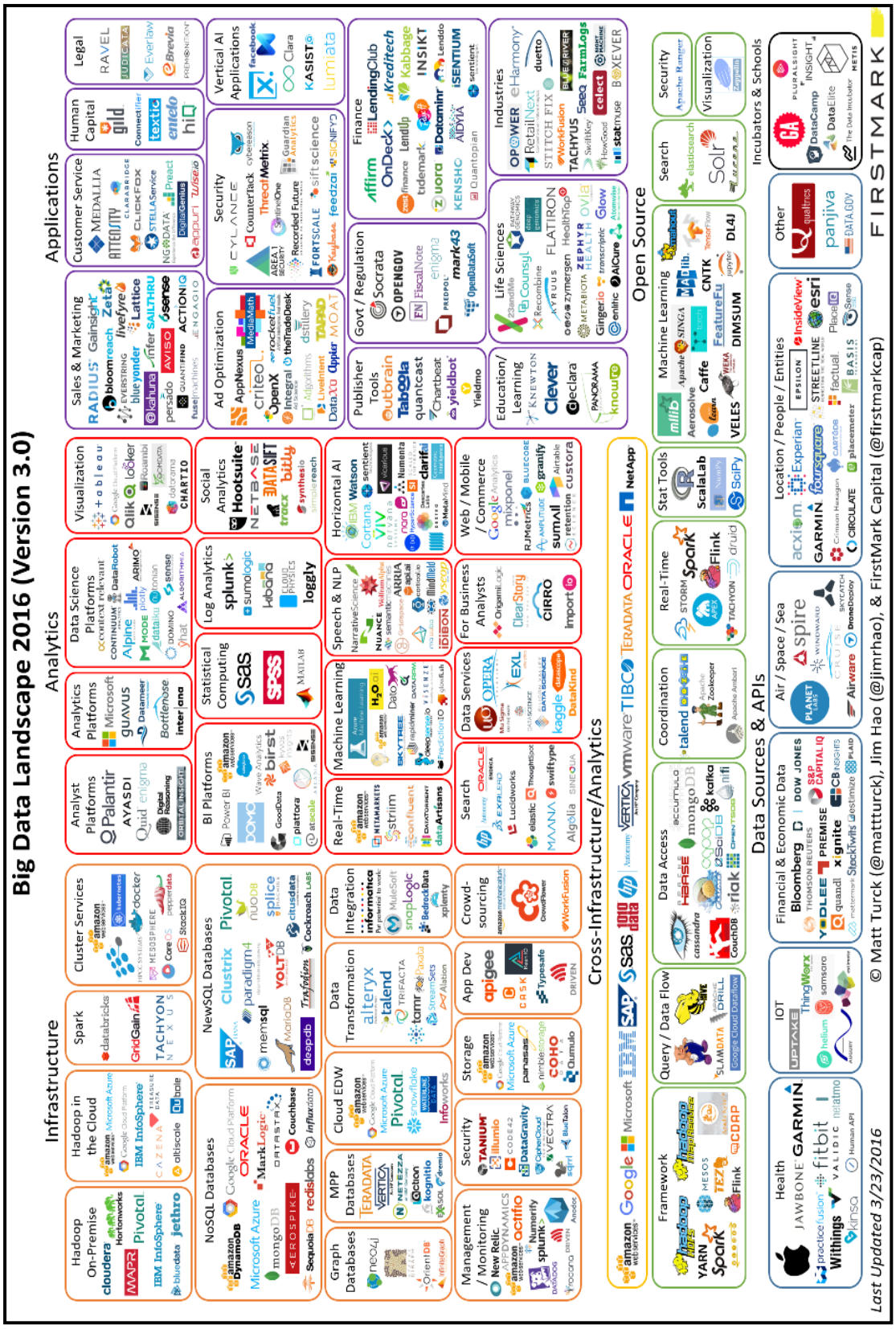
Günümüzde internet kullanıcıları bilerek veya bilmeyerek kendilerine ait olan birçok veriyi sisteme vermektedir. Bir alışveriş sitesinde baktığı ürünler ve geçirdiği zaman, bir sosyal medya ortamında paylaşmış olduğu bir fotoğraf, yer bildirimi veya bir yorum gibi veriler, firmalara müşterilerine sunacakları ürün ve hizmetler konusunda fikir vermektedir. Bu doğrultuda işletmelerin ve endüstrilerin en büyük ihtiyaçlarından biri olan "yüksek hıza" erişebilmekte ki en önemli olanakların başında "Big Data" yani " Büyük Veri" gelmektedir.

Dünyanın değişimine paralel olarak bilgi kavramı da hızlı bir gelişim süreci içerisindedir ve her geçen gün sisteme eklenen bilgi miktarı artmaktadır. Bilim ve teknolojinin gelişimi ile beraber insanlığın üretmiş olduğu bilgiler de artış göstermektedir. Bunun yanı sıra, iletişim ve haberleşme alanlarında gözlemlenen göz alıcı gelişmeler beraberinde bireylerin de dolaylı bir biçimde olsa da kullanıcı olarak sisteme veri girebilmelerine olanak sağlamıştır. Bunun sonucunda büyük veri olarak bahsedilen sisteme veri akışında gözlemlenen artışlar sürekli olarak artış eğilimi göstermektedir. Ek olarak verilerin sadece insanlar üzerinden değil, aynı zamanda nesnelerin interneti çerçevesinde makinelerden de elde edilebilir hale gelmesi; bu veri artışını etkileyen bir başka faktör olmuştur. Örnek olarak, bir taşıma operasyonunda meydana gelen durumlar ve taşımaya ilişkin koşulla; araç üzerinde konumlandırılmış sensörler ve GPS tabanlı sistemler ile veri olarak büyük veri sistemine aktarılabilmekte, burada veriler işlemsel bir hale getirilerek düzeltici ve iyileştirici uygulamalarda kullanılabilmektedir.

Elde edilen bir bilgi dijital olarak dönüştürüldükten sonra büyük veri sistemine eklenebilmekte ve sonrasında bu bilgiden faydalanılabilmektedir. Bunun en belirgin örneklerinden birisi de GIS olarak adlandırılan coğrafi bilgi sistemleridir. Bu sistemlerde sayısallaştırılan haritalara kullanıcılar tarafından veri tabanları üzerinden erişebilmekte ve bu haritalar çeşitli analizlerde kullanılabilmektedir.

Büyük veri; sınırları çok geniş olan ve gün geçtikçe de genişleyen bir sitemdir. Dijitalleştirilmiş tüm veriler bu sistemin kapsamı içerisindedir. Dolayısıyla sisteme veri giren tüm unsurlar da büyük veri sisteminin bir bileşeni haline gelmektedir. Akla

gelemeyecek birçok eylem ve hareket büyük veri kavramı perspektifinde veri anlamına gelebilmekte, alınacak karar ve uygulamalara temel teşkil edebilmektedir.



Şekil 2.1: 2016 yılı itibariyle bazı büyük veri sağlayıcıları.

Verilerin miktarı ve akış düzeyi dikkate alındığında büyük veriye transfer edilen bilgiler çoğunlukla karmaşık, düzensiz, dolayısıyla bu haliyle işlevsiz olabilir. Bu nedenle bu verilerin kullanılabilir hale getirilmesi son derece önemlidir. Endüstriler ve işletmeler büyük veri üzerinde yer alan veri kümesini filtre ederek kendileri için gerekli bilgileri de elde edebilmektedir. Dolayısıyla büyük veri sisteminde yer alan bilgilerin kullanılabilir olabilmesi için endekslenmiş olması da gerekmektedir. Kullanıcıların bu kadar yoğun ve giderek de artan veri kümesi içerisinde aradıklarını kolayca bulabilmeleri buna bağlıdır [2].

2.3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar

Üç boyutlu bir diğer adı ile 3D yazıcı; dijital ortamdaki üç boyutlu bir veriyi birebir olarak bir nesneye dönüştürebilen makinelerdir. Motorlar ve elektronik parçalar haricinde hemen hemen tüm mekanik elemanlar üç boyutlu yazıcılar tarafından üretilebilmektedir. Değişik yöntem ve şekillerde baskı işlemi yapan üç boyutlu yazıcılar bulunmaktadır. 3D yazıcıların ana işlem mantığı, bilgisayarlar aracılığı ile dizayn edilmiş olan bir parçanın sanal olarak tabakalara ayrılmasına ve her tabakanın eritilmiş olan hammaddenin dökülerek üst üste gelmesi suretiyle basılması olarak açıklanabilir.

Yeni bir teknoloji olarak nitelendirilen üç boyutlu yazıcılar, bilinenin aksine son döneme ait bir teknoloji değildir. İlk olarak 1984 yılında uygulanmış ve temelleri bu tarihte atılmıştır. Ancak 1984 yılından bu yana bu teknoloji ağırlıklı olarak hızlı modelleme anlamında kullanılmış ve bu alan dışında pek fazla ilgi duyulmamıştır. 2006'da hayata geçirilen *"Reprap Projesi"* sayesinde bu teknoloji çok daha geniş kitlelerle buluşturulmuştur. Endüstriyel üretim açısından bakıldığında 3D yazıcılarla birlikte stoklama ihtiyacının ortadan kalkacağını öngörmek zor değildir. Zira üretilecek olan ürünle ilgili tüm bilgiler bilgisayar ortamında saklanacağı için istenilen miktarda ürün, istenilen zaman diliminde kolaylıkla üretilebilecektir. Böylelikle stok maliyeti oluşturan yedek parça anlayışı ortadan kaldırılacak ve bu bütçeler daha etkin alanlara aktarılarak verimlilik artışı sağlayacak ve israf da azaltılmış olacaktır [9].

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri; sanayide bugüne kadar gerçekleştirilmeye çalışılan sıfır stok yaklaşımını mümkün kılacaktır. Bu yazıcılar sayesinde bilgisayar ortamında dizayn edilmiş ürünlerden istenilen zamanda istenilen miktarda ürün

üretileceğinden stok tutma ihtiyacı ortadan kalkacaktır. Sonuç olarak, üretim ve tedarik maliyetleri azaltılabilecek, sistemin getirileri ciddi oranda artırılabilecektir. Aynı zamanda, 3D yazıcı sistemleri gerçek hayatta var olan nesnelerin üretilmesine de imkan tanıyacak, nesnelerin tasarımcılarca algılanması için olası hatalar ve öznel değerlendirmelerin devre dışı bırakılmasına imkan tanıyacaktır. Bir nesnenin fotoğraflarının sanal ortamda tanımlanması ile söz bahse konu nesneye ait elektronik ölçekte değişkenler de otomatik olarak tanımlanmış olmakta, sonuç olarak tamamıyla nesnel ve gerçek dünya ile uyumlu veriler elde edilebilecektir. Söz konusu verilerin üretim sürecine transfer edilmesiyle gerçekte üretilmek istenen ürünler ortaya konabilecektir.

Öte yandan gerçek Dünya üzerinde bir nesne sanal ortama aktarıldığında, 3D yazıcılar ile üretim prosesine sokulmadan önce düzenlenebilmekte, renk, şekil vb. parametreler çerçevesinde tasarımcılar tarafından biçimlendirilebilmektedir. Dolayısıyla, bu sistemler tasarımcıların kişisel kabiliyet ve yaklaşımlarını da ortadan kaldırmamakta, üretilmesi planlanan ürün üzerinde son derece geniş bir perspektifte revizyon yapabilmek mümkün olmaktadır [2].

Şekil 2.2: 3D Yazıcı ile yapılmış gerçek bir araba.

2.3.1. 3D Yazıcıların Çalışma Prensibi

Üç boyutlu yazıcı teknolojisini üç ana aşaması bulunmaktadır.

- Modelleme

İmal edilmek istenen ürünün üç boyutlu tasarım yazılımları veya tarama sistemleri ile dijital ortama taşınması aşamasıdır. Daha sonra söz konusu tasarımın STL formatına dönüştürülmesi gerçekleştirilerek, yazdırma aşamasına geçilmektedir.

• Üç Boyutlu (3D) Baskı

Üç boyutlu baskı işleminde üretilmek istenilen nesne, katmanlar halinde üst üste işlenerek oluşturulmaktadır. Günümüzde bu tabakalar; sterolitografi, lazer sinterleme ve plastik eritme gibi yöntemler aracılığı ile üretilebilmektedir. Yazıcının bu katmanlar üzerindeki işleme yolunu izlemesi için STL uzantılı dosya, hazırlanan model dilimleme yazılımı ile dizaynın şekline göre gerekli işlemeyi yapmaktadır.

• Yüzey İyileştirme

Üç boyutlu yazıcı henüz daha çok yeni bir teknoloji olmasından dolayı, bu yöntem ile üretilmiş objeler, diğer mevcut üretim yöntemlerine göre daha kaba olabilmektedirler. Bu nedenle boyutsal ve yüzeysel anlamda kritik objeler için yüzey pürüzlülüğü giderme, temizleme ve hassas ölçülerin ayarlanması gibi işlemler yapılabilmektedir.

2.3.2. 3D Yazıcıların Teknolojileri

Üç boyutlu yazıcılar değişik teknolojiler yardımı ile üretim gerçekleştirebilmektedir. Bu teknolojilerin en popüleri Fused Deposition Modelling (FDM) adı verilen birleştirmeli yığma modelidir. Bu işlemde ısı ile kolayca şekil değiştirebilen polimer esaslı termoplastik malzemeler (ABS, PLA) kullanılmaktadır. Plastik esaslı malzemelerde en yüksek malzeme direnci bu teknoloji vasıtası ile elde edilebilmektedir.

Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin hepsi katmanların üst üste yığılması prensibine göre çalışmaktadır. Fakat katmanların oluşturulma biçimleri tekniklere göre değişmektedir. Katmanların yığılmasında farklı birçok teknolojiden faydalanabilmektedir. Elektron ışın kaynakları, ultraviyole kürleme ve lazerler örnek olarak verilebilmektedir. Fused Deposition Modelling (FDM) yani birleştirmeli yığma modelinin ardından en fazla kullanılan yöntem “Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering – SLS)’ dir. Sinterleme yöntemi, toz metalürjisinde kullanılan bir çeşit teknolojidir. Toz haldeki metallerin belirli basınç ve ısı altında katı nesnelere dönüşmesidir. Lazer tarayıcı adı verilen bir eleman yardımı ile lazer ışınlarının, insan gözünün çok zor algılayacağı hızda tabakalar oluşturabilmektedir. SLS yönteminde seramik, plastik ve metal olmak üzere değişik malzeme ve birden fazla malzemenin kombinasyonu, lazer gücü ile ilişkili olarak kullanılabilmektedir [9].

2.3.3. 3D Yazıcılar İle Neler Yapılabilir?

Üç boyutlu yazıcılar ile birçok farklı malzeme ve yöntemin kombinasyonlu kullanımları dahil kullanılarak çok büyük bir alanda yarar sağlanabilir. Genetik biliminden bilgi teknolojisine, tıp sanayinden endüstriyel uygulamalara, gıda üretiminden şehir bölge planlamasına, kuyumculuğa vb. birçok farklı sektörde üç boyutlu yazıcı kullanılmaktadır. Model detay ve boyutuna bağlı olarak baskı işlemi süresi değişebilmektedir. Üç boyutlu yazıcılar yardımı ile; bioorganik maddeler ile yapılan damardan, böbreğe kadar her türlü organ ve dokuları, oyuncaklar, müzik aletleri, el aletleri ve hatta arabaya kadar hemen hemen her şey imal edilebilmektedir.

Maliyetlerin önemli oranda aşağı çekilmesini sağlayacak olan bu yazıcılar, özellikle büyümekte olan ülkelerin ilerlemesinde çok büyük fayda sağlayacaklardır. İmalat teknolojisine göz ardı edilemeyecek derecede farklılıklar ve modernizasyon getiren üç boyutlu yazıcılar ile benzersiz tasarımlar fiziki nesnelere, ilk örneklere ve bitmiş ürünlere hızlıca dönüştürülebilecektir.

Dizaynın dijital ortamlarda oluşturulması farklı bilgisayar destekli tasarım programları yardımı ile sağlanabilmektedir. Ayrıca üç boyutlu tarayıcılar yardımı ile de mevcut bir nesnenin tasarımı dijital ortama taşınabilmektedir. Çağımızda üç boyutlu yazıcılar yardımı ile hareket kabiliyeti olan, sınırsız renk seçeneğine sahip, alternatif boyutlarda prototipler imal edilebilmektedir. Business News Daily gazetesinin yayınlamış olduğu bir habere göre, üç boyutlu yazıcı teknolojisi 2020 yılına kadar 5 milyar doların üzerine çıkacaktır [9].

2.3.4. Dört Boyutlu (4D) Yazıcılar

Bilim ve teknoloji alanında yürütülen çalışmaların, kısa bir zamanda üretimde dört boyutlu (4D) yazıcıların kullanılmasını sağlayacağı tahmin edilmektedir. 3D yazıcı ile üretilen ürünlerle kıyaslandığında 4D yazıcı ile üretilen ürünlerin üç boyutlu olmalarının yanı sıra bulundukları ortam koşullarına göre kendi kendilerine şekil değiştirerek uyum sağlama özelliği olacaktır.

4D yazıcı ile üretilmiş; düz formlu metal bir nesnenin su altına konulduktan sonra kendiliğinden boru şekline dönüşmesi, normal bir ayakkabının hava şartlarına göre bot veya sandalet şeklini almadı gibi ürünler söz konusu teknolojiye örnek olup,

4D yazıcılar ile birlikte yaşantımızda oluşacak değişim ve yenilikleri temsil etmektedir [9].

2.4. Siber-Fiziksel Sistemler

Siber-fiziksel sistemler; bilgisayar teknolojilerinin fiziki öğeler ile bütünleştirildiği, disiplinler arası bir karakterde ve ciddi anlamda kompleks olan sistemleri tanımlayan bir ifadedir [10]. Dolayısıyla, siber-fiziksel sistemler; üretim sistemleri, lojistik süreçler ve değer zinciri içerisinde gerçekleştirilen operasyonları bunların arasında koordinasyonu ve uyumu en üst düzeyde sağlayarak yürütebilen sistemlerdir. Bu sistemler insan gücü ve zekası ile gerçekleştirilmesi son derece güç olan işlemleri anlık olarak yaparak, mükemmel hale getirebilmekte ve en yüksek performans düzeyinde operasyonları yönetebilmektedir.

Siber fiziksel sistemler üretim ve lojistik süreçlerde kullanılan makine ve ekipmanları ileri düzeyde teknolojik unsurlarla donatarak, bunları akıllı hale getiren ve farklı ve değişken durumlara özel çözümler yaratabilen, aynı zamanda bu çözümleri otonom olarak uygulayabilen sistemlerdir. En kısa ifadesiyle siber fiziksel sistemler; farklı koşullara göre değişebilen tutumlar geliştiren, teknolojik unsurlarla donatılmış makine, ekipman vb. türde fiziksel unsurların akıllı sistemler haline gelmesi şeklinde tanımlanabilmektedir. Ulusal Bilim Kurumu (The National Science Foundation), siber-fiziksel sistemleri; “Siber-fiziksel sistemler; gözlemleme, koordinasyon ve kontrol gibi üretim süreçlerindeki temel prensiplerin, hesaplama ve iletişim bileşkesinden oluşan karma teknoloji tarafından yönetildiği sistemlerdir. Söz konusu karma teknoloji daha açık bir ifadeyle, fiziksel makineleri siber teknoloji ile bütünleştirme yoluyla çok daha akıllı hale getirmektedir. Bu bağlamda, süreç bir bütün halinde siber-fiziksel sistemlerdir.” şeklinde tanımlamaktadır [11].

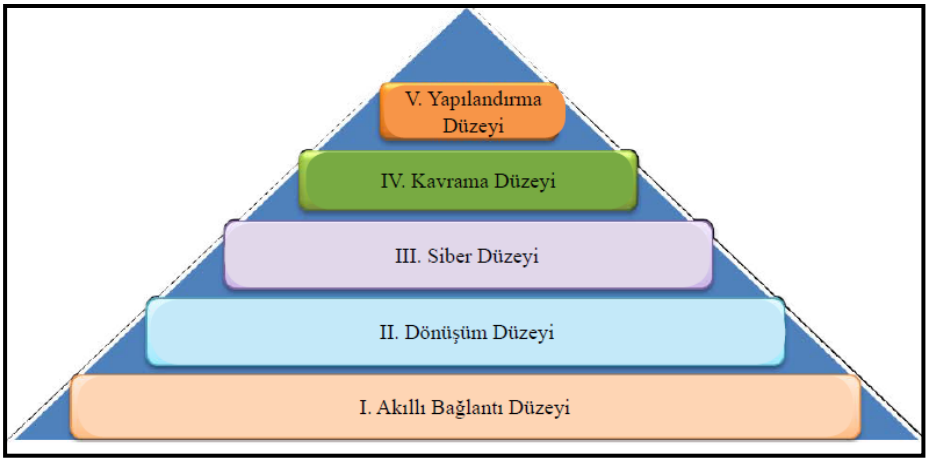
Günümüzde siber fiziksel sistemler sadece endüstrilerde değil, aynı zamanda günlük yaşam dahil hayatın her alanında kullanılmaktadır. Akıllı evler, klimalar, elektronik cihazlar, otomobiller vb. birçok unsur siber fiziksel sistemler çerçevesinde fonksiyonel olabilmektedir. Otomobillerin klimasının sürücüsü daha uyanmadan çalışmaya başlaması, sürüş sırasında camlara damlayan yağmur damlalarının algılanarak sileceklerin otomatik olarak çalışması, siber fiziksel sistemler sayesinde elde edilen konforlara örnek olarak verilebilir [2].

Dördüncü sanayi devrimi kendisinden önceki diğer üç sürümden ciddi anlamda farklı bir yaklaşımdadır. 1. Endüstri Devrimi'nde üretim su ve buhar gücü dayalıyken, onu takip eden ikinci endüstriyel devrimde elektrik enerjisine dayalı seri üretime geçilmiştir. Sonrasında üçüncü endüstriyel devrim ile dijitalleşme sayesinde elektronik kullanım arttırılmıştır. Dördüncü sanayi devriminde ise mevcut sanayi sisteminin bilgisayarlaştırılması desteklenerek gelişmiş teknoloji ile donatılması amaçlanmaktadır. Bu endüstriyel devrim ile "akıllı" makinalar, çevrelerinde olanları algılayabilecek ve birbirleriyle internet yardım ile iletişime geçebileceklerdir. Diğer bir ifadeyle, "Dördüncü Sanayi Devrimi", mevcut üretim sistemi teknolojisi ile akıllı ürün imalat proseslerini birleştirerek, yepyeni bir teknolojinin meydana getirilmesi ve bu yeni teknolojinin sanayinin tüm kollarında yaygınlaştırılmasını ve birbirleri ile iletişim halinde olan bir sistem kurmayı amaçlamaktadır [6].

Günümüz sanayisinde işletmeler, ileri ürünler üretebilmek için gerekli olan tüm bilgilerin gömülü sistemler içinde hızlıca transfer edilebilmesi hususunda sorunlarla karşılaşmaktadır. Mevcut teknolojiler ile üretim gerçekleştiren birçok sistem, analitik ve akıllı sistemlere sahip olmadığından dolayı söz konusu büyük veriyi sisteme hızlıca transfer etme ve değerlendirme hususunda henüz istenilen seviyede değildir. Endüstri 4.0, Siber-fiziksel sistemlerin yer aldığı imalat ve diğer tüm tedarik zinciri unsurlarının inovasyonunu hedeflemektedir. Siber-fiziksel sistemlerde, "bulut teknolojisi" gibi son dönemde oldukça popüler bilgi depolama ve haberleşme teknolojilerinin, üretimde verimi, esneklik ve kalitenin artırılması için mevcut sistemler ile bütünleştirilmesini, muhtemel verimi çözümleyerek piyasada rekabet gücünün artırılmasını mümkün kılacaktır. Dördüncü sanayi devriminde daha fazla yazılım ve gömülü akıllı sistemlerin bir arada bulunduğu, kestirim yeteneği ve gelişmiş algoritmalar üretme yeteneğine sahip elektronik donanımlara gereksinim oldukça fazladır. Dışarıdan müdahale gerekmeksizin kendi kendini yönetebilen, bu doğrultuda karar alabilen ve an be an birbirleri ile iletişim kurabilen sistemler, bu sanayi devriminin ana kapsamını oluşturmaktadır [6].

Siber-fiziksel sistemler, üretime ait tüm analizleri fiziki prosesler ile entegre edebilen sistemler olarak tanımlanabilir [6]. Siber fiziksel üretim sistemlerini temel alan dördüncü sanayi devrimi, 5C mimarisi esasına dayanmaktadır. (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4) Birinci aşamada, makineler özünü algılayacak ve sisteme kendi kendisine bağlanacak bir biçimde dizayn edilebilmektedir. Bu seviye, cihazlardan zamanında ve kesin veri alma bir siber fiziksel sistem kurulması için ilk seviyedir. İkinci aşama olan

dönüşüm düzeyinde kendi kapasitesini bilen, kritik durum analizini yapabilen ve sistem ile kendi kendisine bağlantı sağlamış olan makineler sensörler yardımıyla anlık olarak analiz gerçekleştirebilir ve yaşanabilecek problemleri öngörür hale gelir. Bu aşamada önemli olan iki etmene dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki data toplanması sürecini yönetmek ve ana sisteme data transfer edilmesi sırasında sürekli ve IP serbest iletişim yöntemidir. Diğeri önemli husus ise, uygun tip ve özellikte reseptör seçimidir. Verinin bilgiye dönüştürülmesinde doğru analiz edilmesi ve anlam içeren bilgiye dönüştürülmesi gereklidir.

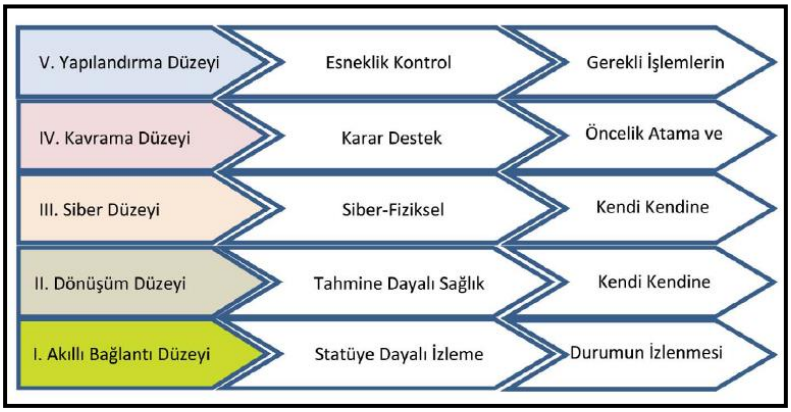


Şekil 2.3: Siber fiziksel kurulumu için 5C mimarisi.

Üçüncü seviye olan siber seviyesinde tüm cihazlar, takip ettiği ve sürekli olarak ölçüm gerçekleştirdiği özellikleri yardımı ile siber uzayda kendisinin ikizini oluşturmaktadır. Bu sayede zaman makinası metodu yardımı ile kendisinin eş düzey performans karşılaştırmasını yaparak sağlık seviyesini ayırt edebilmektedir. Siber aşaması, siber fiziksel mimarisinde ana bilgi merkezi olarak yer alır. Bilgi ağının sağlanabilmesi bağlı tüm cihazlardan bilgi akışı sağlanır. Detaylı bilgi toplanmasının akabinde, spesifik analizler yardımı ile sistem içerisinde yer alan tüm cihazların durumlarını daha sağlıklı anlaşılmasını sağlayan ilave bilgiler derler. Bu durum cihazların kendilerini karşılaştırma kabiliyeti sağlamakta ve bağlı her cihazın performansını diğer cihazlar ile karşılaştırma imkanını oluşturmaktadır. Ayrıca makinenin geçmiş performanslarıyla karşılaştırma yaparak ileriki dönemler için kestirim yapılabilir hale gelmektedir. Dördüncü seviyede problemlerin bağlam ve kapsamını tespit etmek maksadıyla, öz değerlendirme sonuçları çizelge ve grafikler yardımı ile sistem kullanıcılarının hizmetine sunulmaktadır. Bu aşamada, Siber-

fiziksel sistem uygulanması takip edilen sistem ile ilgili ayrıntılı olarak bilgi oluşturulması gerçekleştirilir. Elde edilen bilginin yetkin sistem kullanıcılarına doğru bir biçimde şekilde iletilmesi etkili ve doğru kararlar alınmasını sağlamaktadır. Karşılaştırmalı bilgilere ek olarak, tek makine durumu söz konusu olduğunda, devam eden işlemin iyileştirilmesi amacı ile görevlerin belirlenmesinde önceliklendirme yapılabilmektedir. Bu seviyede kullanıcılara elde edilen bilginin iletilebilmesi için çizelgeler ve grafiklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Beşinci seviye olan yapılandırma düzeyinde, esnek bir performans sağlamak üzere üretim sisteminin veya makinenin risklerinin ve önceliklerinin ele alınarak tekrar biçimlendirilmesi gerçekleştirilir. Yapılandırma aşaması, fiziksel uzayın siber uzaydan geri bildirim aldığı aşamadır. Makine, bu bildirimi denetleyerek kendisini yeniden yapılandırmaya ve sistem içerisindeki adaptasyonunu korumaya / düzeltmeye çalışmaktadır. Bu aşama, dördüncü seviyede takip edilen sistemde olduğu şekilde kavrama seviyesinde izlenen sistemdeki gibi, düzeltici ve önleyici kararların uygulanması için Esneklik Kontrol sistemi gibi davranır [6].



Şekil 2.4: 5C mimari uygulamaları ve teknikleri.

2.5. Artırılmış (Zenginleştirilmiş) Gerçeklik

“Augmented reality” ifadesi Türkçe’ ye “artırılmış gerçeklik”, “zenginleştirilmiş gerçeklik” ya da “desteklenmiş gerçeklik” olarak çevrilmektedir. Artırılmış gerçeklik, dünya üzerinde var olan tüm kazanılmış bilgilerin, belirli araçlar vasıtasıyla elde edilen fotoğraf/video veya diğer bilgiler ile derlenerek birlikte kullanılabilmesini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, gerçek bir çevre ve o çevredeki canlıların ve nesnelerin görüntülerinin, bilgisayarlar tarafından üretilen grafik, ses ve

konum verileri gibi ek veriler ve görsel efektlerle gerçek zamanlı olarak zenginleştirilerek daha detaylı ve anlaşılır bir şekilde tanımlanmasını sağlar. Sanal gerçeklikte görüntülenen/görüntülenecek canlılar ve nesneler sadece bilgisayar ortamında oluşturulup simüle edilirken, artırılmış gerçeklikte temel olarak "gerçek" bir dünya görüntüsü bulunmaktadır. Artırılmış gerçeklik için verilebilecek basit ama belki de en iyi ve en bilinen örnek futbol maçlarında taraftarlara çizgiler veya çemberler yardımıyla belirli mesafelerin (örneğin serbest vuruş mesafesinin) gösterilmesidir. Artırılmış gerçeklik kapsamında üretilen bilgi ve veriler kuramsal olarak insanların tüm duyularına hitap edecek şekilde organize edilebilecek olsa da, artırılmış gerçeklik daha çok görsel bir hizmet olarak algılanmakta ve bu şekilde kullanılmaktadır.

Tarihsel sürece bakıldığında artırılmış gerçeklik ilk olarak Ivan Sutherland (Harvard Üniversitesi) ve öğrencisi tarafından 1960 senesinde Şekil 2.8 de gösterilen "Gerçeklik Sanallık Düzlemi" şeklinde ifade edilmiştir [12].

Şekil 2.5: Gerçeklik – Sanallık düzlemi.

Artırılmış gerçeklik; video, ses, GPS verisi, ve grafikler gibi dijital olarak üretilen ve duyusal anlam taşıyan unsurların reel dünya ile entegre edilmesi sonucu meydana gelen yeni bir duyusal ortamın direkt veya dolaylı yoldan canlı bir görünümüdür. Zenginleştirilmiş gerçeklik sayesinde insanların duyularını harekete geçirecek girdiler bilgisayarlar yardımı ile zenginleştirilerek yeni bir gerçeklik ortamı oluşturulmaktadır.

2.5.1. Artırılmış (Zenginleştirilmiş) Gerçekliğin Endüstride Kullanımı;

Günümüzde bu sistemler çok yeni olmalarına rağmen gelecekte işletmeler proseslerini geliştirme ve karar verme mekanizmalarında zenginleştirilmiş gerçeklikten çok faydalanacaktır. Örneğin, operatörler bir gözlük yardımı ile

kullanmakta olduğu cihazlar ile ilgili tüm bilgi ve dokümanlara bir butona tıklayarak ulaşabilecek ve istediği şekilde ilgili parametrelere müdahale edebilecek, tüm bakım onarım doküman ve talimatlarına kolaylıkla ulaşabilecektir. Artırılmış gerçekliğini endüstride belli başlı kullanım alanları aşağıdaki şekillerdedir.

- Endüstriyel Tasarım

Artırılmış gerçeklik, endüstriyel tasarımcıların dizayn ettikleri ürünleri nihayetlendirmeden önce tasarım ve işleyiş bakımından denemelerine imkan tanır. Örneğin, dünya otomotiv liderlerinden Volkswagen firması çarpışma testlerinin görüntülerini analiz ederken zenginleştirilmiş gerçeklikten faydalanmaktadır. Zenginleştirilmiş gerçeklik bir aracın motor ve gövde yapısının görselleştirilmesi ve bu görseller yardımı ile işlem yapılabilmesi amacı ile de kullanılabilmektedir.

- Ambalajlama ve Pazarlama

Zenginleştirilmiş gerçeklik yardımı ile kullanıcılara ürünlerin ambalajını açmadan ambalaj içerisinde bulunan ürün hakkında bilgi vermek mümkündür. Zenginleştirilmiş gerçeklikten müşterinin sipariş aşamasında katalog üzerinden seçimini yaparken faydalanılabilir. Ürünlerin dijital ortama taşınmış olan görüntülerinin müşteriye sunulması ve ilave bilgi ve yorumların bulunduğu zenginleştirilmiş kataloglar oluşturulabilir.

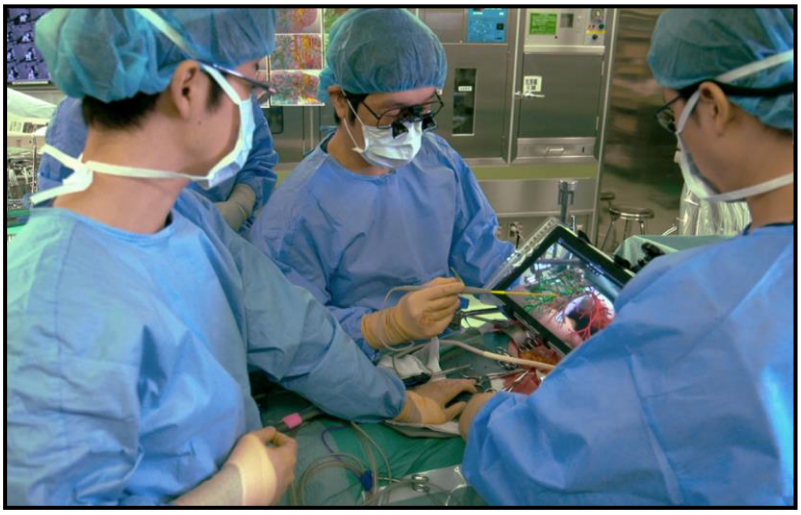
- Çevresel Etkileşim

Zenginleştirilmiş gerçeklik yardımı ile gerçekte aynı ortamda bulunmayan sanal katılımcıların ekip çalışması sağlanabilir. Aynı ortamda olunmasa bile bir aradaymış gibi toplantı gerçekleştirebilmektedir. Bilgisayar yardımı ile sunum, grafik tablo gibi toplantı materyallerinin aynı anda kullanıcıların ekranlarına sunulabilmekte ve aynı ortamdaymış gibi herkes tarafından görülebilmektedir.

- Görev Desteği

Zenginleştirilmiş gerçeklik, tıbbi uygulamalar, bakım-onarım, ayar ve montaj gibi kimi zaman karmaşık olabilecek işlemlerin kolaylaştırılmasını sağlayabilir. Örneğin, bir bakım-onarım personeli bir makinenin bakım kılavuzu üzerinde parçaların görüntülerine ve uygulama görüntülerine erişebilir ve bu sayede uygulamada hatasız bir yol izleyebilir. Zenginleştirilmiş gerçeklik, özellikle montaj

hatlarında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. BMW, Volkswagen ve Boeing gibi dünya devi firmalar imalat ve montaj hatlarında artırılmış gerçeklikten faydalanmaktadır. Zenginleştirilmiş gerçeklik yardımı ile bir makinede meydana gelebilecek problemin yeri ve sebebi daha kolay tespit edilebilmekte ve müdahale işlemi daha kolay olmaktadır.



Şekil 2.6: Bir karaciğer ameliyatı sırasında faydalanılan "artırılmış gerçeklik" uygulamasına ait bir görüntü.

Şekil 2.7: Volkswagen firmasının "Marta" projesinde kullanmış olduğu "artırılmış gerçeklik" uygulamasından görüntüler.

• Yenilikçi (İnovatif) Ürünler

Zenginleştirilmiş gerçeklik henüz çok yeni bir teknoloji olmakla beraber insanlar tarafından çeşitli amaçlarla kullanılmaya ve benimsenmeye başlanmıştır. Söz konusu bu teknolojik uygulama ile üretilebilecek ürün ve hizmetler neredeyse sınırsızdır. Başka deyişle, artırılmış gerçeklik teknolojisinden faydalanan mühendisler ve tasarımcılar bu teknolojiyi kullanarak sınırsız yaratıcı fikir ve ürün üretebilecektir. Artırılmış gerçeklik uygulamaları cep telefonları, sağlık, turizm ve savunma sanayisi gibi tüm sanayilerde çok sık olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Devrim niteliği taşıyan bu teknolojik yeniliğe uyum sağlayabilmek için işletmeler ciddi hazırlıklar yapmak durumundadır. Ancak söz konusu bu değişim sadece yapmış olmak için değil, gerçek anlamda imalat, bakım-onarım, tasarım ve pazarlama gibi gerçek anlamda sağlayacak şekilde proseslere entegre edilmelidir.

İmalat sektörü açısından değerlendirildiğinde, artırılmış gerçeklik teknolojisi "akıllı fabrikalar" kurulabilmesi için gerekli esas fonksiyonların yerine getirilmesi açısından da kritik öneme sahiptir. Bir üretim tesisinin üç boyutlu bir kopyasının oluşturulması sonrasında bu işletme içerisinde farklı algılayıcılardan elde edilen datalar kullanıcılara ulaştırılabilecektir. Sanal anlamda sahanın ziyaret edilebilmesini sağlayabilecek olan bu uygulamada, imalat sürecinin reel zamanlı olarak takip edilebilecektir. Diğer bir ifade ile işletmenin herhangi bir biriminde bir sorunun henüz başlangıç aşamasında iken sorunun tespiti ve imalat prosesini etkilemeden, müdahale edilebilmesi imkanı olacaktır. Ayrıca bu tür bir uygulama ile yöneticiler herhangi bir işletmeye fiziki anlamda gitmeye gerek duymadan işletmeler içerisinde gezinebilecek ve gerçek zamanlı olarak üretimi takip edebileceklerdir.

Şekil 2.8: Operasyonel ve bakım faaliyetlerinde kullanılan bir artırılmış gerçeklik uygulaması görüntüsü.

2.6. Akıllı Endüstriyel Robotlar

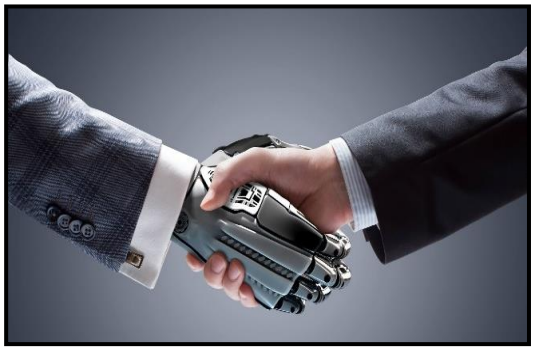
Robot genel olarak, belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma ile kendisine çeşitli işler yaptırılabilen elektro mekanik cihazlar olarak ifade edilmektedir. Robotlar gerçek bir kullanıcı veya direkt olarak bir bilgisayar yardımı ile otonom olarak çalışabilmektedirler. Çağımızda robotlar hemen hemen tüm endüstirilerde kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sanayinde robotlardan çokça faydalanılmaktadır. Robot teknolojisi, "mekatronik" veya "robotik" olarak da ifade edilmektedir. Mekatronik ifadesi, "mekanik" ve "elektronik" terimlerinin bir araya gelmesi ile oluşan bir ifade olup ilk olarak Japonya'da kullanılmıştır. Mekatronik dalı; makina, elektrik/elektronik, kontrol ve yazılım mühendisliklerini esas alan çok alanlı bir mühendislik dalıdır [9].

"Otomasyon" denildiğinde akla gelen kelimelerin başında robot teknolojisi veya robotlar gelmektedir. Objektif çözümleme yetenekleri ile insan kaynaklı hataların minimuma indirilmesi amacıyla kullanılan robotlar, günümüz endüstrisinde çok yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu nedenle robotlar, dördüncü sanayi devriminin hedefi olan akıllı, karanlık fabrikaların kurulabilmesi için çok büyük önem taşımakta ve bu devrime öncülük etmektedir. Örnek olarak, gelecekte robotlar ile donatılmış akıllı bir fabrikada, robotlar birbirleri ile sürekli iletişim halinde olacak ve böylelikle iş yoğunluğuna ve diğer robotların performansına göre gerekirse destek ve/veya iş bölümünü sağlayacaklardır. Ayrıca anlık üretim planı değişikliklerine uyum sağlayabilecek veya müşterilerin özel taleplerine göre imalat gerçekleştirerek esnek üretim uygulamasını sağlayabileceklerdir. Günümüzde robot teknolojisinin en yaygın kullanıldı otomotiv sanayiinde robotlar; kaynak, boyama, kalite kontrol, montaj gibi önemli süreçleri kendi başlarına gerçekleştirmektedirler. Ancak dördüncü sanayi devrimi ile bu otomasyon uygulaması bir adım daha öteye taşınarak bu robotların birbirleri ile de iletişim kurması sağlanacak ve daha entegre bir robot ağı oluşması sağlanacaktır. Örneğin, montaj alanında hizmet veren bir robot herhangi bir nedenle boyama hattında oluşabilecek bir ihtiyaç halinde bunu algılayabilecek ve herhangi bir insan komutu gerekmeksizin, kendi analiz ve karar verme kabiliyetiyle boyama hattına gidecek ve orada hizmet verebilecektir.

Endüstriyel robotlar; üretim faaliyetleri açısından devrim yaratabilecek bir karaktere sahiptir. Özellikle geçmişte insan gücüne dayalı olan ancak esasen insan

gücü ile yapılmasının üretim açısından pek fark yaratmadığı faaliyetler günümüzde robotlarca yapılmaktadır. Robotlar ilk olarak 1960'lı yılların başından itibaren endüstriyel faaliyetlerde kullanılmaya başlanmıştır. 1961 yılında General Motors'da ilk kez endüstriyel robot kullanılmaya başlanmıştır. Ultimate adı verilen bu cihaz baskı vb. bir takım işlemlerde kullanılmıştır. Bu süreçte kullanılan robotlar tümüyle insan faktörüne dayanmaktaydı. Dolayısıyla operatörler olmaksızın bütünüyle işlevsizdi. Buna karşılık robotlar kaynak ve montaj gibi çeşitli üretim faaliyetlerinde kayda değer bir verim artışı ve performans sağlamışlardır. Bunun üzerine robotların diğer endüstriyel faaliyetlerde de nasıl kullanılabileceği yöneticilerin ve araştırmacıların öncelikli konusu haline gelmiştir.

Robotların endüstriyel süreçlerde kullanımı çok yakın bir süreçte söz konusu olmadığı gibi, geçmişte üretimde kullanılan robotlar akıllı cihazlar değildi ve yüksek risk yaratan faaliyetlerde ancak operatörler tarafından yönetilerek işlevsel olabiliyorlardı. Günümüzde ise robotlar giderek daha fazla insani özellikler kazanmaya başlamış, insanlara ilişkin yeteneklerle donatılmaları hızlanmıştır.



Şekil 2.9: Akıllı endüstriyel robotların Türkiye' de önümüzdeki 30 yıl içerisinde iş başı yapması beklenmektedir.

Endüstride kullanılan robotlar; kavrama, çözümleme ve data toplama anlamında git gide daha da kabiliyetli hale gelmektedir. Robotların endüstrilerde etkin bir rol üstlenmesi ile birlikte endüstriler insan faktörü kaynaklı problemlerden büyük oranda arınabilmiş, üretim süreçleri daha standart ölçütler çerçevesinde yapılandırılabilmiştir. İnsan faktörü fizyolojik ve psikolojik durumları neticesinde endüstrilere yeterli düzeyde güven sağlayamamakta, hızın olağanüstü arttığı günümüzde insan gücüne dayalı endüstriler bu hıza cevap verebilmekte yetersiz kalabilmektedir. Buna karşılık robotların üretim faaliyetlerinde sübjektif herhangi bir gerekçe ile hata, yanlışlık veya bunlara benzer nedenlerle olumsuz bir durum yaratabilmeleri söz konusu

olmamaktadır. Robotlar ancak teknik bir arıza ya da hata durumunda üretimle ilgili olumsuz bir duruma yol açabilmektedir ki bu durumlar da bütünüyle nesnel bir niteliğe sahiptir.

Çok kısa bir süreden bu yana robotlar üretim sistemlerinin temel bileşenlerinden birisi haline gelmiştir. Özellikle robotların giderek akıllı bir nitelik kazanmaları üretim faaliyetlerinde benzer bir perspektifte otonom bir hale gelmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde robotlar üst düzeyde zeka, algılama ve karar gerektiren süreçlerde giderek daha fazla görevler üstlenebilir hale gelmişlerdir. Bu yönüyle robotlar insanları üretim süreçlerinde zorlamaya başlamış, geçmişte katma değer yaratmayan faaliyetleri üstlenirken, günümüz üretim proseslerinde daha yüksek katma değere sahip işlere talip olabilmektedirler. Öte yandan robotlar çalışma konusunda pek de nazlı makineler değildirler. Robotlar ihtiyaç duyulan her an da, imalata ilişkin görevlerini yerine getirebilmekte, aynı zamanda da uzaktan algılama sistemleri ve nesnelerin interneti gibi ileri teknoloji uygulamaları ile herhangi bir operatöre ihtiyaç duymadan kendi başlarına otonom olarak üretime ilişkin faaliyetlerine son verebilmektedirler.

Endüstriyel robotlar, üretim maliyetlerini de önemli ölçüde azaltabilmektedir. Satınalma ve kurulum maliyetleri dışında operasyonel nitelikli ve tekrarlanan maliyetler, robotik sistemlerde söz konusu olmamaktadır. Öte yandan robotlar karanlık ortamda da işlevsel olduklarından, insanlar gibi iyi aydınlatılmış üretim ortamlarına gereksinim duymamakta, bu yönüyle enerji maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Robotlar, tanımlanmış algoritmalar çerçevesinde üretime ilişkin fonksiyonlarını gerçekleştirdikleri için sapma olasılıkları son derece düşük seviyededir. Dolayısıyla üretimde beklenmedik bir hatanın ya da yanlışlığın sonucunda oluşabilecek kayıplara ilişkin olasılıklar son derece düşüktür. Bu durum üretimin hatasız olmasına ve ekstra maliyetlere yol açabilecek olumsuz durumların ortadan kaldırılmasına olanak verebilmektedir. Öte yandan yüksek risklere sahip işler robotlar tarafından yapılarak işyerinde meydana gelebilecek tehlikelerin azaltılması ve işyerinin daha güvenli bir hale getirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Robot sistemler üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler;

i) Algılama, tanımlama sistemleri,
ii) Otonom karar alma sistemleri,
iii) Mekanik

unsurlardır.

Algılama sistemleri radyo frekansları yardımıyla, tanımlama sistemleri algılayıcılar (sensörler) veya radyo frekansı ile tanımlama (RFID) yardımıyla anlık koşulları ve/veya değişkenlikleri fark edebilen sistemler şeklinde tanımlanmaktadır. Söz konusu sistemler, algılanan durumların yordamlara dönüştürülmesini sağlayarak, bunların data halinde otonom yargı sistemlerine iletirler. Gelen veriler ile bağımsız karar alma sistemleri de söz konusu dataları çözümleyerek, gerekli aksiyonu tespit eder ve bu aksiyona ilişkin emirleri ilgili mekanizmalara gönderirler. Mekanizmalar ise aldıkları komutlar doğrultusunda önceden programlanmış olan işleri gerçekleştirirler [2].

2.7. Yatay-Dikey Yazılım Bütünleşmesi (Entegrasyonu)

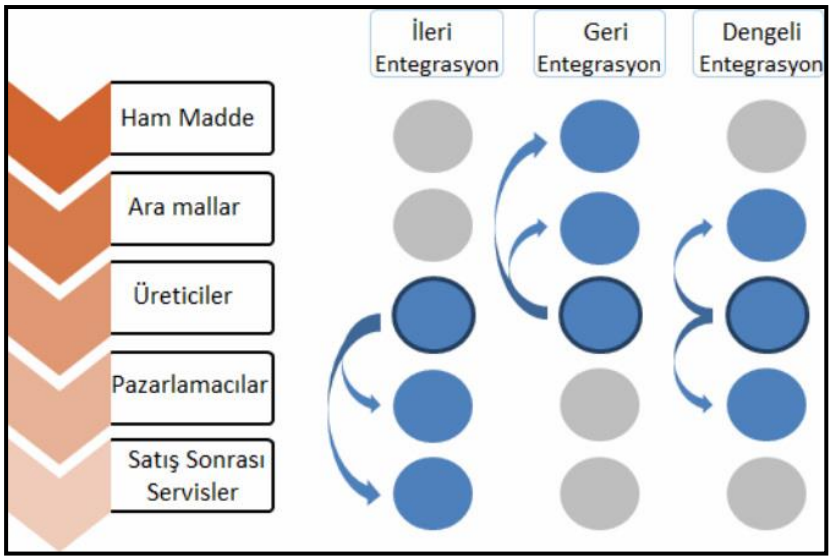
Dördüncü sanayi devriminin temelinde yer alan birbiri ile ilişkili yapıların sürekli iletişimi, imalat açısından çok önemli bir yere sahiptir. Bu iletişimin, akışın sağlanabilmesi için belli aşamalarda değil, süreç içerisinde yer alan tüm noktalarda yatay-dikey entegrasyonun (bütünleşmenin) sağlanması gerekmektedir.

2.7.1. Yatay Bütünleşme (Entegrasyon)

Yatay bütünleşme, aynı müşteri profiline sahip farklı işletmelerin birbirleri arasındaki bütünleşme, birleşmedir. Bu sistemde esas gaye, aynı müşteri profiline sahip olan bu firmaların pazar paylarının artırılmasıdır [7]. Yatay bütünleşme (entegrasyon), tedarik zinciri ve imalat süreçlerindeki her bir aşamanın birbirleri ile ve başka firmaların tedarik zinciri ve imalat süreci adımlarının arasında sürekli bir veri transferi sağlanması anlamına gelmektedir. Söz konusu bütünleşme: pazarlama, hammadde tedariki, tasarım aşaması, imalat, sevkiyatı kapsayacak şekilde tüm aşamaları içermektedir. Birbirinden farklı tesisler arasındaki bu entegrasyon yeni iş biçimlerinin geliştirilmesinin de önünü açmaktadır.

2.7.2. Dikey Bütünleşme (Entegrasyon)

Dikey bütünleşme, sadece proseslerin kendi içerisinde değil, tüm proseslerd yer alan teknolojik altyapılar arasında sürekli bir haberleşme sağlanması anlamını taşımaktadır. İmalat sahasındaki algılayıcılar, çalıştırıcılar (aktüatör), motorlar, valfler, kumanda ekipmanları, ERP yazılımları, üretim takip programları gibi elemanların birbirleri ile bütünleşmesi dikey bütünleşme (entegrasyon) örneği olarak verilebilir. Dikey bütünleşme, yatay bütünleşmeden farklı olarak, aynı sektöre hizmet eden ancak farklı müşteri profili olan firmaların birbirleri ile bütünleşmesini içerir. Dikey bütünleşme üç türden oluşmaktadır. Bunlar; geriye doğru dikey bütünleşme (entegrasyon), ileriye doğru dikey bütünleşme (entegrasyon) ve dengeli dikey bütünleşmedir (entegrasyon).



Şekil 2.10: Dikey entergrasyon çeşitleri.

Dördüncü sanayi devriminin bir bileşeni olan dikey-yatay bütünleşme (entegrasyon) ile imalat süreçlerinde meydana gelebilecek anlık değişiklik ve problemlere süratle yanıt verilebilmekte, özel müşteri taleplerinin imalatı kolaylaşmakta, global tedarik zinciri uygulamalarının optimize edilmesi sağlanmaktadır. Bununla beraber işletmelere esneklik sunduğu için değişiklik ihtiyaçlarına çok basit arayüz güncellemeleri ile cevap verilebilmektedir.

2.8. Siber Güvenlik

Dördüncü sanayi devrimi; elektronik haberleşme, nesnelerin interneti, veri transferleri, bulut teknolojisi gibi temelinde dijitalleşme olan yenilikleri barındırmaktadır ancak bu oranda bir bilgisayarlaşma da dijital korsanlara bilgi hırsızlığı ve endüstri casusluğu fırsatları oluşturmaktadır. Dördüncü sanayi devrimi ile birçok kuruluş siber saldırı riskinin ve etkilerinin artacağını düşünmekte ve buna karşın önlem almak üzere çalışmalarına başlamıştır.

Dördüncü sanayi devrimi sürecinde gerekli önlemler alınmaz ise siber saldırıların çok ciddi yıkıcı sonuçları olabilir. İşletmelerin veri paylaşımı, bulut kullanımı, akıllı imalat sistemleri gibi dijitalleşmiş tüm süreçlerini çökertebilecek virüsler, şirketlerin üretim faaliyetlerini şüphesiz ki olumsuz olarak etkileyecektir. Ancak büyük firmalar siber saldırı risklerinin üst düzey risk yönetimi ve güvenlik stratejileriyle engellenebileceği fikrindedir.

Uzaktan erişim, bulut kullanımı, sanal ortamlar gibi dijital olanakların getirmiş olduğu fırsatlardan tamamen yararlanabilmek için söz konusu tüm dijital ortamların güvenliğinin en üst düzeyde olması gerekmektedir. Zira firmaların tüm bilgileri ve birçok firmanın bir araya getirilmiş verileri çok önemli ve anlamlıdır. Veri ve bilgi güvenliğinin sağlanması, sanayi için de çok önemlidir. İmalat süreçlerinde yer alan tüm unsurların birbirleri arasında güvenli bir şekilde haberleşebilmesi, diğer tesisler ile etkileşim içerisinde olabilmesi, üretim optimizasyonunun ana unsurlarındandır. Ayrıca tüm dünya üzerinde yürütülen bu süreçlerin esasında veri ve bilgi aktarımı vardır bu nedenle sisteme iletilen tüm dataların güvenli bir biçimde saklanması çok önemlidir. Diğer bir ifade ile, dördüncü sanayi devrimi, siber güvenlik ortamlarının sağlanması ve ayrıca siber güvenlikten faydalanma manasında ciddi önem taşımaktadır.

Sıklıkla görülen güvenlik açıklarının başında, eski donanımlı cihazlar ile yeni donanımlı cihazlar arasındaki bağlantılar gelmektedir. Söz konusu bu açıklar nedeniyle yaşanabilecek sorunlar, bilgi güvenliğini ihlal edeceği gibi bütün üretim sürecini de riske atacak duruma gelebilir. Dolayısıyla, dördüncü sanayi devrimi ortamında verilerin sadece yetkili kişilerin erişebileceği şekilde saklanması, verilerin kaynak ve bütünlük doğrulamalarının yapılması ciddi öneme sahiptir. Diğer bir ifade ile bir imalat alanında, değerli bilgilere sadece yetkilendirilmiş personellerin

erişebilmesi, cihazlara giriş yapılan bilgilerin doğrulanmış ve güvenilir kaynaklardan alınması, her türlü tedbirin uygulanması sistemin güvenliği açısından çok önemli koşullardır. Böylelikle, işletmeler uzun yıllar boyunca elde ettikleri bilgi birikimlerinin ve tüm verilerinin korunmasını sağlayabilirler. Dördüncü sanayi devrimi siber güveliğin geliştirilmesini ve siber güvenlikten yararlanarak kendisini geliştirmeye devam etmektedir [13].

Dördüncü sanayi devriminin beraberinde getirmiş olduğu getirdiği yüksek orandaki data paylaşımı ve geniş ağ, işletmelerin siber anlamda güvenlik önlemlerine olan ihtiyacını arttıracaktır. Bu nedenle büyük işletmeler siber güvenliğin sağlanması amacıyla kendilerine adapte edilmiş risk planları doğrultusunda siber güvenlik stratejilerine ihtiyaç duymaktadır. Fikri mülkiyetlerin, dataların ve ürünlerin yetkisiz ve kötü niyetli kişilerin eline geçmesini engellemek amacı ile firmalar, fiziki güvenliğin yanında muhakkak siber güvenlik tedbirlerini de almalıdırlar. Dördüncü sanayi devrimine uyum göstermek adına mevcut önlemlerini de devamlı olarak iyileştirmeli ve güncel tutmalıdırlar [7].

2.9. Simülasyon

Simülasyon ifadesi teknik olarak, reel dünya üzerinde bulunan herhangi bir süreç ve / veya sistemin işletilme durumunun zaman üzerinden teknik anlamda, “Gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden tehzil edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Simülasyon, sisteme ait olan nesneler arasındaki önceden tanımlanan bağları kapsayan süreç veya sistemlerin bir modeli olarak da ifade edilebilmektedir. Dördüncü sanayi devrimi ile birlikte daha önceki endüstriyel devrimlerde sanayiye dahil olan buhar enerjisi, elektrik enerjisi, elektronik ve yazılım uygulamalarına ek olarak simülasyon teknolojisi de endüstriyel uygulamalara dahil olmaktadır [9].

Simülasyon ile gerçek zamanlı olarak tasarlanacak sanal modellerden yararlanılarak, işletmeler imalat hatlarında ürüne özel değişkenlikleri test etme şansı bulabilecek ve hem zaman hem de büyük yatırım maliyetlerinden tasarruf fırsatı bulabileceklerdir. Örnek olarak, yeni bir bina henüz daha tamamlanmamış iken binanın ve dairelerin son halini içeren bir simülasyon hazırlanabilecek ve daireyi satın alan kişi ile paylaşılabilecektir. Böylelikle daire sahibi simülasyon sayesinde istediği

şekilde dekorasyon gerçekleştirebilecek ve almayı planladığı ürünlerin dairesine yerleşmiş halini görüntüleyebilecektir. IKEA firması simülasyon uygulamasının bir örneğini kendi internet sitesinde müşterilerine sunmaktadır. Müşterilerine bir planlama programı sunan firma, bu program aracılığı ile müşterilerin almayı düşündükleri hazır veya kendi tasarladıkları ürünlerin kendi evlerine yerleştirerek simülasyon yardımı ile nasıl görüneceğini deneyimleyebilecek ve evlerini en uygun şekilde dekore etme imkanı bulmaktadırlar [14].

3. BİR CAM AMBALAJ FABRİKASINDA ENDÜSTRİ 4.0 UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Cam ifadesinin tozunun cam üretiminde kullanıldığı ve latince “glastum” isimli bir çiçeğin adından türediği düşünülmektedir. Bir diğer düşünce de, cam teriminin ingilizce “galcede“ kelimesinden türediğidir [15].

Camın ifadesinin sözlük anlamı; kum ve / veya kumun farklı alkali hammadeler ile karıştırılarak eritilmesi sonrasında ortaya çıkan sert, geçirgen veya yarı geçirgen olan, kırılgan ve muntazam olmayan bir madde olarak ifade edilmektedir. Ek olarak cam kelimesi; “Standard Terminology of Glass and Glass Products - ASTM C 162” standardında; ergiyik formdan katı forma geçerken kristalleşme olmadan soğuma gerçekleşmiş, inorganik bir madde olarak tanımlanmaktadır. Cam üretilebildiği gibi aynı zamanda doğada sıklıkla bulunan bazı elementlerin bir araya gelmesi sonucu meydana gelmiş doğal formları da bulunmaktadır.

3.1. Camın Tarihçesi

Yapay camların kullanımı antik çağlara kadar uzandığı tahmin edilmekle beraber camın yapay olarak ilk ne zaman elde edildiği tam olarak bilinmemektedir. Eski Mısırlılar tarafından kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Ayrıca Doğu Akdeniz ülkelerinde de M.Ö. 3000’li yıllardan bu yana kullanıldığı tahmin edilmektedir.

Bazı tarihçiler tarafından cam üretimi ilk olarak Suriyelilerce yapılmış olarak değerlendirilse de üretim için gereken silika ve eritici yardımcı maddelerin, Eski Mısırlılar tarafından kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Kumdan kalıba döküm yönteminin bir zaman sonra yerini bir tür baskı metoduna dönüştüğü, kalıba üfleme yönteminin ise MÖ. 1. yy.’ da Suriye’ de uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemin daha sonra Bizans’ a geçtiği bilinmektedir.

Romalılar cam üretimini Suriye ve Mısır’ dan gelen göçmenlerden öğrenerek uygulamışlardır. Romalılar zamanında cam imalatı büyük ilgi toplamış, ustalık icap ettiren sanat eserleri göçmenler tarafından yapılmıştır. Ayrıca yine bu dönemde büyük kapasiteli cam üretim fabrikaları da kurulmuştur.

3.2. Camın Yapısı, Türleri ve Üretimi

Cam, soğutma sonucu kristalleşmeden katılaşan inorganik bir ergitme ürünüdür. Yüksek ısıya tabi tutulunca yeniden akışkanlık kazanan, soğutulduğunda ise sertleşip saydam ve mat görünüm alabilen kırılgan bir malzemedir. Camın mekanik dayanımı oldukça yüksek olmasına rağmen, yapısal özelliği nedeni ile camın islenmesi sırasında yüzeyde oluşan ve gözle görülmeyen çatlaklar bu özelliğini bozar.

Cam, kısaca oksitler karışımı olan bir maden olmakla birlikte erime yerine yumuşama noktası olan bir yapıdadır. Isıtıldıkça öncelikle yumuşamaya başlar ve gittikçe akışkanlığı artarak sıvı faza geçiş olur.

Camın atomik yapısının düzensiz olması başlıca özelliğidir. Bir oksitin cam oluşturabilmesi için metal ve oksijen bağının düzensiz bir yapıya olanak sağlayacak esneklikte olup, aynı zamanda düzensiz yapıyı koruyacak kadar da sağlam olması gerekmektedir. Bu özelliğe sahip oksitlere cam yapıcı oksitler adı verilir. Cam yapıcı oksitler olarak silisyum oksit, bor oksit, fosfor penta oksit, arsenik penta oksit sayılabilir. Cama farklı özellikler sağlamak üzere düzensiz yapıdaki boşluklara giren oksitlere yardımcı oksitler denir.

Camın türlere göre sınıflandırılması kimyasal bileşiği baz alınarak yapılır ve bu şekilde yapılan sınıflandırma sonrası dört temel grup oluşur. Bunlar; kristal cam, borosilikat cam, soda-kireç camı ve özel camlardır. Tüm cam üretiminin %95' i ilk üç grupta üretilen camlara aittir. Özel camlar, bu üç kategori dışında kalan %5' lik kısmı oluşturur ve binlerce özel formülasyonu içerir. İstisnalar dışında camların genel ana bileşeni silikat bazlı olan silikon dioksit (SiO_2) 'tir.

- Ticari Cam (Soda-kireç taşı camı)

Sanayide üretimi gerçekleştirilen camlar çok büyük oranda benzer bileşimlere sahiptir ve soda kireç camı olarak geçerler. Soda-kireç camının içeriğini ; %70-75 kum esaslı silikon dioksit (SiO_2), %12-16 soda külü esaslı sodyum oksit (Na_2CO_3), %10-15 kireç taşından elde kalsiyum oksit ($CaCO_3$) ve cama karakteristik özellikler kazandırması için düşük miktarlarda diğer bileşikleri oluşturur. Soda kireç camı şişeler, kavanozlar, günlük masa üstü cam işleri ve pencere camlarının üretiminde kullanılır. Soda kireç camının cam üretiminde bu denli geniş bir yelpazede kullanılması kimyasal ve fiziksel özelliklerinden ileri gelmektedir. Bu özelliklerden

en önemlileri olarak soda kireç camının mükemmel ışık geçirgenliği, bu nedenle düz cam olarak kullanılması ve saydam parçaları sayılabilir. Ayrıca, büyük ölçüde kimyasal iç yapısından gelen düz, pütürsüz yüzeye sahiptir ve bu sebeple kolay temizlenmesinin yanı sıra içerdiklerinin tadını da etkilemez. Camın gerilme ve termal başarısı bu uygulamalar için yeterlidir ve hammaddeler daha ucuz olup eritmek açısından ekonomiktir. Daha yüksek alkali içeriğe sahip olması termal genleşme katsayısını yükseltir ve termal şok ve kimyasal etkiye karşı dayanıklılığını düşürür. Soda kireç camları, ani ve aşırı ısı değişikliklerine dayanıklı olmadığından ötürü böyle uygulamalar içeren durumlarda kullanılmak üzere genel olarak uygun değildir.

- Kurşun (Kristal) Cam

Kurşun oksit, cama kristal cam özelliği kazandırmak için kalsiyum-oksit yerine kullanılmaktadır. Kurşun (kristal) camın bileşiminde; SiO_2 (%54-65) , PbO (%25-30), Na_2O (%13-15) ya da K_2O ve ayrıca az miktarda çeşitli özellikler kazandırıcı bileşenler bulunmaktadır. Kurşun-oksit oranı %25'ten fazla olan bir camın yüksek kırılma indisi ve hacmi olması nedeniyle, bu tür camlar mükemmel parlaklığa ve titreşimliliğe sahiptirler. Kristal camlar genellikle yüksek kaliteli cam ev eşyalarının yapımında kullanılırlar.

- Borosilikat Cam

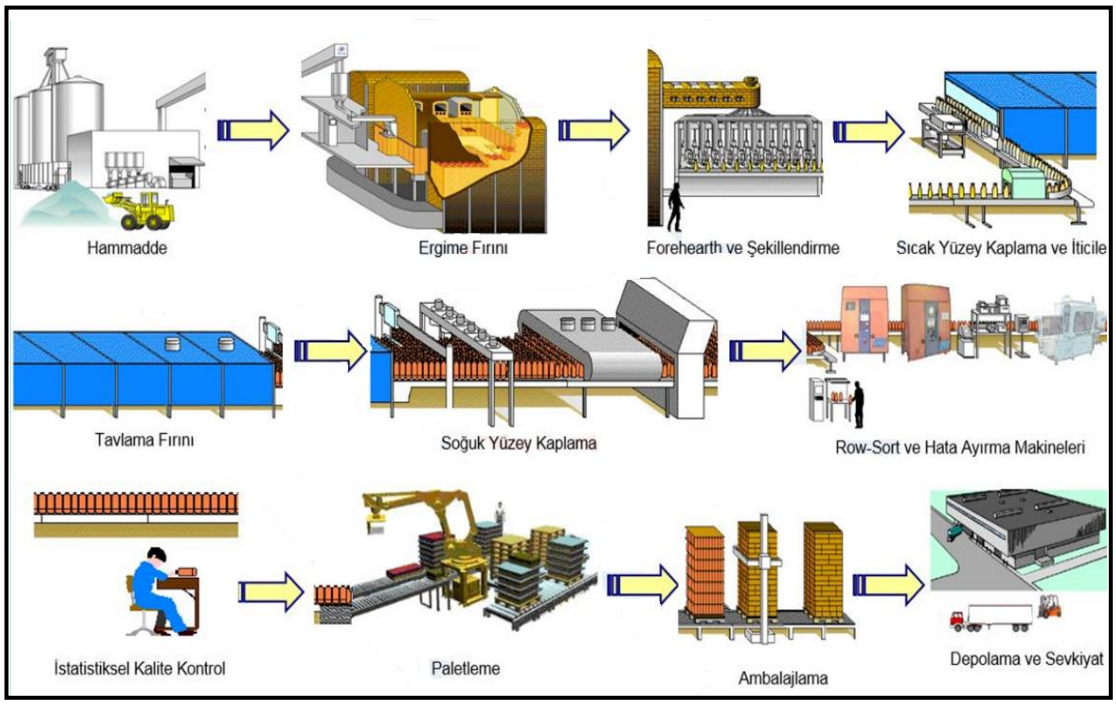
Borosilikat cam, içeriğinde B_2O_3 (bor-trioksit) ve SiO_2 (silikon-dioksit) bulunan camlardır. Borosilikat camın bileşiminde; SiO_2 (%70-80), B_2O_3 (%7-15), Na_2O (%4-8) veya K_2O, ve % 2 - 7 Al_2O_3 bulunmaktadır. Borosilikat camlar dayanım özelliği yüksek camlar olup, ani sıcaklık değişimi direnci ve kimyasal dayanımları çok yüksektir.

- Özel Camlar

Özel camlar; çok fazla cam türü için genel bir gruplama olup, amaca yönelik olarak camların hammaddelerinde yapılan değişiklikler ile üretilmektedirler. Özel camlara örnek olarak; x-ray tüpleri, camdan lehimler, özel borosilikat camlar, optik camları, elektronik camları, katot ışın tüpleri, cam seramikler ve elektrotlar verilebilir.

3.3. Cam Ambalaj Üretimi

Cam üretiminde dört ana işlem vardır. Bunlar; harman hazırlanması / karışımı, ergitme / saflaştırma, şekillendirme ve şekillendirme sonrasıdır. Bu evrelerin ilk aşaması, camın hammaddelerinin karıştığı işlemdir. Bu aşama her cam çeşidi için benzerdir. Değişken büyük ölçekte olmasına rağmen, ergitme / saflaştırma aşaması cam ambalaj, cam ev eşyası, düz cam ve cam elyaf (fiberglass) üretiminde benzerdir. Son iki aşama, cam şekillendirme ve cam işleme, diğer aşamalardan biraz farklılıklar göstermektedir.



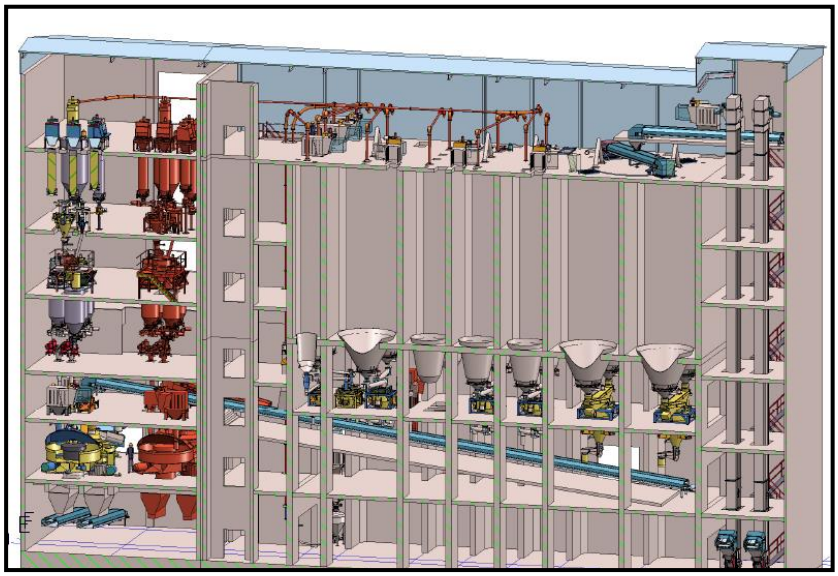
Şekil 3.1: Cam ambalaj üretiminin üretim aşamaları.

3.3.1. Harman:

Cam üretiminde en temel aşamalardan biri harmanın hazırlanmasıdır. İstenen cam kompozisyonunu oluşturabilmek için, silolarda depolanan hammaddelerin reçetelerde belirtilen oranlarda karıştırılarak herhangi bir dış etkenden etkilenmeyecek şekilde fırınlara taşınır.

Kum, soda, kalker, dolomit, feldspat gibi birçoğu silis esaslı olan ana hammaddeler silolara doldurularak stoklama işlemi yapılır. Daha sonra, üretilmek

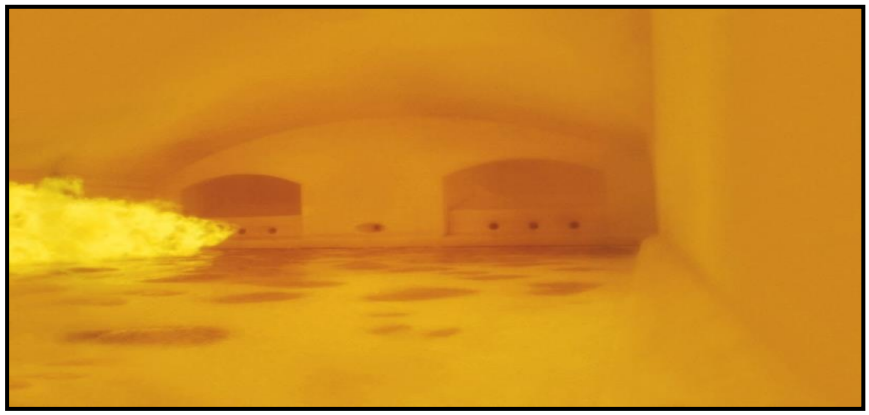
istenen cam türü için hazırlanmış reçetelere göre tartımları gerçekleştirilip karıştırılarak, hammadde nakil sistemleri ile ergitme işlemi için fırına sevk edilir.



Şekil 3.2: Harman dairesi yerleşimine ait bir modelleme görüntüsü.

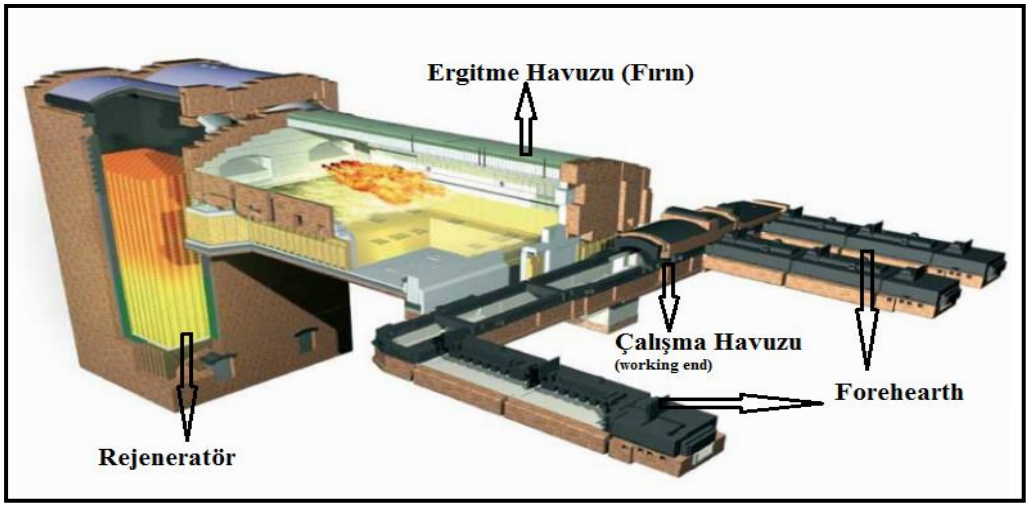
3.3.2. Ergitme:

Cam ambalaj üretiminde ilk aşama olan harman hazırlama prosesinden sonra ergitme aşaması gelir. Günümüzde ergitme fırınları yüksek kapasitelere sahiptir. Havuz fırınların kapasiteleri 1000 ton, 800°C sıcaklığa dayanabilen porselen krozelin kapasiteleri 2000 tona kadar çıkabilmektedir. Harman olarak tabir edilen hammadde karışımı doğalgaz, fueloil veya elektrik kullanılarak 1500-1600 °C‘ye kadar ısıtılmış olan fırınlarda eritilir.



Şekil 3.3: Ergitme işleminin gerçekleştirildiği fırın içinden bir görüntü.

Daha sonra çalışma havuzu “working end” adı verilen alanda dinlendirilerek, forehearth adı verilen üretim makinelerine camın taşınmasını ve şartlandırılmasını sağlayan refrakter yapılar üzerinden makinelere taşınır.



Şekil 3.4: Ergitme işleminin gerçekleştirildiği fırına ait bir model görüntüsü.

3.3.3. Şekillendirme:

Ergitme fırınından beyaz, yeşil veya bal renginde alınan cam, çalışma havuzundan sonra yer alan “forehearth” kanallarından ilerleyerek, “feeder” adı verilen son şartlandırma bölgesine gelir. Burada şekillendirme öncesi son şartlandırmaların yapılmasının ardından, camın “damla” adı verilen forma getirilmesini sağlayan feeder mekanizmasında aynı ağırlıkta olacak şekilde ayarlanan cam, makas mekanizması ile kesilerek, damla dağıtıcı mekanizması yardımı ile damla yollarından geçer ve üretim makinesine (IS – Individual Section) beslenir.

Cam ambalaj şekillendirme işlemlerinde üniversal olarak kullanılan IS makinaları, ilk kez 1925 yılında 4 kollu üniter olarak geliştirilmiştir. Tam otomatik olan bu makinalarda başlangıçta yalnızca üfleme tekniği, 5 yıl geliştirilen teçhizatların kullanımı ile “62” proses olarak bilinen “presleme – üfleme” tekniği kullanılabilir hale gelmiştir.

IS makinaları, kol olarak isimlendirilen ve birbirinin aynı olan ünitelerin yan yana gelmesinden oluşan makinalardır ve kol adetlerine göre (2,4,5,8,10,12) isimlendirilirler. Ayrıca bir kol üzerinde her bir makine çevriminde 1,2,3 veya 4 damlayı aynı anda işlemek mümkündür. Bu makinalarda kolların bir kısmında üretim

yapılırken, bir kısmı da tamir, kalıp değişimi vb. nedenlerle durabilir veya yakın gramajlı farklı mamuller üretilebilir.

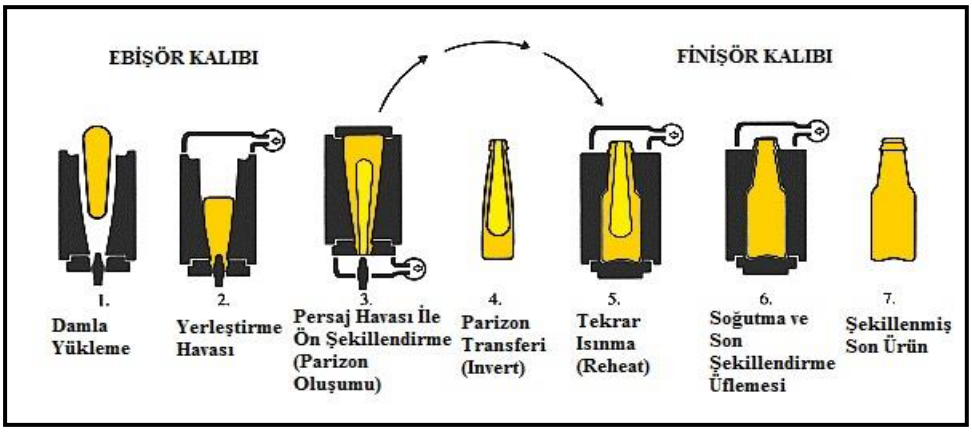
Şekil 3.5: Cam ambalaj üretiminde kullanılan 10 kollu IS makinesine ait bir görüntü.

Feeder mekanizmasında şekil ve gramaj ayarlaması yapılan damlalar, transfer mekanizmaları ile IS makinesine ulaşır ve tam otomatik olarak iki aşamada şekillendirilir.

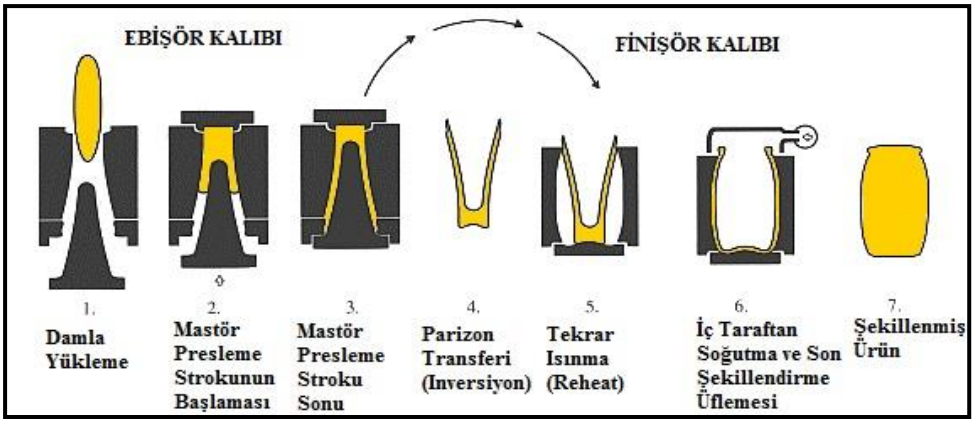
Damlalar, IS makinesinde paralel kalıplarda eşzamanlı şekillendirilmek için her bir kalıp için eş zamanlı olarak kesilir. Bunlar; tek, çift, üç veya dört damla makineler olarak adlandırılır. Çift damla makine en genel olanıdır.

Makasların çok ısınmaması ve camın üzerlerine yapışmaması için makaslara su ve çözünebilir yağdan oluşan bir karışım püskürtülür. Feeder adı verilen kısımda belirli gramaja göre kesilen cam damlaları "damla yolu" adı verilen oluklar ile şekillendirme makinesinde bulunan kalıpların içerisine düşürülür. Şekillendirme işlemi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi iki aşamada gerçekleşmektedir. Damlanın ebişör adı verilen kalıp ile yapılan ön şekillenmesi, üretilmek istenen ürünün şekline göre "presleme" veya "üfleme" işlemi ile yapılır. Ürünün esas halini aldığı finişör kalıbında ise her zaman "üfleme" işlemi gerçekleştirilir. En son şekillendirme işlemi her zaman üfleme ile yapılır. Söz konusu ilk şekillendirme kalıbında uygulanan farklı ön şekillendirme yöntemlerinden dolayı "presleme-üfleme (Press-Blow – PB)" ve "üfleme-üfleme (Blow-Blow – BB)" proses tipi olarak adlandırılır. Şekillenmiş ürünler, IS makinesi önünde yer alan sürekli bir konveyöre (makine konveyörü) daha sonraki şekillendirme üretim aşamaları için yerleştirilir. Pres-üfleme prosesi genellikle kavanoz gibi geniş ağızlı ürünlerin üretimi için uygulanır, ayrıca bu yöntem ile daha hafif üretim gerçekleştirilir. Üfleme-üfleme proses tipi ise, presleme-üfleme prosesine göre daha karmaşık yapıdaki ürünlerin üretiminde uygulanır. Bu yöntem eski bir

proses tipi olup, her iki aşamada da üfleme yapıldığı için ürünlerin cam dağılımı istenilen şekilde kontrol edilemez ve presleme-üfleme yöntemine göre dağa ağır ürün üretimi gerçekleştirir. Söz konusu iki üretim prosesinin aşamaları Şekil 3.6 ve 3.7' de gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Üfleme – Üfleme (Blow-Blow BB) prosesi.



Şekil 3.7: Presleme – Üfleme (Press-Blow PB) prosesi.

Camın damla olarak kesildiği andaki sıcaklığı 1100 – 1150 °C iken şekillendirme işlemi tamamlanan ürünlerin sıcaklığı 600 - 650 °C civarındadır. Damlaların şekillendirme işlemi sırasında soğutulması için kalıplar fan havası ile soğutulmaktadır. Ayrıca şekillendirme işlemi sırasında cam damlalarının kalıplara yapışmaması ve daha pürüzsüz bir yüzey oluşması için kalıpların periyodik olarak yağlanması gerekmektedir. Günümüzde bu işlem çoğunlukla makine operatörleri tarafından elle yapılmaktadır.

Kalıp yağlama işlemini otomatize etmek üzere geliştirilen “Otomatik Kalıp Yağlama Sistemi”, Endüstri 4.0 çerçevesinde değerlendirilerek ilerleyen bölümlerde detaylı olarak analiz edilecektir.

Forehearth kanalından gelerek şekillendirme için IS makinesinde bulunan kalıplara düşürülen damlaların; sıcaklığı, akışkanlığı, şekli bakımından şartlandırılmış olması çok önemlidir. Cam ambalaj üretimi normal şartlar altında durdurulamayan bir prosestir, fırınlarda yakma sistemleri çalıştığı sürece harman veya cam kırığı beslenmesi ve üretilen camın akması gerekmektedir. Üretim ve devamındaki proseslerde herhangi bir olumsuzluk olması durumunda cam akışı durdurulamayacağı için cam IS makinesi yerine oluklar yardımı ile geri dönüşüm sistemlerine akıtılır ve soğutularak transfer mekanizmaları ile tekrar fırına gönderilmek üzere silolara doldurulur. Bu nedenle cam üretiminde hata veya üretim kaynaklı oluşan ıskartalar %100 tekrar değerlendirilebilir.

Şekillendirme işlemi tamamlanan cam ambalaj ürünleri, finişör kalıbının açılması ile alıcı maşa adı verilen mekanizma ile şişelerin kafa kısımlarından tutularak, ilk soğutma işleminin başladığı “dead plate” üzerine bırakılır ve burada bir süre bekletildikten sonra itici mekanizması ile makine konveyörüne itilir ve ürünlerin ambalajlama sürecine kadar olan prosesleri bu adımdan itibaren başlar.

Şekil 3.8: Şişelerin “alıcı maşa” yardımı ile “finişör kalıbından” alınarak “dead plate” üzerine bırakılma görüntüsü.

Makine konveyörü üzerine itilen ürünler, konveyör yardımı ile ilerleyerek diğer konveyöre geçiş yapar ve otomatik cam dağılımı kontrol sistemi (XPAR cihazları) ile cam dağılımı kontrol edilerek uygun olmayan ürünlerin ıskarta edilmesi sağlanır. Daha sonra ürünlere, üzerlerindeki mikro çatlakları kapatarak; basınç, darbe mukavemeti sağlamak ve soğuk kaplamanın cam üzerine daha iyi tutunmasını sağlamak üzere sıcak kaplama işlemi uygulanır. Sıcak kaplama işlemi online bir işlem olup şişeler konveyör

üzerinde ilerlemesi sırasında ürünler durmadan gerçekleştirilir. Sıcak kaplama 700-750 °C civarında şişeye uygulanır. Sıcak kaplamada kalay oksit IV (SnO_2) kullanılır. Kalay oksit şişede kafa kısmına uygulanmaz, sadece gövdeye uygulanır, şişenin kafa kısmına uygulanan kalay oksit dolum yapıldıktan sonra şişe kapağında paslanmaya neden olur. Bu nedenden dolayı sıcak kaplama yapan cihazın içinde kafaya sıcak kaplamanın ulaşmasını engelleyecek kalkanlar vardır. Kafada sıcak kaplama seviyesi maksimum 10 CTU (1 CTU = 1 Angstrom) olmalıdır. Gövdede ise 20 – 60 CTU arasındaki değerler kabul edilir.

Sıcak kaplama işlemi uygulanan ürünler transfer mekanizmaları (ware transfer ve stacker) ile tavlama (gerilim giderme) işlemi için tavlama fırınına (annealing lehr) gönderilirler.

3.3.4. Tavlama (Soğutma):

Tavlama (soğutma) işlemi şekillendirme makinalarından çıkan ürünlerin zorunlu olarak geçmesi gereken bir süreçtir. Camın soğuması sırasında oluşan tansiyonun (iç gerilim) giderilmesi anlamında gerçekleşen bir işlemdir. Üretilen cam, üzerinde oluşmuş olan stresler yüzünden her an kırılma riski taşımaktadır. Bu riski yok etmenin tek yolu camı tavlamaktır.

Cam normal olarak soğumaya bırakıldığında soğuma çok hızlı gerçekleşeceği için camı oluşturan moleküller çok düzensiz bir şekilde kalırlar, bu da camın içinde stres denilen gerilimler oluşturur. Bu gerilimler zamanla camın kırılmasına veya çatlamasına yol açabilir. Bunu önlemek için cam üretim hattından çıktıktan sonra cam içindeki gerilimleri almak için soğutma kontrollü olarak yapılır. 547 – 505 °C arasındaki sıcaklık aralığı tavlamayı gerçekleştirmek için yapılan kritik zaman aralığıdır, bu aralıkta kalıcı gerilimleri büyük bir çoğunluğu giderilir. Şişe ve kavanoz üretimlerinde üretim hattı sonundaki tavlama fırınına giren şişeler burada oldukça yavaş bir şekilde ilerler. Soğutma fırınlarında 7-8 sıcaklık bölgesi vardır, şişeler bu bölgelerden geçerken kontrollü bir soğutma işlemi yapılarak şişeler içindeki gerilim giderilir. Soğutma fırını içinden geçen konveksiyonel hava akımları, bölgesel soğukluklar gerilimlerin giderilememesine neden olabilir.

Gerilim giderme işlemi tamamlanan ürünler tavlama fırınından çıktıktan sonra soğutma sonu adı verilen kalite kontrol ve paketleme işlemlerini içeren bölümde

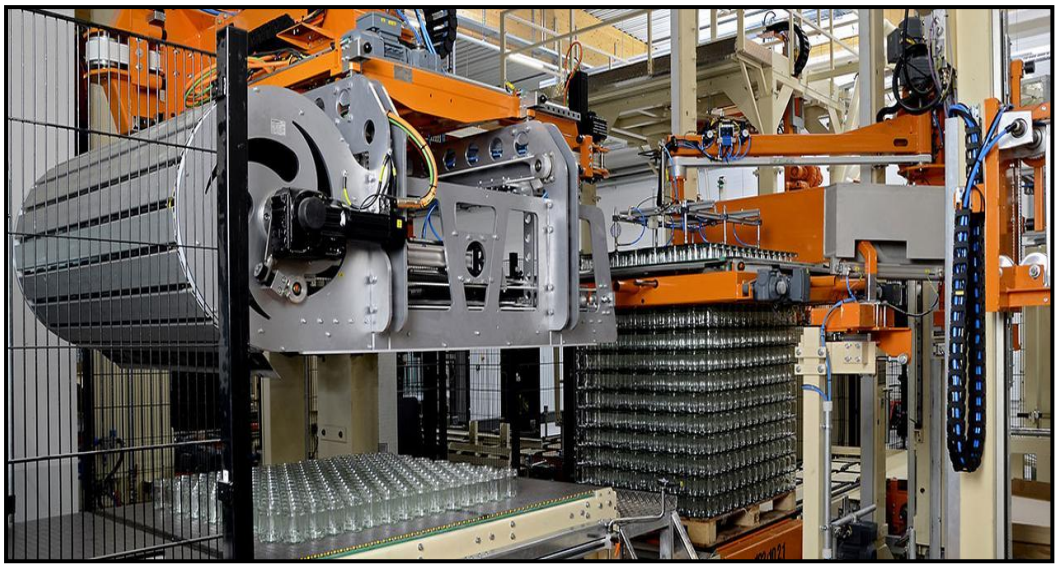
konveyör üzerinde kolay hareket etmesi ve şişelerin birbirlerine temasından dolayı çizilmeleri karşı PE esaslı bir kaplama ile kaplanır. Bu kaplamaya soğuk kaplama adı verilir.

Soğuk kaplama, şişelerin taşınma ve dolum hatları sırasında şişelerin birbirlerine çarpmaları sonucu çizilmesini ve mukavemetinin bu nedenle düşmesini engellemek için yapılan işlemdir. Soğuk kaplamada uygulanan sıvı polietilen ve reçine karışımı içeren ve insan sağlığına zarar vermeyen bir sıvıdır. Soğutma fırınından çıkan şişelerin üzerine 70 – 100 °C aralığında bir nozzle vasıtası ile tatbik edilir. Soğuk kaplama ölçümü, laboratuvardaki kayma açısını test eden cihaz yardımı ile yapılır. Testi yapılan şişenin kayma açısı 10 – 16 ° aralığında olmalıdır. Daha yüksek olursa soğuk kaplama yetersiz kalmış demektir ve şişe üzerinde çizikler oluşabilecektir, kayma açsının daha düşük olması halinde ise soğuk kaplama gereğinden fazla yapılmıştır ve bu da şişenin hatta ilerlerken daha kolay devrilmesine, kaymasına neden olur.

3.3.5. Ambalajlama/Depolama/Sevkiyat:

Soğuk kaplama işlemi cam ambalaj ürün gerçekleştirme prosesinin son aşaması olup bu aşamadan sonra kalite kontrol ve ambalajlama işlemleri kalmaktadır. Soğuk kaplama işlemi görmüş olan ürünler ilk olarak “row sort” adı verilen bölgede insan yardımı ile yapılan kontrol gerçekleşir bu aşamada yapılan kontrolün ardından otomatik hata ayırma makineleri ile şişeler kontrol edilir. Daha sonra olası bulaşı ve yabancı madde riskine karşı ürünler “ters çevirme üniteleri” nden geçirilerek içerisine hava üflenir ve ürünler tekrar düz konuma getirilerek ambalajlama makinesine (palletizer) sevk edilir. Bu makinelerde müşteri ambalaj standardına göre palet üzerinde tam otomatik olarak istiflenir. Daha sonra dış naylon ambalaj işlemi için “shrink” makinesinde işlem görerek, konveyörler üzerinden satışa hazır bir halde ambara sevk edilir.

Müşterilerin şartları, pazar gereklilikleri, ürüne özel durumlar ve işletme koşullarına bağlı olarak özel ambalajlama işlemi gerçekleştirilir ve yine cam ambalaj taşınmasına uygun transfer makineleri ve araçlar ile müşteriye ulaşması sağlanır.



Şekil 3.9: Otomatik şişe paletleme (palletizer) makinesi görüntüsü.

3.4. Cam Ambalaj Üretiminde Endüstri 4.0 Uygulanabilirliği

Günümüzde cam ambalaj sektörü; dijitalleşme / otomasyon anlamında çok ileri bir noktada bulunmaktadır ancak Endüstri 4.0 vizyonu ile değerlendirildiğinde halen geliştirmeye ve otomasyona yönelik çalışma alanları bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Cam endüstrisinin günümüzde karşılaştığı zorluklar.

MALİYET	İYİLEŞTİRMEYE AÇIK KARAKTERİSTİKLER
	• Düşük verim ve atıklar (düşük “pack to melt” oranı (%85-90)) • Yeniden ayırma • Müşteriye ulaşan kaliteli ürün <%100 • Sıcak uçta yetersiz kalite kontrol • Yaşlı iş gücü • Düşük esneklik imkanı • Ağır ürünler (%30-40) • Düşük üretim hızı • Alternatif ürünlerin (pet, alüminyum, plastik) daha ucuz, esnek üretim kabiliyetinde ve hafif olması

Artan rekabet koşulları ve alternatif ürün çeşitliliğinden dolayı cam ambalaj üreticileri kalite seviyelerini geliştirmek, maliyetleri düşürmek ve farklı müşteri taleplerini karşılayabilmek üzere üretim esnekliğini artırmak zorundadırlar. Endüstri 4.0 vizyonu ile bu amaçlara ulaşabilmek mümkün görünmektedir.

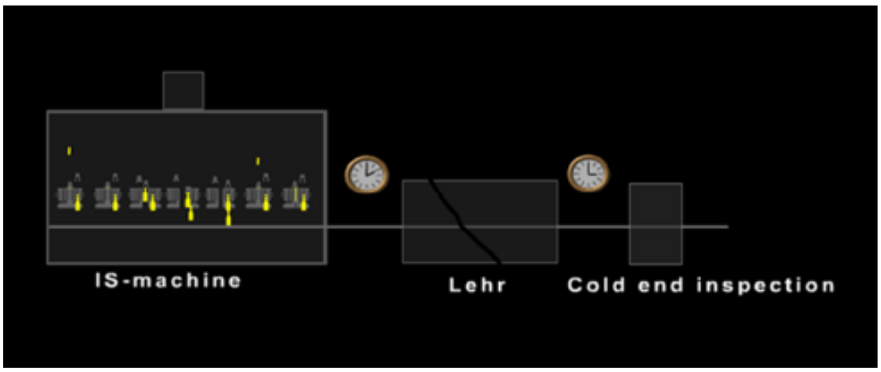
Günümüzde cam ambalaj ürünleri, mevcut proseslerin kabiliyetine bağlı olarak teorik ağırlık hesabına göre daha ağır şekilde (%30-40) tasarlanmak zorundadır. Dışarıdan bakıldığında sorun görünmemesine rağmen, mükemmel homojenlikte bir cam dağılımı sağlamak mümkün olmadığı için müşteri talebi ile üretilen ürün arasında yapısal bir dengesizlik söz konusudur. Örneğin; bir ürün için müşteri spesifkasyonunda omuz- gövde ve etek bölgesi için minimum cidar kalınlığı değeri min. 1 mm olarak ifade edilmesine rağmen dizayn spesifikasyonu 1,8-1,9 mm olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 3.10: Kesit alınmış bir cam ambalaj ürününün cidar kalınlığı dağılımı.

Endüstri 4.0 vizyonu ile minimum insan bağımlılığı ile daha yüksek hızda ve sıfır kusur ile daha hafif ve daha güçlü kaplar üretilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda sağlanacak proses stabilitesi de optimizasyonun anahtarı olacaktır. Proses stabilitesinin sağlanması ile ağırlık konusunda yaşanacak iyileştirme potansiyeli %20-25 arasında olup bu değer çok ciddi bir maliyet faydası sağlayacaktır.

• Tarihsel Perspektif:

1927 yılından 2000 yılına kadar, ergimiş cam damlasının IS makinasında şekillendirilmesi sonrası transfer hatlarına nakli ve sonrasında gerilim giderme işlemi uygulanan tavlama fırınlarına sevkine kadar herhangi bir gerçek zamanlı proses ve kalite kontrol imkanı bulunmamakta idi. Bu durumda herhangi bir proses hatasının sonucu tavlama fırınlarında sonra fark edilmekte ve tespit anına kadar geçen süre içerisinde üretilen ürünler (tavlama fırını genişliğine bağlı olmakla beraber yaklaşık 20.0000 civarı ürün) hurdaya ayrılmak durumunda idi. Bu durumda hem enerji hem de iş gücü kaybı yaşanmakta idi.



Şekil 3.11: 1927…2000 yılları arasında sıcak uçta gerçek zamanlı proses kontrol ve ürün kalite kontrolüne yönelik sistemler bulunmamakta idi.

2000' li yıllardan itibaren; damla sıcaklık ve şekil kontrolü, damla ağırlık kontrolü, proses kontrolü, kalıp sıcaklığı ölçümü, cam dağılımı kontrolü, mastör sıcaklık ve soğutma kontrolü, dikey cam dağılımı kontrolü vb. sistemlerin geliştirilmesi ile sıcak uçta proses ve kalite kontrol sağlamaya yönelik sistemler geliştirilmiş olup ciddi tavlama fırını sonrasında fark edilmesi durumunda ciddi miktarlarda ürün kayıpları yaşanan hataların anlık tespitine yönelik sistemler geliştirilmiştir.

3.4.1. Ahşap Paletlerde Küf Oluşumunun Önlenmesine Yönelik "Hat Üstü (Online) Otomatik Nem Ölçüm Sistemi"

Paletler, ürünlerin paketlenmiş veya paketlenmeden direk olarak istiflenmesi işleminde kullanılan yardımcı malzemelerdir. Lojistik sektörü içinde önemli bir yere sahip olan paletler ile malların taşınması ve depolanmasında büyük kolaylık

sağlanmaktadır. Ayrıca diğer alternatif taşıma ekipmanlarına göre çevre dostu da olan ahşap paletler, gelişmiş ülkelerde ayrı bir önemi vardır.

Şekil 3.12: Palet görüntüsü.

3.4.1.1.Mevcut Durum:

Cam, her çeşit gıda için seri üretilen cam kaplardan, özel el yapımı tek parçalı el sanatlarına kadar geniş ve çeşitli kullanıma sahiptir. Özellikle gıda ile temas eden ürün özelliği taşıyan cam ambalaj ürünleri ile cam ev eşyası ürünlerinin taşınmasında kullanılan ahşap paletlerin küflü olması kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Her ne kadar, şartname / sözleşme vs. ile sınır nem oranları tanımlı olmasına rağmen, ülkemizin coğrafi koşulları göz önüne alındığında, sanayi dağılımının ve nüfus yoğunluğunun homojen dağılmamasının da bir etkisi olarak genel olarak nem oranı yüksek olduğu için istenilen sınır nem değerlerinin sağlanması çok zor ve maliyetli bir durumdur.

Şekil 3.13: Küflü palet görüntüsü.

Cam ambalaj sektöründe paletler girdi malzemesi olarak çok önemli bir konuma sahip olmakla birlikte yüksek miktarlarda kullanıldığı için %100 kontrol edilememekte, örnekleme metodu kullanılarak numunelerin şartname değerlerine göre

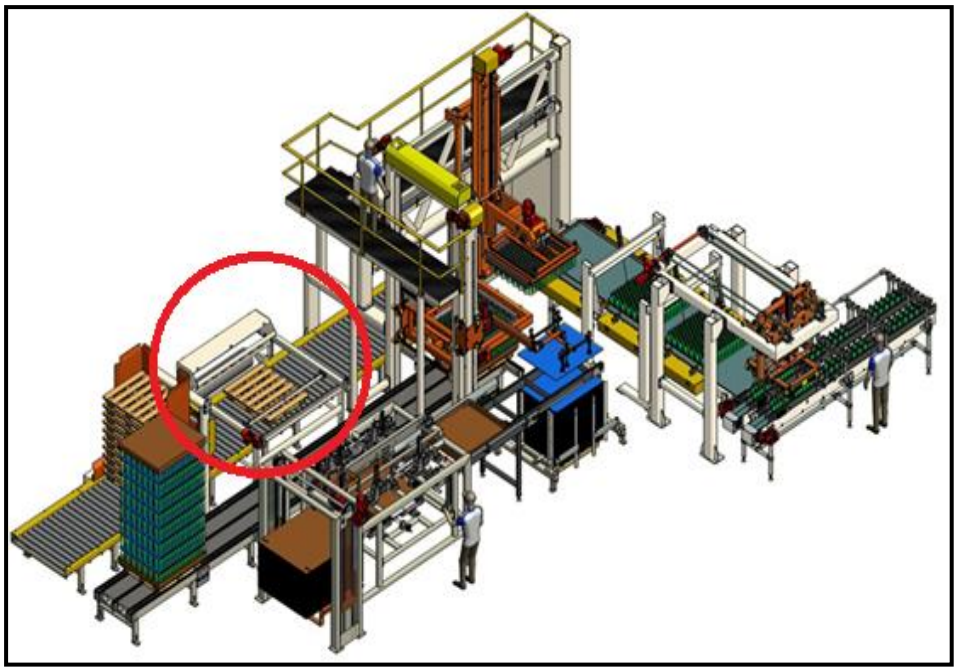
kabul – ret kararı verilmektedir. Ancak, bazen bu kontrol yöntemi ile boyutsal olarak sapmalar tespit edilemese de çok önem arz etmezken, nem değerlerinde olabilecek bir sapma durumunda küf oluşumu riski bulunmakta ve dolayısıyla da müşteri şikayetine neden olma ihtimali taşımaktadır.

Şekil 3.14: Palet nem ölçümüne ait bir görüntü.

3.4.1.2. Endüstri 4.0 Yaklaşımı:

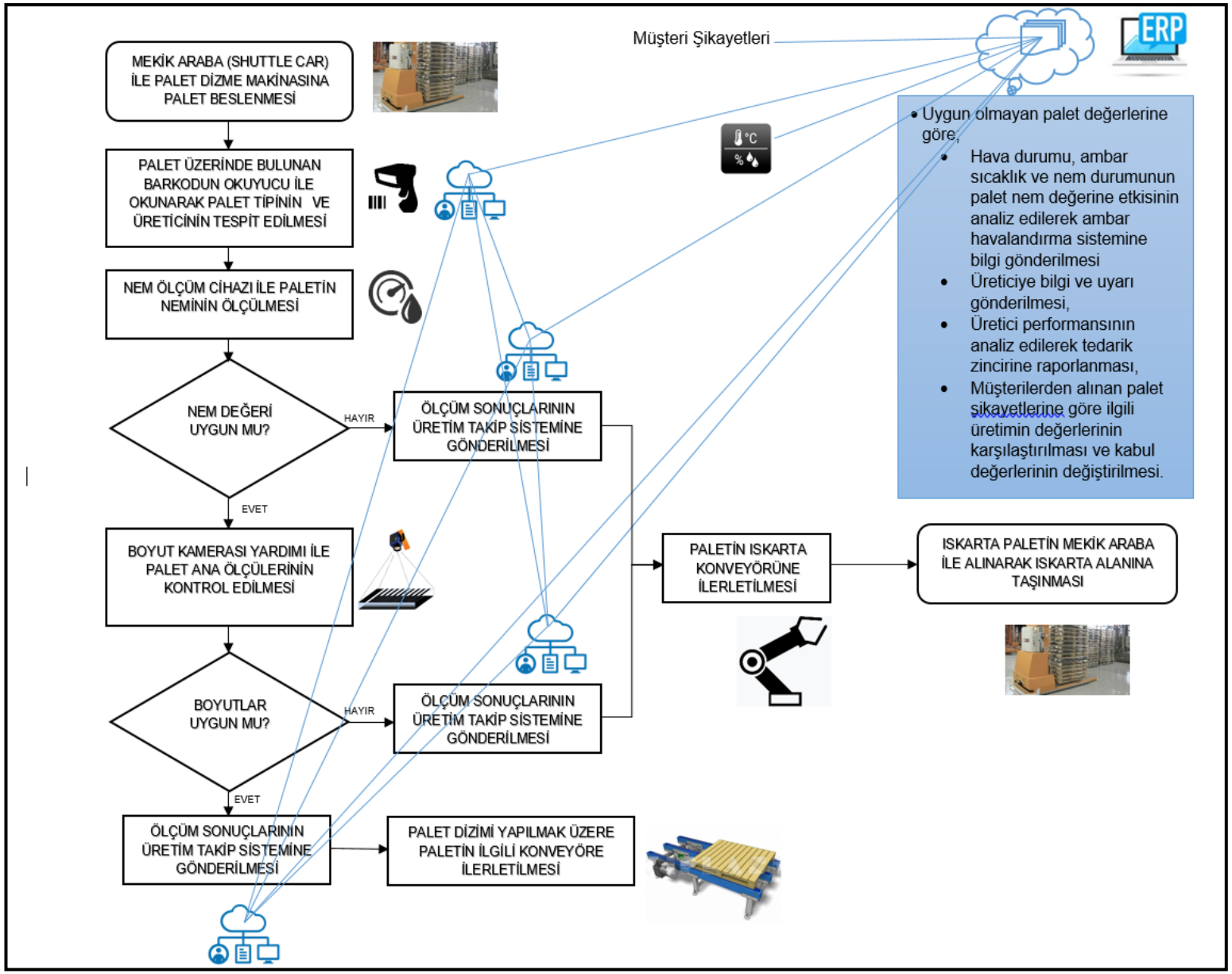
Cam ambalaj üretiminin bütünü içerisinde yer alan, ambalajlama işleminin de kusursuz ve hatasız olması, müşteriye ulaşıncaya dek ideal şartlarını koruması çok önemlidir. Bu nedenle bu proses aşamasında Endüstri 4.0 vizyonunun uygulamaya geçirilmesi, durum ve bağlam hassasiyeti içeren hedeflere dayalı, akıllı imalat kaynağı şebekelerinin ve imalat adımlarının oluşturulmasını sağlayacaktır.

Daha önce bahsedilen cam ambalaj ürünlerinin ambalajlanmasını sağlayan tam otomatik tam otomatik ambalajlama makineleri (palletizer) ; hatlardan gelen ürünlerin bir robot kol tarafından alınarak, ambalaj standardına göre paletlerin üzerine yerleştirildiği makinelerdir. Bu makineler tamamen otomatik olup, ürüne göre ilk programlamanın yapılmasının ardından, görsel kontrol dışında herhangi bir insan gücü gerektirmeden konveyörler üzerinden dış naylon ambalajlama işlemi için gönderilmektedir. Mevcut durumda da bahsedildiği üzere; makinelere yüklenen paletlerin nem oranları örnekleme metodu ile tespit edildiği için örnekleme yapılan paletlerin dışındaki paletlerin nem durumu açısından herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Kontrol edilmemiş olan paletlerde kabul limit üzerinde nem olması durumunda küf oluşması riski bulunmakta ve bu durum müşteri şikayetlerine neden olmaktadır.



Şekil 3.15: Otomatik palet makinesinde nem ve boyutsal ölçüm sisteminin yerleştirileceği alan görüntüsü.

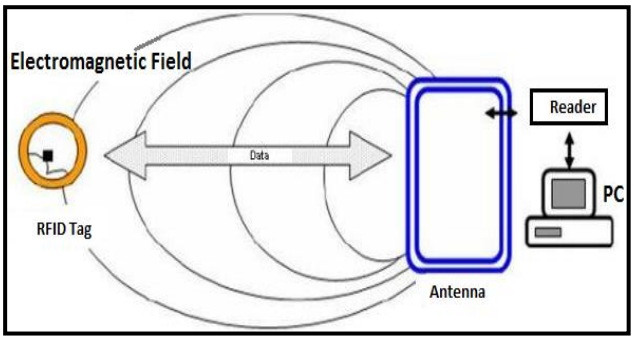
Endüstri 4.0 vizyonu ile bu durumun giderilmesine yönelik Şekil 3.15' te işaretlenmiş olan alanda otomatik bir nem ölçüm probu ile nem ölçümü ve bir kamera ile boyutsal ölçüm yapılarak, paletlerin %100 kontrol edilmesi sağlanacak ve limit nem değeri üzerindeki paletler bir pistonlu veya robot kol yardımı ile ıskarta edilebilecektir. Sistemin kurulum maliyeti ~150.000 Euro' dur.



Şekil 3.16: Endüstri 4.0 vizyonu ile geliştirilecek “otomatik palet nem ve boyut ölçüm sistemi” süreç akışı.

3.4.2. Hatalı veya Blokeli Ürün Sevkiyatının Önlenmesine Yönelik "Yükleme Rampası Üzeri Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Etiket Okuyucu Sistemi" Kurulması

RFID teknolojisinin temelinde radyo frekansı ile haberleşme yer almaktadır. RFID sisteminin üç bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; okuyucu, etiket ve antendir. Etiketler nesneler üzerine yapıştırılan ve bu nesneye ait bilgileri bulunduran bileşenlerdir. Nesne üzerine yerleştirilen etiketler vasıtası ile okuyucular, bu nesne ile ilişkilendirilmiş tüm bilgileri radyo frekansları ile sayısal bir veri olarak alabilmektedir. Okuyucu ile etiket arasında iletişim antenler vasıtası ile gerçekleştirilir ve eşleme (coupling) olarak adlandırılır. Haberleşme alanının artırılması için ek antenler sistem içerisinde kullanılabilir. Şekil 3.17' de RFID sisteminin çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 3.17: RFID sistemi çalışma prensibi.

3.4.2.1. Mevcut Durum:

Cam Ambalaj sektöründe RFID (Radio Frequency Identification: Radyo Frekanslı Tanımlama) etiket uygulamasına geçilmiş olup, bu sayede anlık stok takibi ve izlenebilirlik anlamında büyük gelişme sağlanmıştır.

Cam ambalaj sektöründe ambalajlanan ürünün üzerine otomatik sistem ile online ve offline olarak çalışacak yapıda RFID ve görsel müşteri etiketi basılmaya başlanılmış olup, tüm yerleşkelerde yaygınlaştırma çalışmaları devam etmektedir.

RFID etiket kullanımına geçiş ile birlikte;

- Ürün hareketlerinin daha sağlıklı çalışmasının ve takibinin sağlanarak stok sayımı ve sevkiyatlardaki kontrolün etkinliğinin artırılması,

- Üretimde ambalajlama sürecinden müşterilerin stok takibine kadar ürün hareketleri yönetilme esnekliğine kavuşulması,
- İş gücüne bağımlılığın azaltılması

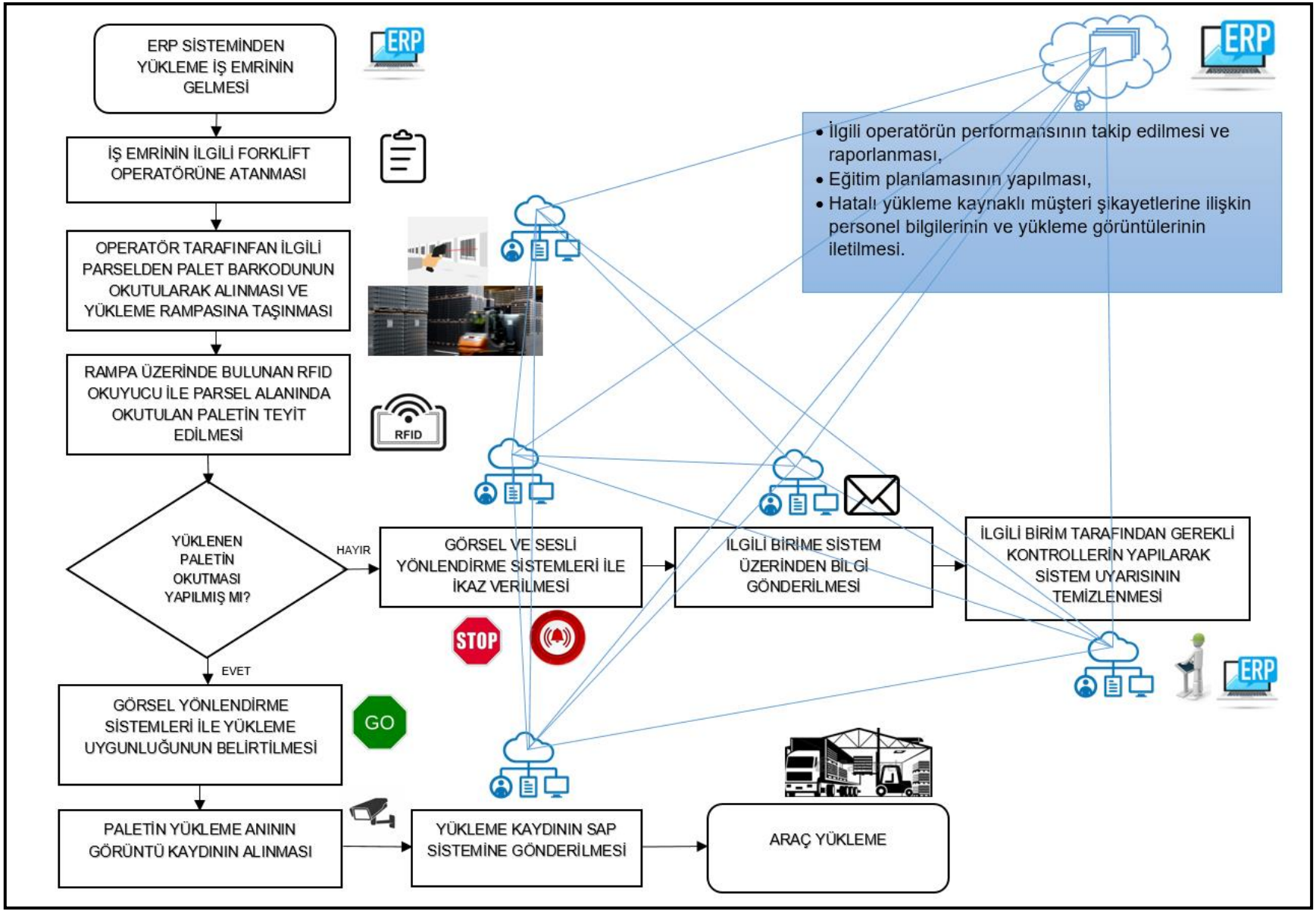
sağlanmıştır.

Görsel müşteri etiketi altında RFID mikroçipi yer almaktadır ve ambalajlama işlemi tamamlanan tüm paletlere yapıştırılmaktadır. Ambara sevk edilen ürünler parsel uygulaması yardımıyla istiflenmekte ve RFID etiketi sayesinde okuyucu antenler yardımı ile fiili olarak da kontrol edilebilmektedir.

Mevcut durumda ürünlerin stok kontrolü ve parsel kontrolü gibi önemli faydaları bulunan RFID etiketli paletlerin, yükleme emri verilmesi sonrası, forklift operatörleri tarafından el istasyonları ile okutma yapılarak ERP sistemine bilgi aktarılmakta ve nakliye araçlarına yüklenmektedir. Teoride sistemde problem olmamasına rağmen pratik uygulamalarda operatörler tarafından okuması gerçekleştirilen ürünler rampa önüne getirilmekte ve ambalaj kontrolleri yapılarak yüklenmektedir ancak aynı anda birkaç araç yüklemesi olduğu durumlarda yoğun ambar faaliyetlerinden dolayı kontrol alanında farklı ürünler aynı anda bulunabilmektedir. Bu nedenle yoğun hareket olmasından dolayı farklı ürün veya bloke ürün yüklenmesi gibi durumlar yaşanabilmekte ve bu durum müşteri şikayetlerine sebep olabilmektedir.

3.4.2.2. Endüstri 4.0 Yaklaşımı

Tüm ambalajlara yerleştirilen RFID çipinin stok takibi faydasına ek olarak, yanlış veya blokeli ürün gönderimi riskini ortadan kaldırmak üzere, yükleme yapılan rampaların üst kısımlarına RFID okuyucu konularak, ürünün yükleme emrinde yer alan ürün ile kontrolünün sağlanması ve aynı zamanda kalite blokesi durumunun sorgulanması sağlanabilecektir. Rampa üzerinde yer alacak okuyucunun doğrulama işlemini yapması sonrası, forklift operatörünü yönlendirecek bir görsel ve sesli uyarı sistemi ile doğru ve kalite problemi olmayan ürünün sevk edilmesi sağlanabilecektir. Sistemin kurulum maliyeti 40.000 Euro’ dur.



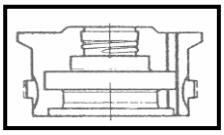
Şekil 3.18: “Yükleme Rampası Üzeri Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Etiket Okuyucu Sistemi” süreç akışı.

3.4.3. Otomatik Ön Şekillendirme (Ebişör) Kalıp Yağlama Sisteminin Endüstri 4.0 Bakış Açısı ile Geliştirilmesi

Cam ambalaj üretiminde kullanılan ve cam ile temas eden kalıp parçaları ve işlevleri şu şekildedir;

- Müldebak

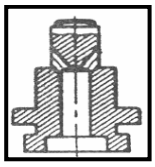
Ürünün kafa profilinin oluşturulduğu parçadır. Kafada bulunan bilezik ve diş gibi kısımlar bu parça ile oluşturulur.



Şekil 3.19: Müldebak kalıbı görüntüsü.

- Mandren:

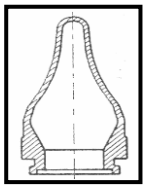
Blow – blow prosesinde kullanılan bir kalıp parçası olup, ürün ağız içinin istenilen ölçüde olmasını sağlar.



Şekil 3.20: Mandren görüntüsü.

- Mastör:

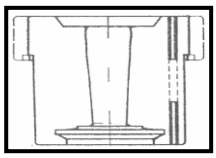
Pres-Blow prosesinde kullanılan bir kalıp parçası olup, Parizon adı verilen ürün ilk formunun iç profilinin ve ağız içinin şekillendirilmesinde kullanılan kalıp parçasıdır.



Şekil 3.21: Mastör görüntüsü.

- Ebişör:

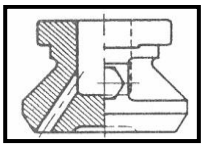
Ürünün ilk olarak şekillendirildiği ve parizon adı verilen ürün ilk formunun gövde bölümünün oluşturulduğu kalıptır.



Şekil 3.22: Ebişör kalıbı görüntüsü.

- Tampon:

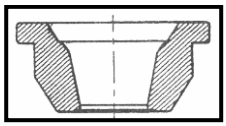
Ürünün dip kısmındaki cam dağılımını yönlendiren ve parizonun dibini oluşturan kalıp parçasıdır.



Şekil 3.23: Tampon görüntüsü.

- Huni:

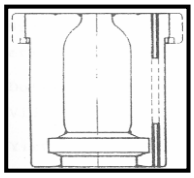
Damlanın ebişör kalıbı içerisine düşmesi aşamasında merkezlemeyi sağlayan yardımcı parçadır.



Şekil 3.24: Huni görüntüsü.

- Finişör:

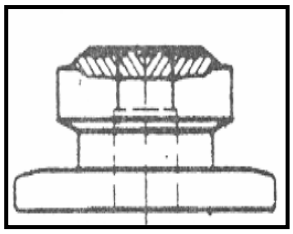
Cam ambalaj ürününün son şeklinin verildiği kalıptır.



Şekil 3.25: Finişör kalıbı görüntüsü.

• Müldefon:

Ürünün dip kısmının son şeklinin verildiği kalıptır.



Şekil 3.26: Müldefon kalıbı görüntüsü.

Cam ambalaj üretiminde kullanılan kalıplar, sıcak cam ile temas eden parçalar olması nedeniyle temas yüzeylerine özel yağ ve kaplama uygulaması gereklidir. Sıcak yüzeylere yağlama uygulandığında yağın ya da kaplamanın çoğunluğu uygulamadan itibaren belirli bir süre cam kalitesini iyileştirici bir etki bırakarak yanar, buharlaşır ve karbonlaşır. Bu tür yağ ve kaplamaların fonksiyonu, kimyası, seçimi ve uygulanması ile ilgili önemli noktalar bulunmaktadır.

Kalıp parçasına herhangi bir çeşit kaplama uygulaması ihtiyacı, cam ile metal arasındaki doğal yapışma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle metallerin yüksek yüzey enerjisinin bu duruma yol açtığı söylenebilir. Yüzey enerjisi bir katının yüzeyindeki dengesiz enerjidir. Bir metalin yapısında atomları bir arada tutan bağlardan kaynaklanan bir enerji ve yüzeydeki atomik bağların karşılık görememesinden kaynaklanan dengesiz bir kuvvet oluşur. Kalıp malzemesi ve onun oksitleri gibi iç bağ kuvvetleri yüksek olan malzemelerde doğal olarak yüzeyde oluşan kuvvet de büyük olur. Zayıf atomik bağlı malzemelerde yapışma, yüksek değerli kuvvetlerle tamamlandığında gerçekleşir. Yüzey gerilimi her birim alan için yüzey serbest enerjisinin ölçüsüdür, ölçüm koşullarına bağlı olarak değerler değişebilir. Tablo 3.2' de bazı malzemelerin tipik değerleri gösterilmiştir.

Yapışmanın önlenebilmesi amacıyla kalıp yüzey enerjilerinin düşürülmesi gerekmektedir. Yağlayıcılığın artırılması için grafit gibi katkı maddesi içeren bazı yağlar, yüzeyde karbonlu ve sülfürlü bir tabaka bırakarak bu durumu sağlamaktadır. Yağlama, uygulamanın yapıldığı yüzeyin enerjisini azaltır. Bu ıslanma ve iyi bir temas oluşmasını da azaltıcı bir rol oynayarak camın kalıp yüzeyine yapışmasını engeller.

Cam ambalaj üretimi çok çeşitli yağ ve kaplama kullanımını içermektedir. Ergitme havuzundan gelen cam, feeder' den aşağı doğru akarken makas yardımı ile

kesilir ve damla adı verilen parçalar oluşturulur. Damla ebişöre girmeden önce kepçe, oluk ve saptırıcı yolundan geçer. Temas kısa süreli olduğundan fazla yağlama ihtiyacı yoktur.

Tablo 3.2: Bazı kalıp malzemelerinin yüzey gerilimi değerleri.

Malzeme	**Yüzey Gerilimi (dynes/cm)**
Demir	1700
Bakır	1120
Demir oksit (FeO)	585
Erimiş cam	200-400
Grafit	200-400
Teflon	108

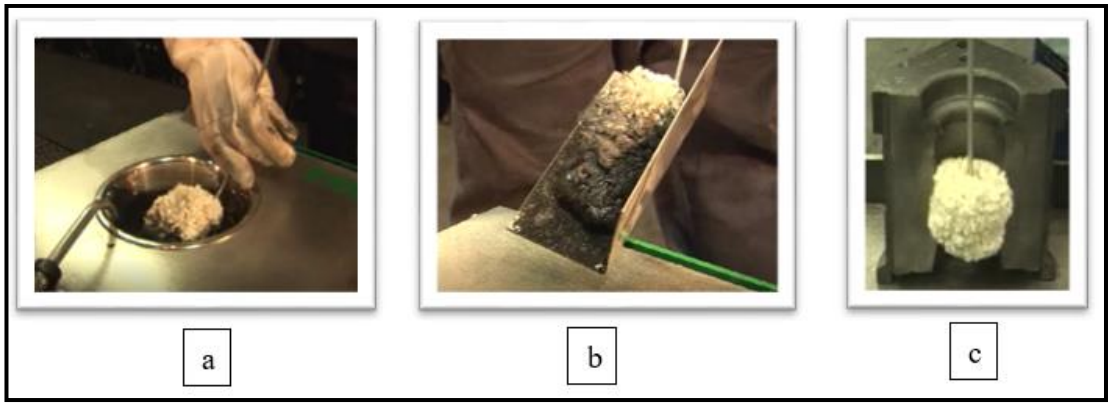
3.4.3.1. Otomatik Ebişör Kalıp Yağlama Sistemi Öncesi Durum

Ebişör ve ebişör parçalarında genel olarak petrol bazlı yağlayıcılar kullanılır. Şekillendirmedeki en kritik aşama buradadır. Kalıp yağlarının performansı, yağın kimyasına olduğu kadar operatörün becerisine, yağlama pamuğunun ne kadar ıslatılması gerektiği, yağlama sıklığı ve sürme şekli gibi konulardaki tecrübesine de bağlıdır. Bu nedenle yağlama standardında olabilecek herhangi bir sapma direkt olarak ürün kalitesini ve maliyetini etkilediğinden dolayı büyük önem taşımaktadır.

Otomatik ebişör kalıp yağlama sistemi öncesinde; ebişör kalıp yağlama işlemi, operatörler tarafından belirli periyotlarda, manuel olarak, fırçalar yardımı ile gerçekleştirilmekte idi.

Bu uygulamada insan faktörü ön planda olduğu için uygulama periyotları ve kullanılan yağ miktarı değişkenlik göstermekte ve bu durumda periyot değişkenliğine bağlı olarak ürün kalitesi, kullanılan yağ miktarına bağlı olarak da maliyetler değişkenlik göstermekte ve yağlama sırasındaki duruşa ek olarak yağ miktarının değişken olması nedeniyle yağlama işlemi yapılan kalıpta ilk üretilen ürünlerin ıskarta edilmesi gerekmekte idi. Ayrıca IS makineleri yüksek basınçlı hava yardımı ile çalışan

makineler olmasından ötürü kuvvetli hareketli mekanizmalar içeren makineler olmasından ötürü manuel yağlama işlemi operatörler için iş güvenliği anlamında da yüksek risk oluşturmakta idi.



Şekil 3.27: Manuel yağlama işlemi görüntüleri a) fırçaya yağ sürülmesi b) bir aparat yardımı ile fırça üzerindeki fazla yağın alınması c) kalıp yağlama işlemi.

3.4.3.2.Otomatik Ebişör Kalıp Yağlama Sistemi Çalışma Prensibi ve Sistem Sonrası Durum

Otomatik ebişör kalıp yağlama sistemi ile daha önce operatörler tarafından manuel olarak yapılan ebişör yağlama işleminin, belirlenen periyot ve yağ miktarı ile bir robot tarafından yapılması sağlanmıştır. 6 eksenli robotun ray üzerinde 7. Eksen oluşturularak IS makinasının ebişör tarafında yatay hareket eden sistem IS makinası ebişör tarafı kalıplarını düzenli olarak yağlamaktadır.

Şekil 3.28: Otomatik kalıp yağlama sistem panosu.

Yağlama robotunun panelinden IS makinası ile iletişim sağlanmakta ve yağlama sinyali gönderilmektedir. Panel üzerinden robotun hangi periyotlarda yağlama yapacağı, ne kadar basınçla yağ püskürteceği vb. ayarlar bulunmaktadır.

Şekil 3.29: Otomatik kalıp yağlama sistemi görüntüsü.

Yağlama yapılacak seksiyona gönderilen robot IS makinasından gelen sinyali bekler ve uygun zamanda seksiyon içine girerek ilk olarak güvenlik amacıyla ebişörlerin üstünde konumlanır. Ebişörler yağlama başlangıcında kapalı kalır ve robot ebişörlerin istenilen üst noktasından alt noktasına kadar yağlama yapar. Ebişörlerin açılmasından sonra bir kere daha müldebaklara yağ püskürtür ve yağlama işlemini bitirerek seksiyondan geri çıkar. Herhangi bir kişinin ebişör tarafı platformuna çıkması halinde sensörler sayesinde robot yağlama sırasında olsa dahi otomatik durmaktadır. Ebişör tarafı sağ ve sol tarafına konulan sensörler sayesinde herhangi bir kişinin seksiyona girmesi halinde robot tekrar durmaktadır.

Tablo 3.3: Manuel kalıp yağlama ve otomatik kalıp yağlama sistemlerinde kullanılan yağların karşılaştırma tablosu.

	Manuel Yağlamada Kullanılan Yağ	**Robot İle Yağlamada Kullanılan Yağ**
Viskozite (cps)	7200-8000	800-1600
Grafit (%)	4,5-5,5	3-4
Sülfür (%)	3-4	3,5-4,5

Otomatik kalıp yağlama sistemi ile IS makinasının ebişör tarafında ebişör ve müldebak kalıpları yağlanmaktadır. Kullanılan yağ, robotun püskürterek yağlamasında kullanılan özel bir kimyasaldır.

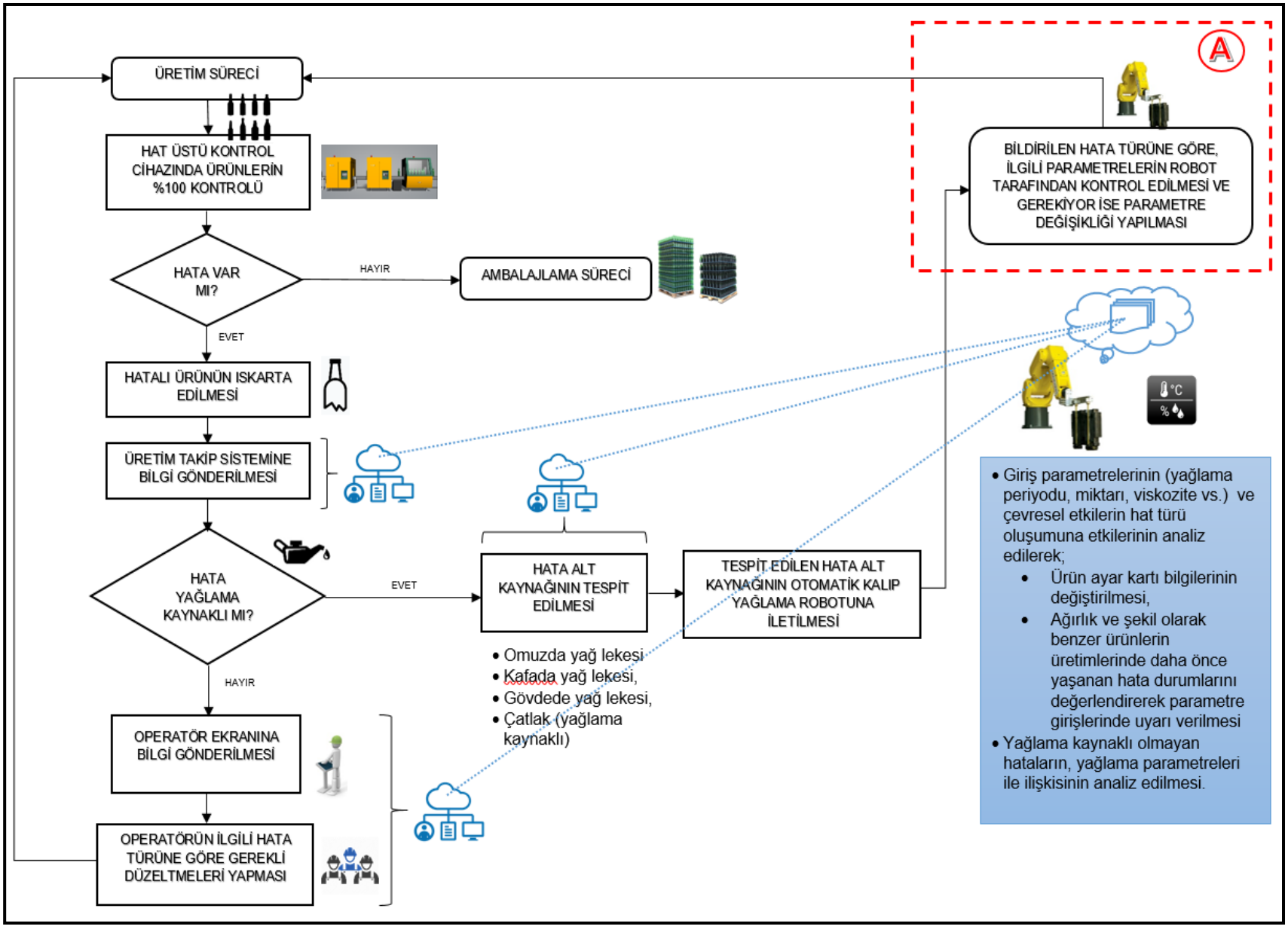
Uygulamanın sağladığı avantajlar;

- Yağlama kaynaklı bölüm duruşlarında %80 azalma,
- Manuel yağlamaya göre %75' e kadar yağ tasarrufu,
- Sabit periyotlarda istikrarlı yağlama,
- Kesintisiz ve uniform yağlama,
- Düşük grafit tüketimi,
- Manuel yağlama kaynaklı hata oranının azalmasına bağlı olarak ıskarta oranlarında azalma,
- Operatörlerin ebişör (ön şekillendirme) kalıbı tarafı yağlaması için harcadıkları zamanın imalat için daha verimli işlere harcanması,
- Ebişör kalıplarının finişör (son şekillendirme) kalıbı ile birlikte yağlanması gereken periyotlarda ikinci operatör ihtiyacının ortadan kalması,
- Manuel yağlama kaynaklı iş kazası riskinin azaltılması

şeklinde olmuştur.

3.4.3.3. Endüstri 4.0 Yaklaşımı

Otomatik kalıp yağlama robotu kullanımı ile manuel olarak yapılan kalıp yağlama işlemine göre yukarıda da anlatıldığı üzere birçok konuda fayda ve avantaj sağlanmıştır. Ancak Dördüncü Sanayi Devrimi bakış açısında, kol gücü ile yapılan işlemlerin robot teknolojisi ile yapılmaya başlanması tek başına yeterli değildir bu tür bir robotik dönüşümün ardından insan müdahalesini minimum seviyede tutmaya yönelik robotlar ve sistemler arası iletişimin sağlanması ve sistemlerin kendi aralarında karar verme mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu doğrultuda cam ambalaj üretiminde ürünleri %100 kontrol eden hat üstü kontrol cihazlarının tespit etmiş olduğu "yağlama" kaynaklı olan hataların, yağlama robotuna bildirilmesi ve yağlama robotunun bu doğrultuda gerekli parametre değişikliklerini yaparak sorunu giderecek şekilde bir işlem gerçekleştirmesi Endüstri 4.0 vizyonuna uyum sağlamaktadır.



Şekil 3.30: “Hat üstü kontrol cihazı” ile “otomatik kalıp yağlama robotu iletişimi” süreci akışı.

Bu örnekte, aşağıda bilgileri verilen ürünün ürün kartında yer alan parametre girişlerine rağmen hata tespit edilmesi durumunda yağlama robotunun bu hatanın sebebini tespit etmek üzere; arıza tespiti veya parametre değişkenliklerini sorgulayarak insan müdahalesi olmaksızın hatanın giderilmesi için uygulanacak algoritmalar aşağıdaki vaka çalışmasında paylaşılmaktadır.

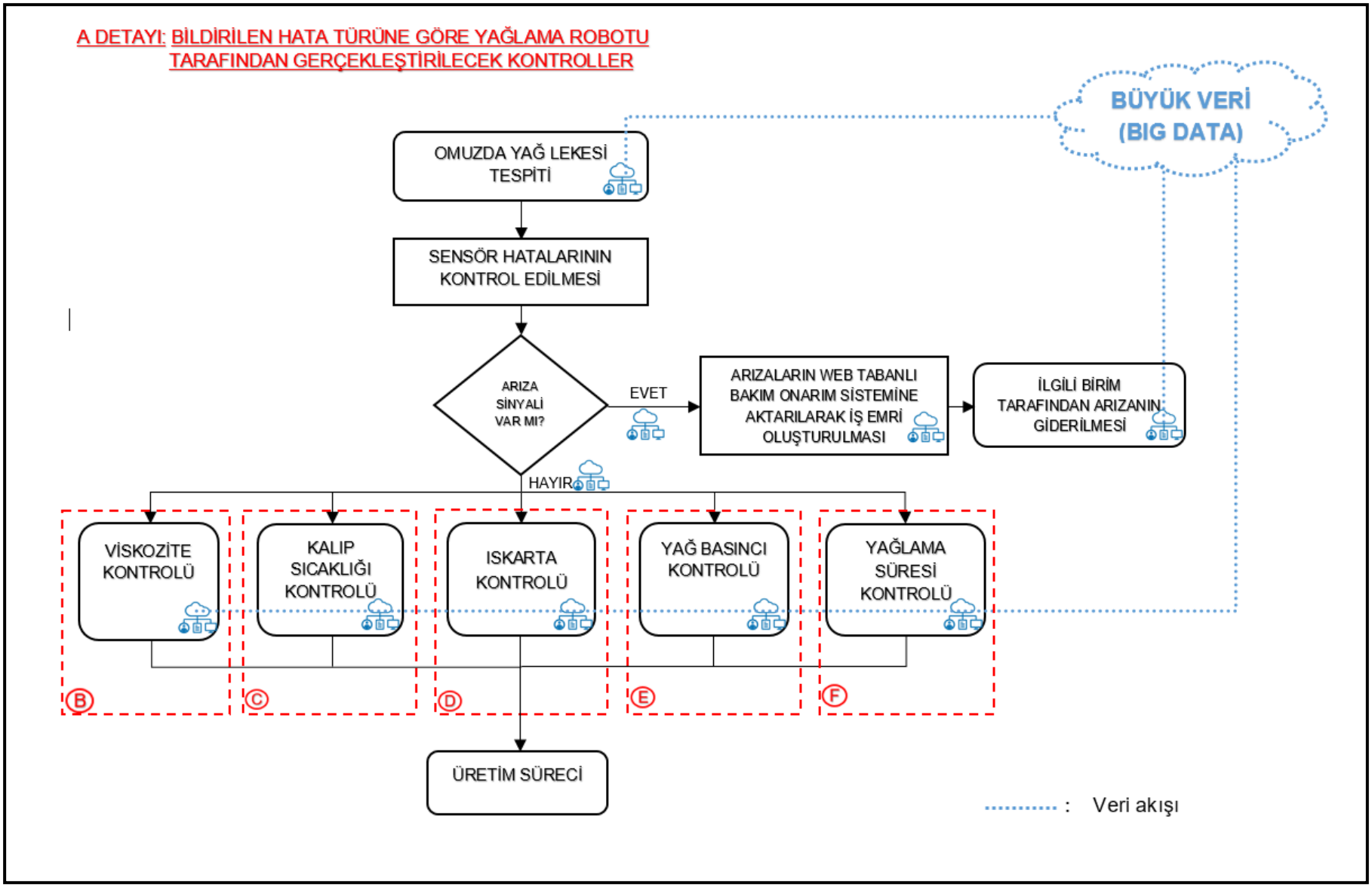
Ürün bilgisi aşağıdaki şekildedir.

- Ürün: Meşrubat şişesi
- Ağırlık: 165 gr.
- Hacim: 250 cl.
- Proses: Üfleme & üfleme (BB – Blow & blow)

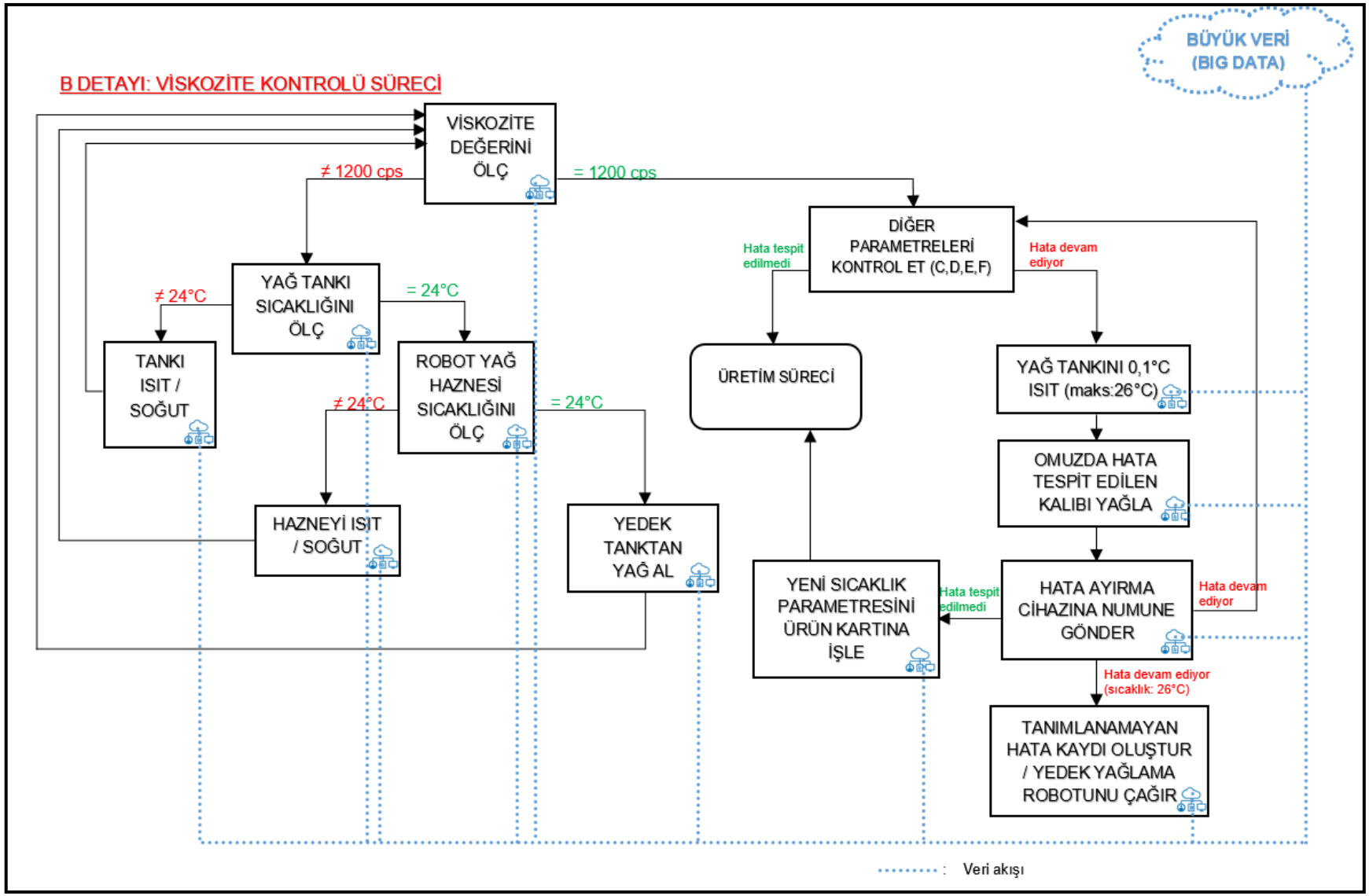
Yağlama Parametreleri;

- Yağlama periyodu: 15 dk.
- Viskozite: 1200 cps
- Yağ sıcaklığı: 24 °C
- Kalıp sıcaklığı: 600 °C
- Yağlama basıncı: 3 bar
- Yağlama süresi: 1,3 sn
- Yağlama sonrası ıskarta adedi: 1 adet
- Iskarta hava basıncı: 2 bar
- Konveyör hızı: 3 m/sn

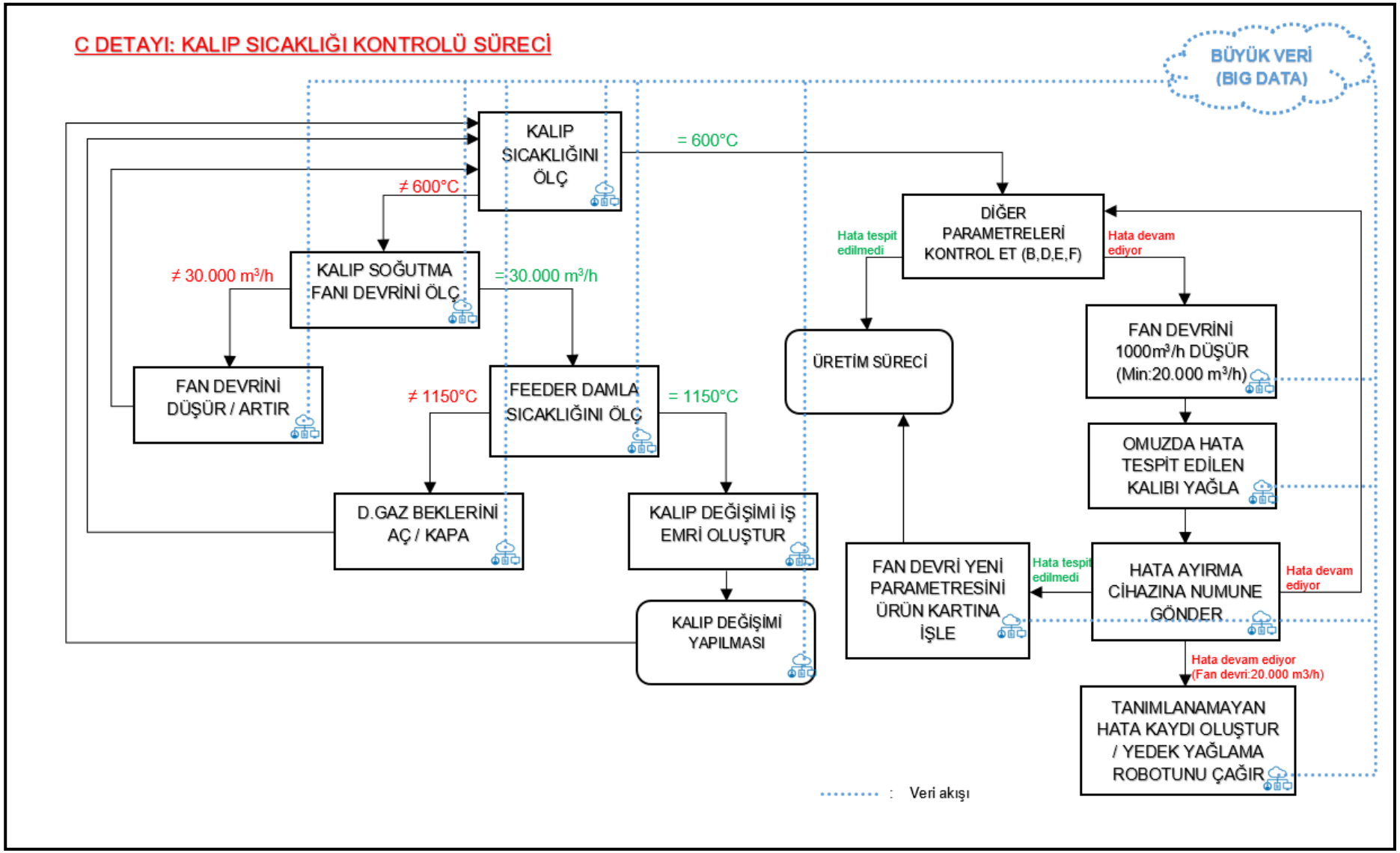
Tespit edilen hata türüne neden olabilecek durumlar için yağlama robotu tarafından gerçekleştirilecek aksiyonlar için süreç akışları aşağıdaki şekilde olacaktır. Hata bildirimi sonrasında robot tarafından hataya neden olabilecek parametreler değerlendirilecek ve sorun giderilmeye çalışılacaktır. Ancak problemin giderilememesi durumunda tanımlanamayan hata kaydı oluşturulacak ve yedek yağlama robotuna geçiş yapılacak şekilde algoritma oluşturulacaktır.



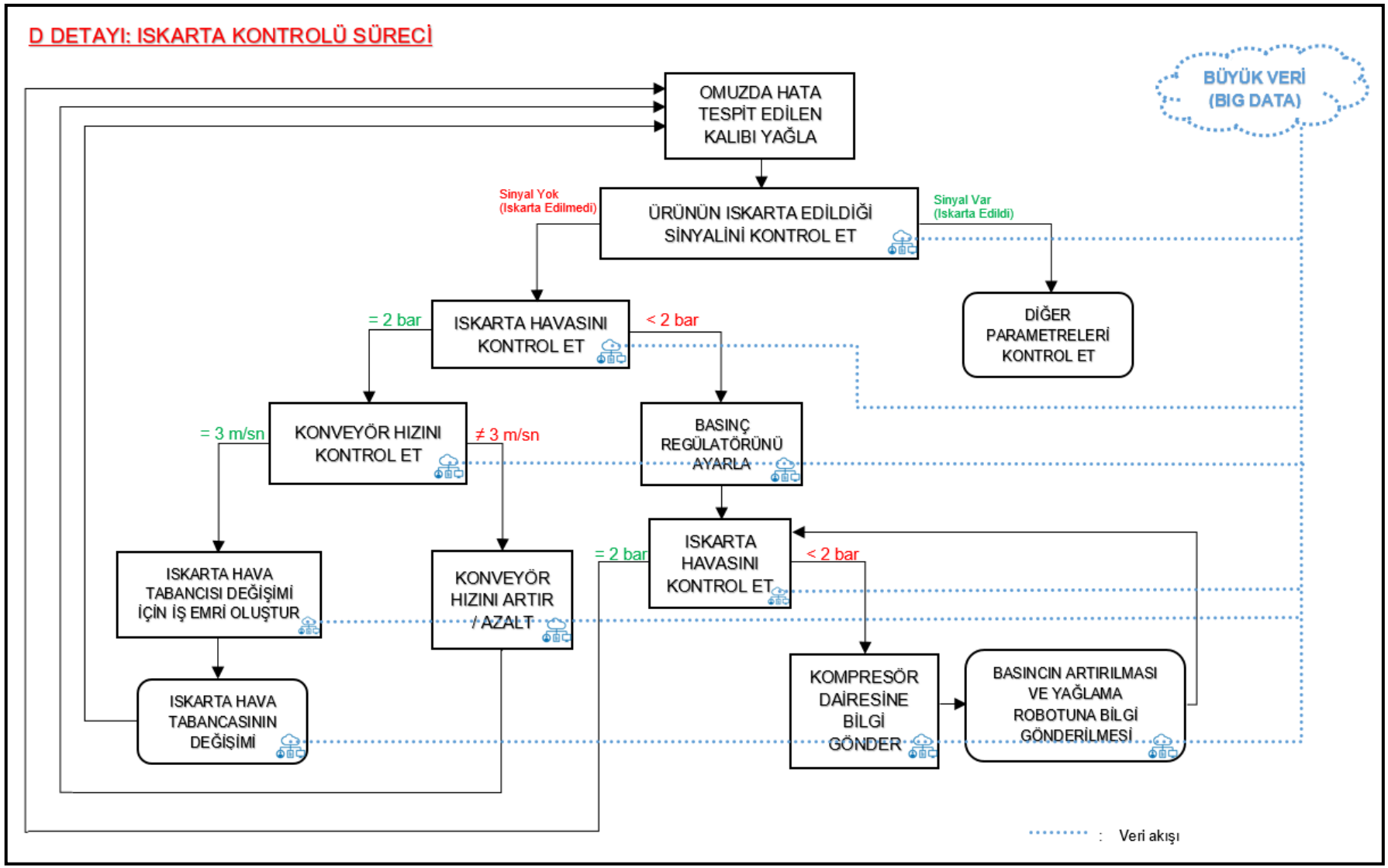
Şekil 3.31: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotuna tanımlanmış algoritmalar (Şekil 3.30’ de yer alan A detayı).



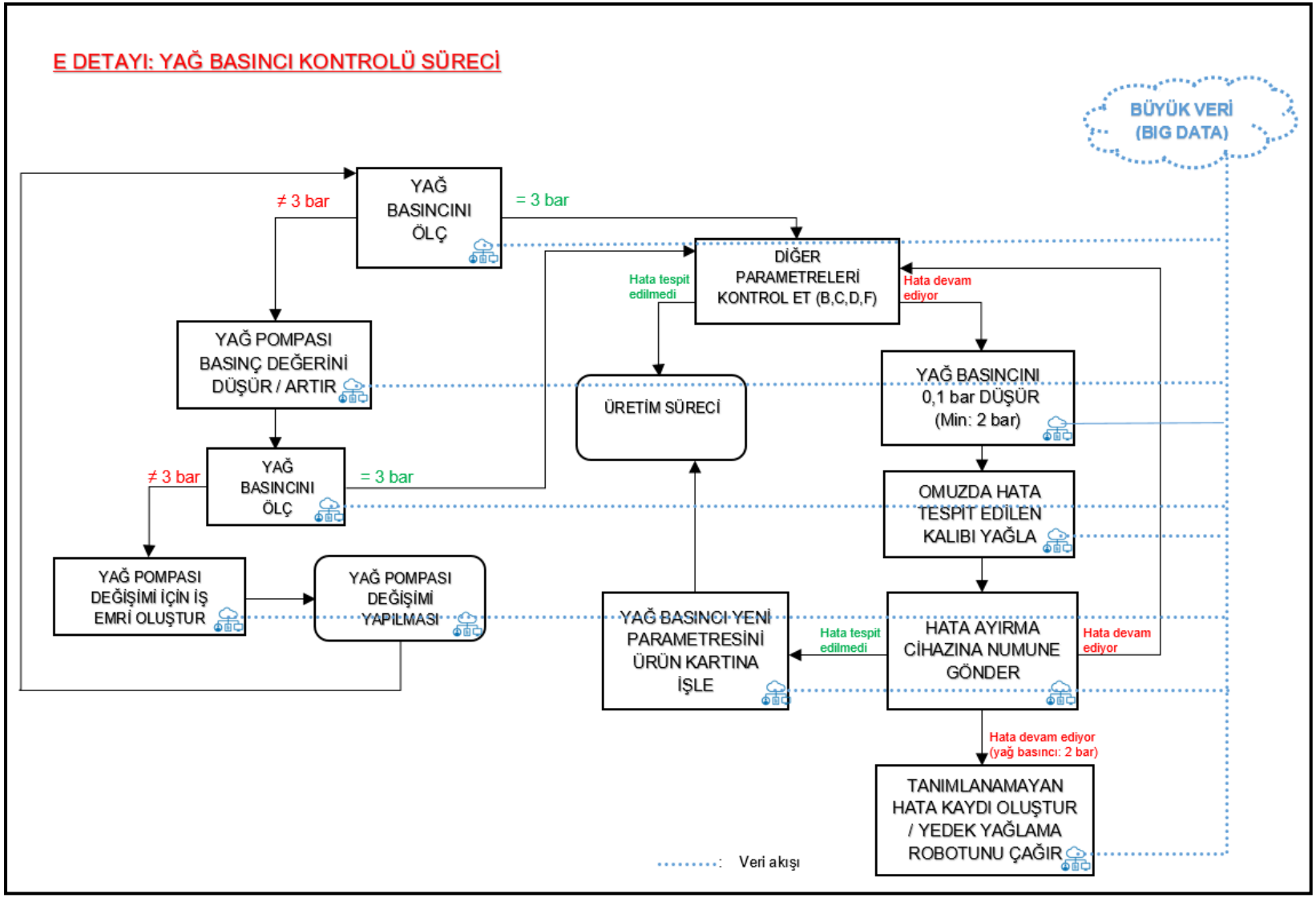
Şekil 3.32: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “viskozite kontrolü” süreç akışı (Şekil 3.31’ de yer alan B detayı).



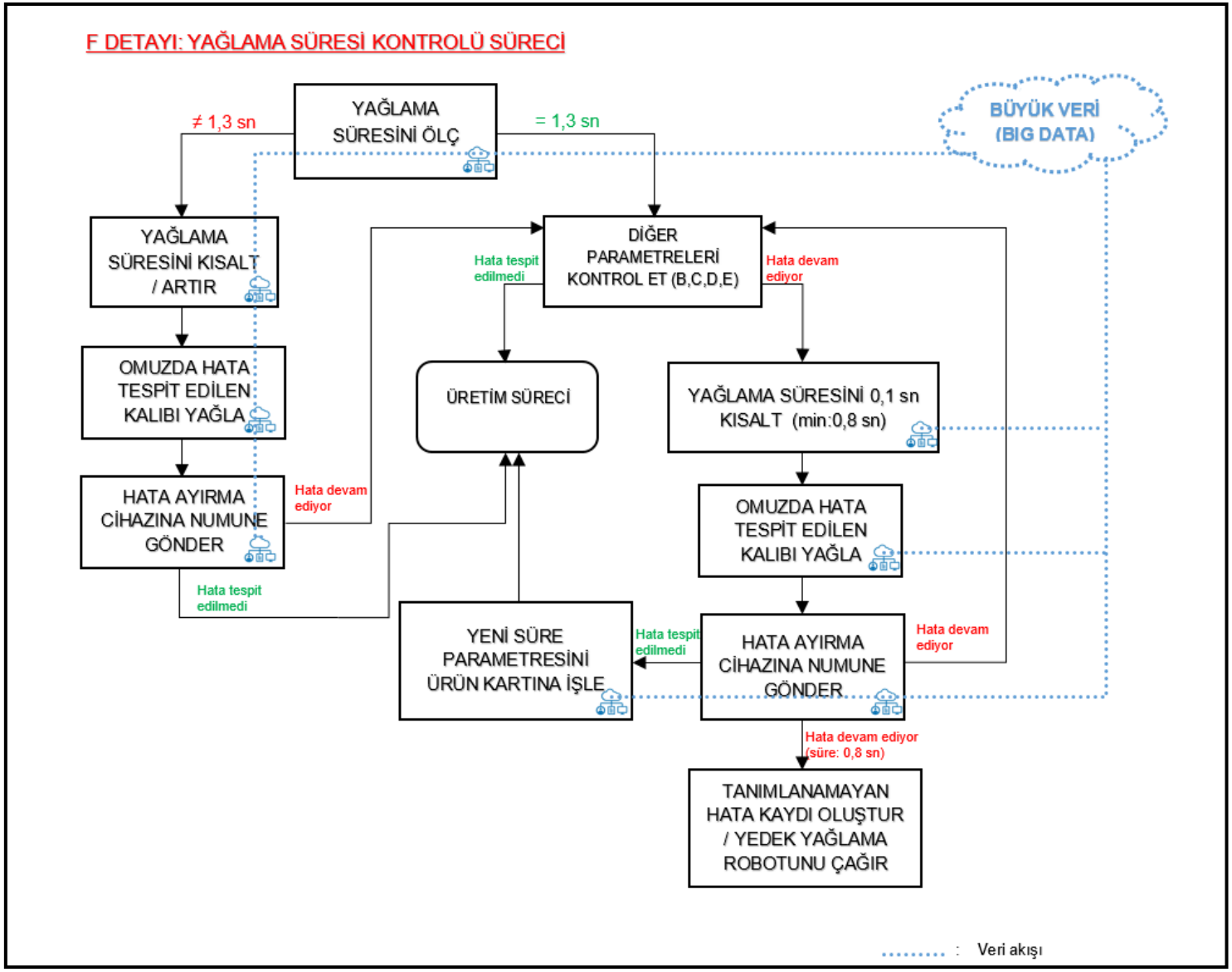
Şekil 3.33: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “kalıp sıcaklığı” kontrolü (Şekil 3.31’ de yer alan C detayı).



Şekil 3.34: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “ıskarta” kontrolü süreci (Şekil 3.31’ de yer alan C detayı).



Şekil 3.35: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “yağ basıncı” kontrolü (Şekil 3.31’ de yer alan E detayı).



Şekil 3.36: Omuzda yağ lekesi hatasına karşı yağlama robotunun “yağlama süresi” kontrolü (Şekil 3.31’ de yer alan F detayı).

4.SONUÇ

Birinci Sanayi Devrimi, buhar ve su kuvvetlerinden faydalanan mekanik sistemlerin icadı sonucunda 1784 yılında yapılan makine dokuma tezgahı ile İkinci Sanayi Devrimi, sanayide elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması sonucunda seri imalata geçilmesi ile Üçüncü Sanayi Devrimi, bilişim ve elektronik teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak 1969 yılında kullanılmaya başlana programlanabilir ilk yönetim sistemi ile ortaya çıkmış olan devrimlerdir.

Dördüncü sanayi devrimi diğer bir ifade ile Endüstri 4.0' ın ortaya çıkışı diğer üç endüstri devriminde olduğu gibi yeni bir teknoloji veya üretim sisteminin bulunması ile değerlendirilmemesi gerekmektedir. Bu sanayi devriminin çıkışını, Çin' in üretim hacmini çok kısa bir sürede katlayarak büyütmesi sonrasında harekete geçilmesi gerektiğini düşünen Alman Hükümeti' nin çalışmaları tetiklemiştir.

Üçüncü Sanayi Devrimi sonrasındaki tüm teknolojik gelişmeler aslında Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0 için bir temel oluşturmuştur. Özellikle bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ve buna bağlı olarak "internet" in icadı, hem teknolojik hem de ekonomik anlamda bir çağ atlanmasına öncülük etmiştir. İnsanların bilgiye, ürün ve hizmete erişebilmesindeki kolaylaşmaya bağlı olarak; kalite, maliyet gibi belirleyici konularda alternatiflerin kolay bulunabilmesi ve ayrıca ticarette sınırların kalkması Endüstri 4.0 için zorunlu bir başlangıca öncülük etmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi diğer sanayi devrimlerinden farklı bir çıkış noktasına sahip olan Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0' ın, getireceği sonuçlar nedeniyle diğer endüstriyel devrimlerden daha da etkili bir sanayi devrimi olduğu düşünülmektedir.

Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0 ile;

- Daha karmaşık ve akıllı ürünlerin hatasız olarak üretilebilmesi, kişiye özel üretim yani esnek üretim sistemlerinin kurulmasına bağlı olarak rekabette öne geçilmesi,
- İmalat tesisleri ile ürünler arasında gerçek zamanlı bilgi akışının sağlanabilmesi,
- "Big Data" sayesinde müşteri portföyünün, taleplerinin ve eğilimlerinin daha iyi analiz edilebilmesine bağlı olarak, daha kullanışlı ve amaca yönelik ürünlerin geliştirilebilmesi,

- Daha teknolojik ve bilgisayar destekli sistemler sayesinde insan faktörü etkisinin azalmasına bağlı olarak, hata riskinin ve fire maliyetlerinin düşürülmesi sonucunda hammadde ve enerji tasarrufu sağlanması,
- Endüstri 4.0 ana uygulamalarından birisi olan robotların yaygınlaşmasına bağlı olarak iş gücüne ihtiyacın azalması ve işçilik giderlerinden tasarruf sağlanması, tehlikeli işlerin robotlara devredilmesine bağlı olarak iş sağlığı ve güvenliği konusunda risklerin azaltılması ve standartların yükseltilmesi,
- Üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşması sayesinde her türlü yarı mamul ve mamulün üretilebilmesi,
- Tüm bu gelişmelere bağlı olarak artan verim ve ürün çeşitliliğinin yanından maliyetlerin azalması sayesinde rekabet gücünün yükselmesi ve özellikle Çin' e kayan pazar payının tekrar geri kazanabilmesi

sağlanacaktır.

Ancak tüm bu olumlu etkilerin yanında Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0 bazı kısıt ve zorluklara da sahiptir. Bunlar;

- Toplam fayda etkisi görülmeksizin yapılan kıyaslamalarda, Endüstri 4.0 dönüşümünde gerekli olan alt yapı ve diğer yatırım maliyetlerinin, yapısal olarak ucuz iş gücü ve makine maliyetleri gerektiren işlere kıyasla daha yüksek olması,
- Yatırımların geri dönüş sürelerinin uzun olmasına bağlı olarak, kazanç etkisinin daha uzun vadede görülmesi,
- Maliyetlerin yüksekliğine bağlı olarak küçük ve orta ölçekli işletmelerin yatırıma başlayabilme kabiliyetinin sınırlı olması ve bu sınırlı dönüşümün etkisinin beklenen sonuçları vermemesine bağlı olarak güven ve motivasyon kaybı,
- Söz konusu teknolojik dönüşüm için nitelikli iş gücünün ve ekosistemlerin kısıtlı olması,
- Dönüşüme öncülük edecek büyük sermayeli kuruluşların genel olarak eski teknolojiler ile donatılmış karmaşık yapılara sahip olmasına bağlı olarak sistem ve ekipmanlar arasındaki bütünleşme eksikliğinin iletişim ve veri toplamada zorluklar yaşatması,
- Yoğun internet ve bulut kullanımına bağlı olarak; müşteri bilgilerinin çalınması, tedarik zinciri sistemlerinin çökertilmesi, gizli bilgilerin rakiplere sızdırılması gibi güvenlik ihlali risklerinin bulunması,

- Endüstri 4.0 dönüşümü için gerekli ürün ve “know-how” ın büyük çoğunluğunu uluslararası pazarlardan sağlanması ve buna bağlı olarak maliyetlerin yüksek olması gerekecektir.
- Endüstri 4.0 ‘ ın bir diğer önemli kısıtı da insansız üretimin yani bir diğer ifade ile robot işçilerin üretim sanayiinde mavi yakalı çalışanların yerine geçecek olmasına bağlı olarak yaşanacak işten çıkış durumu olarak görülmektedir. Ayrıca bu robot dönüşümüne bağlı olarak da vasıfsız iş gücünde yaşanacak işsizlik oranındaki artış nedeniyle ücret seviyelerinde bir düşüş yaşanması beklenmektedir. Söz konusu dönüşümün öncelikli olarak üretim sanayinde başlaması beklenmektedir ancak sağlanan fayda ve maliyet avantajı görüldükçe hizmet sektöründe de dönüşümlerin başlaması beklenmektedir. Bu nedenle benzer şekilde hizmet sektöründe de işten çıkarmalar ve buna bağlı olarak ücret seviyesinin düşeceği öngörülmektedir. Ek olarak orta vadede nüfus artış hızına bağlı olarak, işsizlik sorunu ciddi bir sorun haline gelmesi ve kurum içi personel sayısındaki azalmaya bağlı olarak da terfi süre ve süreçlerinde azalmaların meydana gelmesi beklenmektedir. Yine bu nedenlerden dolayı çalışanların işten çıkarılma korkusuna bağlı olarak psikolojik travmalar, mobbing ve benzeri baskıların artabileceği öngörülmektedir. Çalışanların varlıklarını sürdürebilmeleri için donanımlı iş gücüne dönüşmesi kaçınılmaz olacaktır [63].

Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0’ a geçiş için hem devletlere hem de üreticilere düşen sorumluluklar bulunmaktadır. Bunlar;

- Bilişim teknolojilerinin, inovasyonun ve girişimciliğin güçlendirilmesi için eğitim programlarının ve üniversite bölümlerinin oluşturulması,
- Gelişim ve değişim temel noktalarının belirlenmesi, özellikle üretimde esneklik, verimlilik, hız ve kalite gibi iyileşmesi gereken alanlar net bir şekilde belirlenmesi, bunun için de doğru ve etkin verinin toplanması,
- Teknolojik altyapının güçlendirilmesi,
- Önceliklerin belirlemesi ve iş gücü niteliğinin artırılması,
- Yaşanacak değişimin iş gücü üzerindeki uzun vadeli etkisinin ortaya konması ve buna bağlı olarak stratejik işgücü planlamasının yapılması,
- Yeni taleplerin karşılanabilmesi için yeni iş modellerinin tanımlanması,
- Analitik araçlara yönelik olarak yeni teknolojilerin geliştirilmesi,

- Dijitalleşen dünyaya uyum sağlayabilmek için yeni işbirliklerinin sağlanması,
- Üretimde standartların belirlenmesi ve uygulanması

gibi önemli adımlardır.

Endüstri 4.0, akıllı fabrikaların kurulması ve nesnelerin interneti gelişmeleri ile cam ambalaj sektörünü de doğrudan etkilemektedir. Üretim süreçlerinde gerek duyulan iş gücünün yerini otonom robotların alması ile yüksek otomasyon verimliliğinin sağlanması, makinelerin birbiri ile kurduğu iletişim sonucunda tedarik zinciri süreçlerinin performansının yükselmesi, "mass production" yapan cam ambalaj firmalarını Endüstri 4.0 kaynaklarına yatırım yapmaya teşvik etmektedir. "Big Data" gelişmeleri ile beraber üretimde gereksinilen verilere daha rahat ulaşılabilmekte, üretim süreçlerinde yaşanan sorunlar daha hızlı çözüme kavuşturulmaktadır. Simülasyon teknolojileri ile ürün geliştirme ve tasarım süreçleri hız kazanmakta, her türlü iş akışı ve üretim sürecinin modellenmesi yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Banger G., (2016), "Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme", ISBN: 978-605-9317-85-6, Dorlion Yayınevi.

[2] Görçün Ö.F., (2016), "Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0", ISBN: 978-605-333-662-4, Beta Yayınevi.

[3] Ötleş S., Özyurt V. H., (2016), "Endüstri 4.0: Gıda Sektörü Perspektifi" Dünya Gıda Dergisi, Mayıs 2016 S 89-96.

[4] Schwab K., (2016), "The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum", ISBN: 978-605-322-295-8, Optimist Yayınevi.

[5] Türk A., Kartoğlu C., Kırcı B., Tos K., Çabuk G., Pırnal S. C., Kurum E., (2014) "Endüstri 4.0 – "Akıllı" Yeni Dünya: Dördüncü Sanayi Devrimi", EkoIQ Dergisi Özel Eki, Aralık 2014, 1-20.

[6] Çeliktaş M.S., Sonlu G., Özgel S., Atalay Y., (2015), "Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası", Mühendis ve Makine Dergisi, 56 (662), 24-34.

[7] Web 1, (2018), https://www.endustri40.com, (Erişim Tarihi: 15/09/2018).

[8] Kagermann H., Wahlster W., Helbig J., (2013), " Alman İmalat Endüstrisinin Geleceğini Güvence Altına Almak – Stratejik Girişim Endüstri 4.0' ın Uygulamaya Konulması İçin Tavsiyeler", Forschungsunion – Acatech National Academy Of Science and Engineering Industrie 4.0 Çalışma Grubu Raporu, Nisan 2013, 13-78.

[9] EBSO Araştırma Müdürlüğü, (2015), "Sanayi 4.0", Ege Bölgesi Sanayi Odası, İzmir / Türkiye.

[10] Gunes V., Steffen P., Givargis T. and Vahid F., (2014), A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber-Physical Systems, Transactions on Internet and Information Systems, 8 (12), 4222.

[11] Lee E.A., Seshia S.A., (2011), "Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems, Approach - Edition1.5", ISBN 978-1-312-42740-2.

[12] Çakal M.A., Eymirli E.B., (2012), "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi", T.C. Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı.

[13] Şimşek T., Kent E., Çınar H., Bayramusta M., Baycan C., Sivas G., Güngören U., Akbaş S., Özlü O., Özer T., Bayrak M., Özkaya Ö., (2015), "Endüstri 4.0 Yolunda", Siemens – Endüstri 4.0 Platformu Dergisi, 2015, 1-24.

[14] Çetinkaya K., (2016), “Endüstri 4.0 ve 3B Yazıcılar”, Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği.

[15] Akçakaya, R., (2002), “Cam Üzerine Araştırmalar”, Teknik bülten, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., İstanbul.

[16] Küçükkalay A.M., (1997), “Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 1997, S 2(Güz), 51-68.

[17] Heye I., (2014), “Industry 4.0 in Container Glass Production”, Glass Machinery Plants & Accessories Magazine, 5/2014, 22.

[18] Heye I., (2016), “Smart Plant (Concepts) For Smart Glassworks Engineers”, Glass Worldwide Magazine, 2016, 106-108.

[19] Banger G., (2016), “Endüstri 4.0”, Uzunköprü Meslek Yüksek Okulu.

[20] Web 2, (2018), https://www.plattform-i40.de, (Erişim Tarihi: 11/12/2018).

[21] Balasingham K., (2016), “Industry 4.0: Securing the Future for German Manufacturing Companies”, Master Thesis, University Of Twente.

[22] Kuka, (2016), “Hello Industrie 4.0 – We Go Digital” Kuka Aktiengesellschaft, April 2016, 1-34.

[23] Correia M.A.d.S., (2014), “Industrie 4.0 – Framework, Challenges and Perspectives” Master Thesis, Hochschule RheinMain Univesity of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim.

[24] Taghizadeh K., Keser G., (2015), “Dördüncü Sanayi Devrimi: Yarının Fabrikaları Neye Benziyor?”, TAYSAD Dergisi 2015, 68-70.

[25] Baysal İ., (2015), “Endüstri 4.0” Endüstri 4.0 14. Çözüm Ortaklığı Platformu, PwC Türkiye.

[26] Numanoğlu N., Eynehan M. E., Nikelay G.M., Aksoy E., (2016), “Türkiye’ nin Küresel Rekabetçiliği İçin bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 – Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi”, TÜSİAD-T / 2016-03/576, ISBN 978-605-165-016-6, TÜSİAD – BCG

[27] Davies R., (2015), “Industry 4.0 – Digitalisation For Productivity And Growth”, European Parliamentary Research Service PE 568.337, 2-10.

[28] Schlötzer F., (2015), “Industry 4.0: Tho World of Smart Factories”, Master Thesis, Copenhagen Business School, Handelshojskolen.

[29] Sabo F., (2015), “ Industry 4.0 – A Comparison of The Status In Europe And The USA”, Fh Kufstein Tirol University of Applied Sciences.

[30] Özer K., Güner E.O., (2016), “Bilişimle Kalkınmada Sanayi 4.0”, 23. Bilgi İşlem Merkezi Yöneticileri Semineri Etkinlik Sonuç Raporu, 2016 / 03, Antalya, Türkiye.

[31] Soykut A.Y., (2007), “Cam Şekillendirme Makinalarındaki Aşınan Parçalara Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Performansa Etkileri”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi

[32] Arvind A., (2016), “Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems”, Master Thesis, School of Computer Mellon University, Pittsburgh.

[33] Schöbl M., (2016), “Glass Industry 4.0 – Transparency and Integratıon”, Glasstec 2016, Lisec Austria GmbH.

[34] Adolph L., Ammon E.,Basuch U., Bedender H., Bentkus A., Billmenn M., Braunmandl A., Brumby L., Börklrcher M., Clasen M., Meer J.D., Dledrich C., Drzus D., Elmas F., Epple U., Focke G., Fllehe M., Franchl N., (2018), “German Standardization Roadmap Industrie 4.0 Version 3”, DIN e.V.

[35] Bearup A. W., Breunig M., Dufour M., Gehrig J., Geldmacher F., Heberger M., Repening J., (2015), “Industry 4.0 – How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector”, McKinsey Digital, 2015, 1-62.

[36] Gökbulut A., Tansan B., Targotay Ç., (2016), “Sanayi 4.0 – Türkiye”, The Boston Consulting Group (BCG) Dergisi, Mart 2016, 1-21.

[37] Lee J., Kao H., Bagherl B., (2014), “A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0- Based Manufacturing Systems”, Manufacturing Letters, December 2014, 18-23.

[38] Lichtblau K., Stich V., Bertenrath R., Blum M., Bleider M., Millack A., Schmitt K., Schmitz E., Schröter M., (2015), “Industrie 4.0 Readiness - Research Project”, Impuls –Stiftung Cologne Institue for Economoc Research (IW) Consult GmbH, VDMA, October 2015, Aachen.

[39] Kull H., (2016), “Industry 4.0 in Glass Processing”, Inmatic, 2016, 1-12.

[40] Krauß D., Küppers B., (2016), “Glass Industry 4.0 – Automation and Smart Control Engineering”, Glasstec 2016, 1-8.

[41] Ersoy A.R., (2016), “Endüstri 4.0 Dalgaları Ülkemiz Sahillerine Vurdu”, Digital Age - İş Dünyası, 06/09/2016.

[42] Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M.J., (2016), “Industry 4.0 and Manufacturing Ecosystems–Exploring the World of Connected Enterprises”, Deloitte University Press, 2016, 14-17.

[43] Işık F., Saka T., Ersoy A.R., Avşar Ç.T., Acar O., Halıcı H., Şişbot S., Bozkurt R., (2016), “Akıllı Fabrikalar Geliyor”, Ekonomik Forum 2016, 16.

[44] Kaplanoğlu E., (2016), “Endüstri 4.0 Eğitim Modeli”, Marmara Üniversitesi.

[45] Lorenz M., Rüßmann M., Strack R., Lueth K. L., Bolle M., (2015), “Man an Machine in Industry 4.0 – How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?”, The Boston Consulting Group Magazine, September 2015, 1-22.

[46] Geisel J., (2014), “The Fourth Revolution”, Hoerbiger Motion Magazine November 2014, 6-29.

[47] MacDougall W., (2014), “Industrie 4.0 – Smart Manufacturing for the Future”, GTAI Germany Trade & Invest, July – 2014, 20750, 1-40.

[48] Ersoy A.R., (2016), “On the Way to Industry 4.0: Digital Enterprise”, Siemens March 2016 v2.0., 1-48.

[49] Goericke D., (2016), “Industrie 4.0 in Practice – Solutions for Industrial Applications”, VDMA - Industrie 4.0 Forum, April 2016, 1-58.

[50] Kruppa M., (2016), “Overview on External Consulting Providers – Industrie 4.0 – Consulting”, VDMA Industrie 4.0 Forum Magazine, Edition 2016, 1-19.

[51] Gelssbauer R., Schrauf S., Koch V., Kuge S., (2014), “Industrie 4.0 – Opprtunities and Challanges of the Industrial Internet”, PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PWC) Magazine, December 2014, 1-52.

[52] Pentenrieder K., (2008), “Augmented Reality Based Factory Planing”, PhD Thesis, Institut für Informatik der Technischen Universitat München.

[53] Geissbauer R, Vedso J., Schrauf S., (2016), “Industry 4.0: Building the Digital Enterprise”, PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PWC) Magazine, Seprember 2015, 1-36.

[54] Web 3, (2018), www.pwc.com/industry40, (Erişim Tarihi: 05/07/2018).

[55] Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Carlberg M., (2016), “Industry 4.0 Industry,Research and Energy” European Parliament, Policy Department A: Economic And Scientific Policy, February 2016, IP/A/ITRE/2015-2, PE570.007, 1-94.

[56] Schlaepfer R.C., Koch M., Merkofer P., (2015), “Industry 4.0 – Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies”, Deloitte, 2015, 1-32.

[57] Schwab K., (2015), “The Global Competitiveness Report 2015-2016”, World Economic Forum Insight Report, ISBN 978-92-95044-99-9.

[58] Hermann M., Pentek T., Otto B., (2015), "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Revies", Working Paper No. 01/2015, Technische Universitat Dortmund.

[59] Ganßlen S., Losbichler H., Horvath P., Michel U., (2015), "Industrie 4.0 – Controlling in the Age of Intelligent Networks – Report", International Controller Association Dream Car of the Dream Factory of the ICV 2015, 1-56.

[60] Anderl R., Bauer K., Diegner B., Diemer J., Fay A., (2016), "Digitization of Industrie – Plattform Industrie 4.0 - Progress Report", Plattform Industrie 4.0 - Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, March 2016, 1-28.

[61] Anderl R., Bauer K., Diegner B., Diemer J., Fay A., (2016), "Aspects of the Research Roadmap in Application Scenarios - Working Paper", Plattform Industrie 4.0 - Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, March 2016, 1-40.

[62] Anderl R., Bauer K., Diegner B., Diemer J., Fay A., (2016), "Interaction Model for Industrie 4.0 Components - Discussion Paper", Plattform Industrie 4.0 - Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, March 2016, 1-12.

[63] Web 4, (2019), http://www.ozlukhaklari.com/endustri-4-0-ve-insan-kaynaklari-4-karanlik-fabrikalar-ve-ik-uzerindeki-etkileri/, (Erişim Tarihi: 05/04/2019).

ÖZGEÇMİŞ

Cihan Koçak, 1984 yılında Refahiye' de (Erzincan) doğdu. 2007 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü tamamlayarak, 2008 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılından bu yana bir Şişecam grup şirketi olan Anadolu Cam Sanayii A.Ş.' de çalışmaktadır. Bakım Onarım Mühendisliği, Proje Mühendisliği, Kalite ve Teknik Standartlar Uzmanlığı pozisyonlarında çalışmış olup şu anda Müşteri Teknik Hizmetleri Uzmanı olarak görev almaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.