



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜT SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ GIDA
GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat VATAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜT SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ GIDA
GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fuat VATAN
(19278347047)**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Adnan Fatih DAĞDELEN

OCAK 2023



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Fuat VATAN

İmzası:

X X X X X



Anneme, eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Süt Sektöründe Endüstri 4.0 Uygulamalarının Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri Üzerine Etkisi araştırılmıştır. Endüstrinin son evresi olan ve teknolojinin en üst düzeyde kullanıldığı Endüstri 4.0 uygulamaları incelenmiş, gıda güvenliği yönetim sistemleri üzerine etkisi ayrı ayrı araştırılmış ve süt sektöründeki Endüstri 4.0 uygulamalarının bahsedilen sistemler üzerindeki etkisine de değinilmiştir.

Değişen ve gelişen teknolojiyle birlikte yenilikleri takip etmek, ayak uydurmak, tüm gelişmelerden haberdar olmak artık tüm işletmeler için hayati bir önem taşımaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarının Gıda sektörünün birlikte ele alındığı çalışmalar ne kadar az olsa da bu çalışmayla birlikte güzel bir örnek oluşturulmuştur ve sonuç olarak tüm bu uygulamaların süt sektörü başta olmak üzere sanayide verimliliğin artmasıyla milli ekonominin canlandırılmasını ve sanayi gelişimini desteklemesini olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Adnan Fatih DAĞDELEN işyerimde projeyi uygulamaya koymamda desteğini esirgemeyen genel müdürüm sayın N. Ahmet EKER'e ve endüstri mühendisi Melek GEDİKOĞLU'na, otomasyon müdürü Yavuz Selim AYDIN'a her zaman desteğini hissettiğim değerli eşim Selma VATAN'a çok teşekkür eder, çalışmanın tüm ilgililere yararlı olmasını dilerim.

Ocak 2023

Fuat VATAN
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Hipotez	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Dört Büyük Sanayi Devrimi ve Tarihsel Süreci.....	5
2.1.1 Birinci sanayi devrimi	6
2.1.2 İkinci sanayi devrimi.....	7
2.1.3 Üçüncü sanayi devrimi.....	7
2.1.4 Dördüncü sanayi devrimi veya endüstri 4.0.....	8
2.2 Endüstri 4.0 Ve Teknolojik Gelişmeler.....	10
2.2.1 Nesnelerin interneti (internet of things-IoT)	11
2.2.2 Büyük veri ve analitik (big data and analytics).....	12
2.2.3 Eklemeli üretim (additive manufacturing)	14
2.2.4 Bulut (cloud)	15
2.2.5 Gelişmiş robotlar (advanced robots)	16
2.2.6 Simulasyon (simulation)	16
2.2.7 Artırılmış gerçeklik (augmented reality).....	17
2.2.8 Siber güvenlik	18
2.3 Dünya Ve Türkiye’de Endüstri 4.0 İlgi Düzeyi	19
2.4 Endüstri 4.0’ın Akademik Literatürdeki Yeri	20
2.5 Türkiye’de Dijital Dönüşüm (Endüstri 4.0) İncelemesi Ve Yapılan Çalışmalar	20
2.5.1 Tübitak yeni endüstri devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası	20
2.5.2 Sanayide dijital dönüşüm platformu	23
2.5.3 Endüstri 4.0 farkındalık çalışmalarına örnekler	24
2.5.4 Türkiye için endüstri 4.0 neden önemli?.....	25
2.6 Gıda Güvenliği	27
2.7 Endüstri 4.0 Teknolojisinin Gıda Sektöründe Uygulamaları	35
2.7.1 Gıda sanayinde endüstri 4.0 teknolojileri	38
2.8 Avantaj Ve Genel Zorluklar	55
3. YÖNTEM.....	58
3.1 Materyal	58

3.2 Materyal	59
3.2.1 Network altyapısının yenilenmesi.....	59
3.2.2 İzlenebilirlik sistemi altyapısı otomasyona entegrasyonu ve altyapı akışı.....	60
3.2.3 Üretim kontrol kriterleri.....	65
3.2.4 Veri toplama.....	67
4. BULGULAR.....	74
4.1 Genel Raporlamalar.....	74
4.2 Verimlilik ve Performans Takibi Analizleri.....	76
4.3 Personel Takip Sistemi Ve Raporlama.....	81
4.4 Müşteri Şikayetlerinin Yıllara Göre Dağılım Analizi	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ.....	103



KISALTMALAR

I4.0	: Industry 4.0 (Endüstri 4.0)
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
BCG	: The Boston Consulting Group
BT	: Bilgi Teknolojileri
BTYK	: Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
EFSA	: European Food Safety Association (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi)
ERP	: Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlama)
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
FDA	: United States Food and Drug Administration (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)
FSIS	: Food Safety and Inspection Service (Gıda Güvenliği ve Denetim Hizmeti)
FSMA	: FDA Food Safety Modernization Act (FDA Gıda Güvenliği Modernizasyon Kanunu)
FSSC	: Food Safety System Certification (Gıda Güvenliği Sistemi Sertifikasyonu)
GHP	: Good Hygiene Practices (İyi Hijyen Uygulamaları)
GMP	: Good Manufacturing Practices (İyi Üretim Uygulamaları)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
HACCP	: Hazard Analysis of Critical Control Points (Kritik Kontrol Noktalarında Tehlike Analizi)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
MES	: Manufacturing Execution System (Üretim Yürütme Sistemi)
ML	: Machine Learning (Makine Öğrenmesi)
MŞO	: Müşteri Şikayetleri Oranı
PPM	: Parts Per Million (Milyonda bir)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanıma)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜSİAD : Türk Sanayi ve İş adamları Derneği
WHO : World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YSA : Yapay Sinir Ağlar



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Endüstri devrimlerinin genel özellikleri.....	6
Çizelge 2.2 : Hastalıklar ve gıda kaynaklı nedenleri.....	28
Çizelge 2.3 : İnek sütü üretiminde lider ülkeler.....	34
Çizelge 2.4 : Gıda işletmelerinde Endüstri 4.0 sürdürülebilirliği için SWOT analizi.....	35
Çizelge 3.1 : Endüstri 4.0 çalışmaları öncesi ve sonrası karşılaştırma.....	58
Çizelge 3.2 : Yıllar itibari ile uygulamaya konulan teknolojik değişimler.....	59
Çizelge 4.1 : Üretim adetlerine göre müşteri şikayet oranı (ppm).....	94
Çizelge 4.2 : Yıllara göre ayran gıda güvenliği müşteri şikayetlerinin sayısı-oranı (ppm)..	95
Çizelge 4.3 : Yıllara göre iade oranı ve satışa sunulmayan ürün oranı.....	95
Çizelge 4.4 : Yıllara göre KKN sayısı analizi.....	96
Çizelge 4.5 : Ürün raf ömrü analizi.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sanayi devreminin gelişimi	5
Şekil 2.2 : Dört ana akım	8
Şekil 2.3 : Endüstri 4.0 ile geleneksel üretim modellerinin değişimi	9
Şekil 2.4 : Endüstri 4.0 devriminin dört seviyesi	10
Şekil 2.5 : Endüstri 4.0 bileşenleri	11
Şekil 2.6 : Nesnelerin interneti ürünlerinin örnekleri.	12
Şekil 2.7 : Büyük veri bileşenleri	13
Şekil 2.8 : Büyük veri yaşam döngüsü.	14
Şekil 2.9 : Bulut hizmeti veren bazı platformlar.....	15
Şekil 2.10 : Gelişmiş robot teknolojisi uygulama örnekleri	16
Şekil 2.11 : Artırılmış gerçeklik uygulamalarına örnekler	17
Şekil 2.12 : Google trends üzerinde 2015-2022 yılları arasında dünyada “industry 4.0” arama oranları ve en çok arama yapılan ilk beş ülke.....	19
Şekil 2.13 : Google trends üzerinde 2015-2022 yılları arasında Türkiye’de “endüstri 4.0” arama oranları ve en çok arama yapılan ilk beş şehir.....	19
Şekil 2.14 : 2015-2022 yılları arasında “industry 4.0” ve “industry 4.0 + food” anahtar kelimeleri ile ilişkili makale sayıları.	20
Şekil 2.15 : BTYK’nın 2016/101 no. lu akıllı üretim sistemlerine yönelik çalışmaların yapılması kararı.	21
Şekil 2.16 : TÜBİTAK mevcut durum anket ve analiz çalışması.	22
Şekil 2.17 : Akıllı üretim sistemleri kritik ve öncü teknolojileri.	23
Şekil 2.18 : Türkiye’nin dünyadaki seviyeyi yakalaması/üzerine geçmesi için belirlenen 10 teknolojik hedef.	24
Şekil 2.19 : Türkiye’nin küresel değer zincirindeki konumu.	26
Şekil 2.20 : Türkiye imalat sanayisinin küresel değer zincirindeki konumu	27
Şekil 2.21 : Gıda değer zincirinde veri kaynağı ve bilgi akışı.....	41
Şekil 2.22 : Veri analizi yöntemi ile gıda güvenliğinde büyük veri bibliyometrik ağı	43
Şekil 2.23 : Tedarik zincirinin yürütülmesini sağlayan faktörler.	44
Şekil 2.24 : Akıllı spektroskopik geliştirilmesi ve uygulama alanları.	46
Şekil 2.25 : Enzimatik protein hidrolizinin ana adımlarını izlemek için spektroskopik tekniklerin uygulanması.	47
Şekil 3.1 : Tesiste I4.0 uygulamalarının yapılabilmesine yönelik olarak network altyapı tasarımı.	59
Şekil 3.2 : Eski (a) ve yeni (b) server client yapısı.	60
Şekil 3.3 : Firma son ürün izlenebilirlik kodlama sistemi.	61
Şekil 3.4 : Süt tankeri izlenebilirliği.	62
Şekil 3.5 : Ekipman ürün akışı.....	63
Şekil 3.6 : Ürün izlenebilirlik veri akışı.....	64
Şekil 3.7 : Üretimde ortak kontrol kriterleri veri yapı şeması.	65
Şekil 3.8 : Süt alım akışı.	68
Şekil 3.9 : Süt alım akışı.	69

Şekil 3.10 : Filtrasyon sistemi.	69
Şekil 3.11 : Pastörizasyon sistemi.	70
Şekil 3.12 : Miks hazırlama işlemi.	70
Şekil 3.13 : Pastörizasyon sistemi.	71
Şekil 3.14 : Maturasyon tankları.....	71
Şekil 3.15 : Ayran Tankları.	72
Şekil 3.16 : Dolum sistemi.	72
Şekil 3.17 : Tank pozisyonları.....	73
Şekil 3.18 : Scada otomasyon genel görünüm.....	73
Şekil 4.1 : Genel raporlama.	74
Şekil 4.2 : Alarm raporu.	75
Şekil 4.3 : Trend analizi.....	75
Şekil 4.4 : Buhar kazanı verimlilik takibi.....	76
Şekil 4.5 : Hava kompresörü verimlilik takibi.....	76
Şekil 4.6 : Chiller soğutma prosesi verimlilik takibi.	77
Şekil 4.7 : Arıtma sistemi izleme ve verimlilik takibi.	77
Şekil 4.8 : Proses alanı genel görünüm.....	78
Şekil 4.9 : Dolum makineleri verimlilik takibi.....	79
Şekil 4.10 : Soğuk depolar sıcaklık ve performans takibi.	79
Şekil 4.11 : Su performans ve kullanım takibi.	80
Şekil 4.12 : Elektrik kullanımı performans izleme.....	81
Şekil 4.13 : Firma wipilot personel takip sistemi sinyalizasyon kart okutma sistemi, sinyal dağıtıcı ve koordinatör sistemi.....	82
Şekil 4.14 : Wipilot personel takip sistemi raporlaması.	82
Şekil 4.15 : Fabrika wipilot personel takip sistemi sinyalizasyon ve network ağı (okuyucu, kordinatör ve personel kart).	83
Şekil 4.16 : Firma ulusal wipilot personel sinyalizasyon sistemi.	83
Şekil 4.17 : Elektrik kullanımı saatlik intranet raporlama.	84
Şekil 4.18 : Yıllara göre MŞO-Gıda Güvenliği MŞO	94

SÜT SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ GIDA GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Geçmişe bakıldığında 1750’li senelerden günümüze kadar endüstri devrimi, bilgi teknolojileri ve mekanizasyon anlamında değişim ve gelişim göstermiştir. 2011 senesinden itibaren ise Endüstri 4.0 adı ile dördüncü kez değişime uğramış ve gıda sektörünün de bu değişime ayak uydurması kaçınılmaz bir durum olmuştur. Değişim ve gelişimin çok hızlı yaşandığı günümüzde ise teknolojik yenilikleri takip ederek ayak uydurmak, tüm gelişmelerden haberdar olmak küçük büyük tüm işletmeler için hayati bir önem taşımaktadır. Sanayide gerçekleşen tüm ar-ge ve inovasyon faaliyetlerinin temel hedefi üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasıdır. Oysaki Endüstri 4.0 devriminin asıl hedefi verimlilik değil akıllı ürün ve akıllı makineler ile hammaddeden son ürüne kadar üretim süreçlerinin kontrol altına alınmasıdır. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak verimliliğin artması da beklenmektedir. Endüstri 4.0 ile başlayan gelişmeler üretim bölümü başta olmak üzere, Endüstri 4.0’ın sağladığı insan kaynaklı hataların azalması, ürün stardizasyonu, kaynakların verimli kullanımı ile maliyetlerin azaltılması, hızlı ve pratik bir üretimin yanı sıra anlık takip ihtiyacını karşılaması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması gibi kusursuz hizmet hedefleri diğer departmanlar da önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların yanı sıra Endüstri 4.0 dönüşümüyle dört önemli kategori olan verimlilik, büyüme, yatırım, istihdam alanlarında da gelişme kaydedilmesi beklenmektedir. Literatüre bakıldığında ise Endüstri 4.0 ve gıda sektörünün bir arada ele alındığı kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada endüstrinin son evresi olan ve teknolojinin en üst düzeyde kullanıldığı Endüstri 4.0 uygulamaları incelenmiş, gıda güvenliği yönetim sistemleri üzerine etkisi ayrı ayrı araştırılmış ve süt sektöründeki Endüstri 4.0 uygulamalarının bahsedilen sistemler üzerindeki etkisine de değinilmiştir. Yerel ve büyük ölçekli bir süt işletmesinde 5 yıl önce başlatılan ve halen devam eden Endüstri 4.0 teknolojilerinin Gıda güvenliği yönetimi üzerindeki performans gelişimine olan etkilerinin, çeşitli sensörler tarafından toplanan veriler vasıtasıyla değerlendirilmesi ise bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Materyal olarak Bursa bölgesinde yerleşik büyük ölçekli bir süt işletmesinde tüm üretim sürecindeki cihazların birbiriyle bilgi ve veri alışverişi için kullanıldığı, her türlü araç gerece entegre edilmiş, sensör ve işleticilerle donatılmış, internet bağlantılı akıllı elektronik siber-fiziksel sistemlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda personel takipleri, hassas analitik ölçüm cihazları, haberleşme altyapısı, ölçüm ve sinyal işlemeye yönelik ekipmanlar ve yazılımlar ile fabrikadaki hammadde kabulünden başlamak üzere tüketiciye ulaşınca kadarki tüm aşamalardan toplanan günlük ve saatlik bilanço takip verileri kullanılarak gıda güvenliğine etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca tüm tüketimler (hammadde ve yardımcı malzemeler, kimyasal, elektrik, su, doğalgaz), personeller, kayıplar (hammadde ve yardımcı malzemeler), verimlilik, maliyet azaltıcı aksiyonlar belirlenip takip edilerek üretim planlamalarının

optimize edilmesine yönelik makine öğrenmesi ve yapay zekâ yaklaşımlarını içeren veri bankası da kullanılmıştır. Sonuç olarak; 2015 yılında başlayan 2017 yılından itibaren Endüstri 4.0 uygulamasına geçilmesine takiben 2022 yılına kadar yapılan analizler sonucunda toplam müşteri şikayetleri oranı 5,77 ppm den 1,17 ppm'e gerilemiştir. Toplam gıda güvenliği müşteri şikayetleri oranı 3.79 ppm'den 0.64 ppm'e gerilemiştir. İade ürün tonajı oranı 2015 yılında %1,56 iken 2022 yılında bu oran %0,99'a gerilemiştir. Uygun olmayan ürün oranı 2015 yılında %0,25 iken 2022 yılında %0,145'e gerilemiştir. Gıda güvenliği ile ilgili olarak 2015'de üretim prosesinde 21 olan gıda güvenliği KKN sayısı 2022 yılında 17'ye düşürülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sanayi devrimi, Endüstri 4.0, Gıda güvenliği, Süt işletmesi, Küresel rekabet, Dijitalleşme.



THE EFFECT OF INDUSTRY 4.0 APPLICATIONS ON FOOD SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS IN THE DAIRY SECTOR

SUMMARY

In retrospect, the industrial revolution has changed and developed in terms of information technologies and mechanization from the 1750s to the present. Since 2011, it has changed for the fourth time under the name Industry 4.0, and it has become inevitable for the food industry to keep up with this change. In today's world where change and development are experienced very rapidly, keeping up with technological innovations and being aware of all developments is of vital importance for all small and large businesses. The main goal of all R&D and innovation activities in the industry is to increase efficiency in production processes. However, the main goal of the 4th Industrial Revolution is not efficiency, but control of production processes from raw materials to end products with smart products and smart machines. As a result of these developments, it is expected that productivity will increase. The developments that started with Industry 4.0, especially in the production department, have perfect service targets such as the reduction of human-induced errors, product standardization, efficient use of resources and cost reduction, meeting the need for instant follow-up as well as instant follow-up and customer satisfaction, especially in the production department. Other departments also provide significant advantages. In addition to these advantages, it is expected that progress will be made in the fields of productivity, growth, investment and employment, which are four important categories, with the Industry 4.0 transformation. When we look at the literature, there are a limited number of studies in which Industry 4.0 and the food sector are discussed together. In this study, Industry 4.0 applications, which is the last stage of the industry and where technology is used at the highest level, were examined, the effect on food safety management systems was investigated separately, and the effect of Industry 4.0 applications in the dairy sector on the mentioned systems was also mentioned. The purpose of this study is to evaluate the effects of Industry 4.0 technologies, which were started 5 years ago and still continue in a local and large-scale dairy enterprise, on the performance improvement on food safety management, through the data collected by various sensors.

As material, data obtained from smart electronic cyber-physical systems with internet connection, integrated with all kinds of equipment, equipped with sensors and operators, where devices in the entire production process are used to exchange information and data with each other in a large-scale dairy farm located in the Bursa region will be used as material. In this context, the effects on food safety will be analyzed by using electricity, gas, water and steam consumption measurements, personnel tracking, sensitive analytical measurement devices, communication infrastructure, equipment and software for measurement and signal processing, and information collected. In the study, daily and hourly balance sheet tracking data collected from all stages from raw material acceptance in the factory until reaching the

consumer will be used. In this context; A data bank collected using machine learning and artificial intelligence approaches to optimize production planning by determining and tracking all consumptions (raw materials and auxiliary materials, chemicals, electricity, water, natural gas), personnel, losses (raw materials and auxiliary materials), efficiency, cost-reducing actions will be used. As a result, it is expected that all these applications will positively affect the revitalization of the national economy and the support of industrial development, with the increase in productivity in the industry, especially in the dairy sector.

As material, data obtained from smart electronic cyber-physical systems with internet connection, integrated with all kinds of tools, equipped with sensors and operators, in a large-scale dairy farm located in Bursa region, where the devices in the entire production process are used for information and data exchange with each other. In this context, the effects on food safety were analyzed by using daily and hourly balance sheet tracking data collected from all stages, starting from the acceptance of raw materials in the factory and reaching the consumer, with personnel tracking, sensitive analytical measuring devices, communication infrastructure, equipment and software for measurement and signal processing. In addition, a database containing machine learning and artificial intelligence approaches for optimizing production planning by determining and tracking all consumptions (raw materials and auxiliary materials, chemicals, electricity, water, natural gas), personnel, losses (raw materials and auxiliary materials), efficiency, cost-reducing actions has also been used. In conclusion; Following the introduction of Industry 4.0 application in 2017, which started in 2015, the rate of total customer complaints decreased from 5.77 ppm to 1.17 ppm as a result of the analyzes carried out until 2022. The overall food safety customer complaints rate decreased from 3.79 ppm to 0.64 ppm. While the rate of returned product tonnage was 1.56% in 2015, this rate decreased to 0.99% in 2022. While the rate of non-conforming products was 0.25% in 2015, it decreased to 0.145% in 2022. Regarding food safety, the number of food safety CCP in the production process, which was 21 in 2015, was reduced to 17 in 2022.

Keywords: Industrial revolution, Industry 4.0, Food safety, Dairy company, Global competition, Digitalization.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfusla birlikte piyasa talebi de artmış ve son yüzyıl içinde gıda sektörü köklü değişimlere uğramıştır. Eski tip gıda işleme tekniklerine bakıldığında daha yaygın olarak kurutma, asitleme, tuzlama vb. yöntemler kullanılmaktaydı. 19. Yüzyılda sanayileşme dönemine girildiğinde ise gıda üretiminde hızlı bir yükseliş meydana gelmiş ve bu yükselmeye yeni pazarlar ile geliştirilen yeni teknolojilerin çok büyük oranda bir etkisi olmuştur.

Üretimde dijitalleşmenin meydana gelmesiyle gıda sektöründeki üretim Endüstri 4.0 olarak bilinen bir değişime uğramıştır. Endüstri 4.0, malzeme, süreç, işletme ve sürekli gelişmekte olan teknolojilerin kullanımı ile müşterilerin artan dijital bağlantılarını tanımlamak için ifade edilen bir terimdir. Endüstri 4.0'ın felsefe olarak tarihte batının ilk kez doğunun gerisinde kalma tehdidi ile savaşması için ortaya çıkmış bir plan olarak meydana geldiği söylenmektedir.

Toplumların Endüstri 4.0'a geçişinin hızlı olması; hız faktörü, verimlilik ve esneklik ile birlikte proses maliyetlerinde büyük bir avantaj sağlayacaktır. Endüstri 4.0 kavramı yeni trend konular arasına girmiş ve yaklaşık son 4-5 yıldır gündem konusu olup üzerinde tartışılmıştır. Tarihçeye bakıldığında ise 1., 2. ve 3. Endüstri devrimi gelişmeleri ne kadar geç yakalanmış olsa da ülkemizin henüz yeni şekillenme sürecinde olan dijital dönüşüm devrimini kaçırmayacağı düşünülmektedir.

4. Endüstri devriminin gıda sektörü ile entegrasyonu incelendiğinde özellikle gıdaların raf ömrü konusunda önemli katkılar sağlayacağı düşünülen uygulamaları içerdiği görülmektedir. Diğer bir katkısı ise tedarik zincirinin entegrasyonudur. Gıda sektöründe Endüstri 4.0 uygulanmasıyla, işletmelerin koordinasyon içinde çalışması sonucunda, üretim tesisi ile tedarik zincirini bağlayarak pazara daha hızlı ürün sunulması sağlanabilmektedir.

Bu noktada tam otomatik fabrikalar henüz faaliyete geçmemiş olsa da gelecekte, üretim süreçlerinde kullanılacak olan birçok unsur şu an gıda sektöründe kullanılmakta ve bazı ülkeler bu sektörde öncü bir atılım gerçekleştirmek için dördüncü endüstri devrimine büyük yatırımlar yapmaktadırlar.

Bu kapsamda, bu çalışmada 4. Endüstri devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0 ele alınmış ve gıda güvenliği yönetim sistemleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Tarih boyunca tüm dünyada üretim süreçlerini etkileyen endüstri devrimi dönüşümleri gerçekleşmiştir. Endüstri 4.0 kavramı; içerisinde ağ bağlantısı bulunan birbiriyle entegre tam otomatik sistemlerin siber fiziksel sistemlerle kontrol edilerek eş zamanlı veri aktarımının ve optimizasyonun sağlandığı üretim süreçlerini içeren endüstri dönüşümünü ifade etmektedir. Endüstri 4.0 ile akıllı makinalar ve iyi üretim uygulamaları ile hammadde son ürüne kadar üretim süreçlerin verimli ve güvenli bir şekilde kontrol altına alınmasıdır. Endüstri 4.0 ile başlayan gelişmeler üretim bölümü başta olmak üzere, insan kaynaklı hataların azalması, ürün stardizasyonu, kaynakların verimli kullanımı ile maliyetlerin azaltılması, hızlı ve pratik bir üretimin yanı sıra anlık takip ihtiyacının karşılanması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması gibi kusursuz hizmet hedefleri gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların yanı sıra Endüstri 4.0 dönüşümüyle dört önemli kategori olan verimlilik, büyüme, yatırım ve istihdam alanlarında da gelişme kaydedilmesi beklenmektedir. Genel anlamda endüstri 4.0 ile pazarda yüksek katma değerli ürünlerin artması, iş gücü profilinin gelişmesi ile küresel rekabet gücünün artması hedeflenmektedir.

Gıda güvenliği, gıda kaynaklı hastalıkları engelleyerek, gıdaların işlenmesi ve depolanmasını ele alan bilimsel bir disiplindir. Bu potansiyel olarak ciddi sağlık tehlikelerini önlemek için takip edilmesi gereken bir dizi rutinleri içermektedir. Gıda işletmelerinde, sağlıklı gıda üretimi için gerekli olan hijyen şartlarının (personel hijyeni, ekipman hijyeni, hammadde hijyeni, ortam hijyeni, vb.) belirlenerek bu şartların sağlanması, üretim ve servis aşamasında tüketici açısından sağlık riski oluşturabilecek nedenlerin belirlenmesi ve bu nedenlerin ortadan kaldırılması temeline dayanan bir yaklaşımdır. Gıda Güvenliği Yönetim sistemleri ise ürün güvenliğini etkileyen tehlikelerin önceden belirlenmesi ve kontrol altına alınmasını sağlayan sistematik bir yaklaşımlardır.

Endüstri 4.0 gibi teknolojik yaklaşımlar sayesinde gıda değer zincirine inovasyon fırsatları ve çözüm yolları sunulmaktadır. Gıda üreticilerinin bu teknolojik değişime ayak uydurması, üretim süreçlerini otomatikleştirmek için robotları, makine bakımları için sanal gerçekliği, daha iyi izlenebilirlik ve daha hızlı müdahale için izleme

teknolojilerini kullanılması ile gerçekleşmektedir. Dijitale geçiş, gıda güvenliğini dönüştürmenin, gıdayı güvenli ve kullanılabilir hale getirmenin olumlu bir yolu olarak görülmektedir. Akıllı üretim teknolojileri potansiyel gıda güvenliği sorunlarının üstesinden gelmek için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Çünkü tam entegre işbirlikçi sistemler sayesinde değişen talepleri ve koşulları karşılamak için fabrikalara gerçek zamanlı olarak yanıt verilebilmektedir. Akıllı üretim teknolojilerinin büyük etkiye sahip olduğu bir alan, blok zincir teknolojisinin (işlem, veri dağıtımı, paylaşma ve doğrulama kaydı) kullanılmasıdır. Bununla birlikte tedarik zinciri boyunca gıda güvenliği ve şeffaflığa olan güven, izlenebilirliği hem tüketiciler hem de üreticiler için çok daha kullanışlı hale getirmektedir.

Daha sağlıklı ve kaliteli bir yaşam sürdürebilmek için yeterli, dengeli ve güvenilir gıda ile beslenme önemli rol oynamaktadır. Türkiye süt üretiminde dünyada lider ülkeler arasında yer almaktadır. Son yıllarda süt sektöründe yatırımlar hızla artmış ve küçük ölçekli şirketlerin oluşturduğu üretim modeli zamanla evrilerek dönüşüme ayak uydurmuş ve entegre tesislere dönüşmüşlerdir. Böyle bir değişim üreticileri, inovasyona, ürünlerindeki kalite artışı ve memnuniyete, aynı zamanda da maliyette iyileşmeye ve talep doğrultusunda ürün çeşitliliği konusunda çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçların anlamlı ve tatmin edici seviyede olması, Endüstri 4.0 faaliyetlerinin başta gıda sektörü olmak üzere endüstriyel boyutta üretim yapan ve her daim gelişen teknolojiye uyum sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlamayı hedefleyen tüm firmalara uygulanabilirliğinin bir göstergesidir.

Diğer sektörlerle nazaran gıda sektörü üretim zinciri boyunca izlenebilirliğin ve standardizasyonun sağlanması, kişiye özel üretimin gerçekleştirilebilmesi, enerji ve hammadde kullanımından kaynaklanan maliyetin azalması ile fiyatların düşmesi ve üretimde sürekliliğin sağlanması gibi etkilerinden dolayı Endüstri 4.0'dan daha fazla yararlanma imkanına sahiptir. Endüstri 4.0'ın gıda sanayinde entegrasyonu ile gıda güvenliği açısından birçok kolaylığı sağladığı da göz ardı edilemez. Bu anlamda teknolojiyi yakından takip eden firmamız gerçekleştirdiği uygulamalarla diğer firmalara örnek teşkil etmektedir.

Bu tez çalışması, yerel ve büyük ölçekli bir süt işletmesinde 2017 yılından itibaren başlatılan ve halen devam eden Endüstri 4.0 teknolojilerinin gıda güvenliği yönetimi

zerindeki performans gelişimine olan etkilerini, çeşitli sensörler tarafından toplanan veriler vasıtasıyla değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Süt işletmesinin daha önceki yıllardaki teknolojik alt yapısını Endüstri 4.0 teknolojisine uyarlamak için sistemsel revizyonlara gidilmiştir. Tüm prodesteki makinalardaki verileri toplayabilmek için gerekli algılayıcılar yani sensörler ile donatılmıştır. Sensörlerden alınan veriler depolanarak veri tabanında işlemeye ve raporlamaya hazır hale getirilmiştir. Yapay zeka ve yazılan yazılımlarla alınan veriler bilgiye, raporlamaya dönüştürülmektedir. Verilmiş kararları ise makinalardaki o nitelikli içi yaptırmaya çalışılmaktadır ve sistem sürekli izlenebilirliğe müsait hale getirilmiştir.

Tezin giriş kısmında Endüstri 4.0 ve gıda güvenliği ile ilgili kısa açıklamalara yer verilmiş olup literatür araştırması kısmında ise detaylı bir şekilde Endüstri 4.0 ve gıda güvenliği konuları ele alınmıştır. Yöntem kısmında Endüstri 4.0 ile süt işletmesinin alt yapısında yapılan değişiklikler ele alınmıştır. Bulgular kısmında ise yapılan uygulamalardan bahsedilmiş olup bunun gıda güvenliği, verimlilik ve performans açısından verilerin toplanması, raporlanması ve bilgiye dönüştürülmesi kısmı ele alınmış olup sistem üzerinden alınan resimler ile desteklenmiştir. Son olarak sonuçlar bölümünde elde edilen bulguların yorumlanması ve hedeflerden bahsedilmiştir.

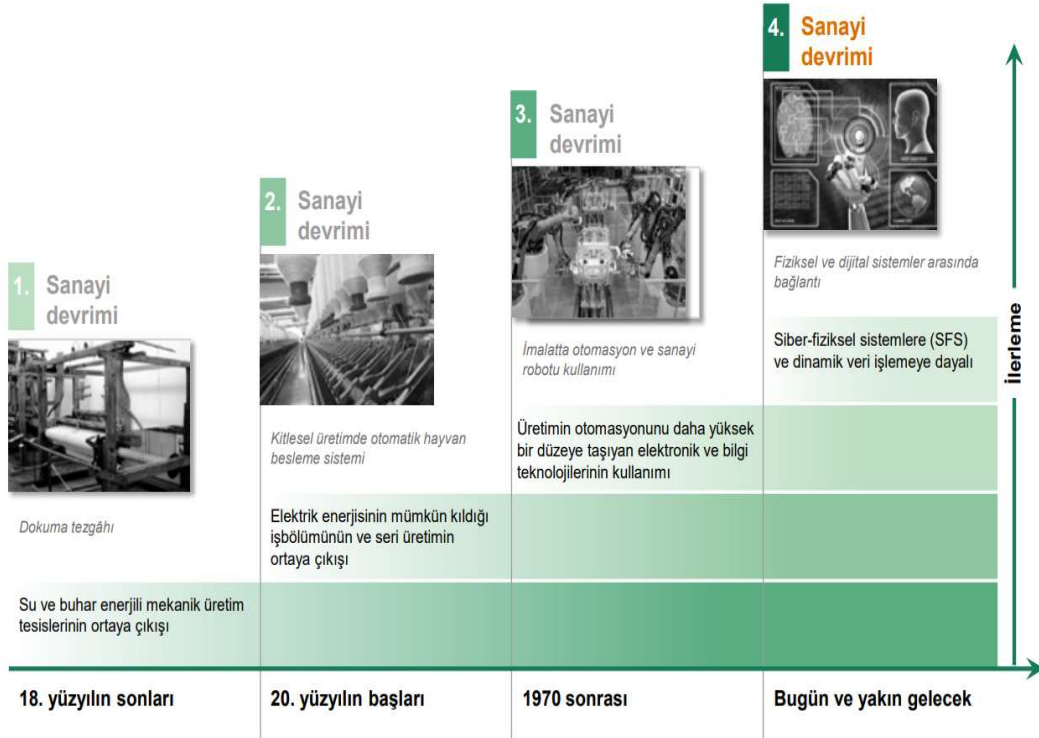
1.2 Hipotez

Endüstri 4.0 uygulamaları ile elde edilen sonuçların daha önceki yıllara göre izlenebilirlik, verimlilik, performans ve güvenli gıda üretimini üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığının araştırılmasıdır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Dört Büyük Sanayi Devrimi ve Tarihsel Süreci

Teknolojik gelişmeler ve dijitalleşme sayesinde, 18. Yüzyılın sonlarından bugüne kadar, üç ana aşamanın değişimi meydana gelmiş ve bu değişimler endüstriyel verimlilik olarak nitelendirilen verimlilikte büyük bir artışın oluşmasını sağlamıştır. Bu süreçte 1. Sanayi devriminin sonunda tesislerde; buhar gücüyle çalışan makinelerin kullanımı başlamış, 2. Sanayi devrimi sonunda elektrik enerjisi kullanılarak seri üretim yapılmış, 3. Sanayi devrimi sonunda ise işletmelerde bilgi teknolojileri sayesinde otomasyon yaygın hale gelmeye başlamıştır. Bugüne bakıldığında ise artık siber güvenlik ve sistemleri, dinamik veri işleme gibi bilgi teknolojileri alt yapılarının olduğu 4. Sanayi devrimi süreci gelişmektedir (TÜSİAD ve BCG, 2016). Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1’de sanayi devrimleri hakkında özet görsel ve bilgiler yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Sanayi devriminin gelişimi (TÜSİAD ve BCG, 2016).

Çizelge 2.1 : Endüstri devrimlerinin genel özellikleri (Cerit, 2022).

DEVİRİM	ÜLKE	YIL	TEKNOLOJİ	ÜRETİM TİPİ
Birinci Endüstri Devrim	İngiltere Avrupa	1760/1765- 1830/1840	-Su gücü -Buhar makinesi -İplik eğirme makinesi -Demir	-Fabrika tipi üretim -Seri üretim
İkinci Endüstri Devrim	ABD İngiltere Almanya	1840/1870 1914/1950	-Çelik -Elektrik -Demir, deniz ve kara yolu -Elektrifikasyon	-Seri üretim bant sistemi ile kitlesel üretim
Üçüncü Endüstri Devrimi	ABD Çin Japonya Güney Kore Almanya İngiltere	1960/1970- 2010	-Mikroçip -İnternet -Bilgisayar -Mikro işlemci -Fiber-optik -Robot teknoloji başlangıcı	-Yalın üretim -Esnek uzmanlaşma
Dördüncü Endüstri Devrimi	Almanya ABD Çin Güney Kore İngiltere Japonya Rusya	2011- Günümüz	-Bulut bilişim -Eklemeli üretim -Büyük veri -Siber-fiziksel sistem -Akıllı fabrikalar -Nesnelerin interneti -Simülasyon -Zenginleştirilmiş gerçeklik -Endüstriyel robotlar	-Esnek üretim -Akıllı üretim

2.1.1 Birinci sanayi devrimi

Makinalaşma çağı denilen süreç aslında birinci sanayi devriminden başlayıp 19. yüzyılın ilk çeyreğini kapsayan, kömür ve demirin asıl hammadde ve enerji kaynağını oluşturduğu endüstrileşme sürecidir. Özellikle 19. ve 20. yüzyıldaki endüstri devrimi, ilk kez İngiltere de kullanılan dokuma tezgahlarının mekanik hale getirilmesiyle etkisini göstermeye başlamıştır. Böylece odun ve kömürün yerine artık buharın kullanılması, hareket gücünü artmış ve makinalarında yaygınlaşmasının yanı sıra üretimin fabrikalara taşınmasında önemli bir rol oynamıştır. Enerji kaynağı olarak buhar ve kömürü kullanılması ve demir hammaddesiyle birlikte demir yollarının gelişiminde büyük bir hızlanma sağlamıştır. Bu gelişmeler Endüstri Devrimi'nin Avrupa'da hızla yayılmasını sağlamış ve ürünlerin pazarlanmasından, yeni hammadde kaynaklarının elde edilmesine kadar, uluslararası ilişkiler Orta, Yakın ve Uzak Doğu

topraklarına yönelim ile etkilenmiştir. Sonuç olarak, Birinci Endüstri Devrimi ile otomasyon sağlanmış ve sosyoekonomik yapı ile proses şekline etki etmiştir. Buhar gücü teknolojisi ile de kültürel etkileşimdeki gelişmeler meydana gelmiştir (Lee ve diğ, 2013).

2.1.2 İkinci sanayi devrimi

Temel hammadde ve enerji kaynaklarında meydana gelen değişimle endüstrileşmenin ikinci aşaması olan ikinci sanayi devrimi ortaya çıkmıştır. Birinci sanayi devriminde bahsedilen gelişmelerle birlikte çelik, elektrik, petrol ve kimyasal ürünler de üretim sürecine dahil edilmiş ve 20. yüzyılın başlarına kadar petrol tabanlı içten yanmalı motorların kullanımı İkinci sanayi devrimi'nin gerçekleşmesini tetiklemiştir. Tüm bu gelişmelerle birlikte seri üretim kavramı ortaya çıkmış ve seri üretim olarak nitelendirilen bu üretim çeşidinin en ilgi çekici örneklerinden birisi de Henry Ford'un, Ford Motor Şirketi olmuştur. Ford Motor Şirketinde otomotivde seri üretim bandı sistemi ve fabrikaların elektrikle çalışması endüstriyel alandaki yenilikleri arttırmıştır. 18. yüzyılın sonunda etkin olan demirin kullanımının yerine çelik üretimine geçilmesi, demir yolu taşımacılığını ve ticari ilişkileri hızlandırmış bununla birlikte; radyo, daktilo ve telefon gibi yeni gelişmeler de iletişim ve haberleşme alanındaki yenilikleri şekillendirmiştir. Kentler hızla büyüme göstermiş ve gelişmiş ülkelerdeki yaşam standartları farklılaşmaya başlamıştır. ABD, Almanya, İngiltere ve Japonya ikinci sanayi devriminin başta gelen öncüleri olurken güçlü merkezi devletler de kurulmuştur (Alçın, 2016).

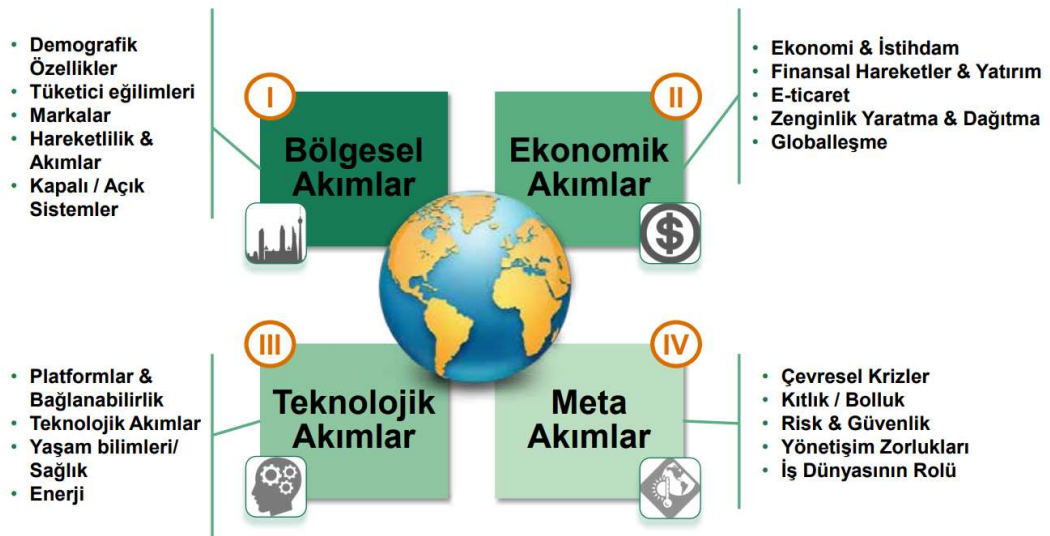
2.1.3 Üçüncü sanayi devrimi

İkinci Dünya Savaşından sonra; haberleşme ve bilgi teknolojilerinde meydana gelen değişimle birlikte üretimin otomasyonu da sağlanmıştır ve mantıksal denetleyiciler kullanılarak otomasyon daha ileri aşamalara taşınmıştır. Bu dönemde; elektronik gelişmeler ile, telekomünikasyon, nükleer, biyo-tarım ve biyo-genetik gibi bilimlerde gelişime, üretimde meydana gelecek yönelme ve biçimi etkilemiştir. Enerji kaynaklarındaki değişim ise; 18. yüzyılın sonlarında kömür, su ve buhar gücü iken 1970 sonlarında yenilenebilir enerji kaynakları ve akabinde yenilenemeyen enerji kaynaklarındaki problemler önem arz etmeye başlamıştır (Alçın, 2016).

2.1.4 Dördüncü sanayi devrimi veya endüstri 4.0

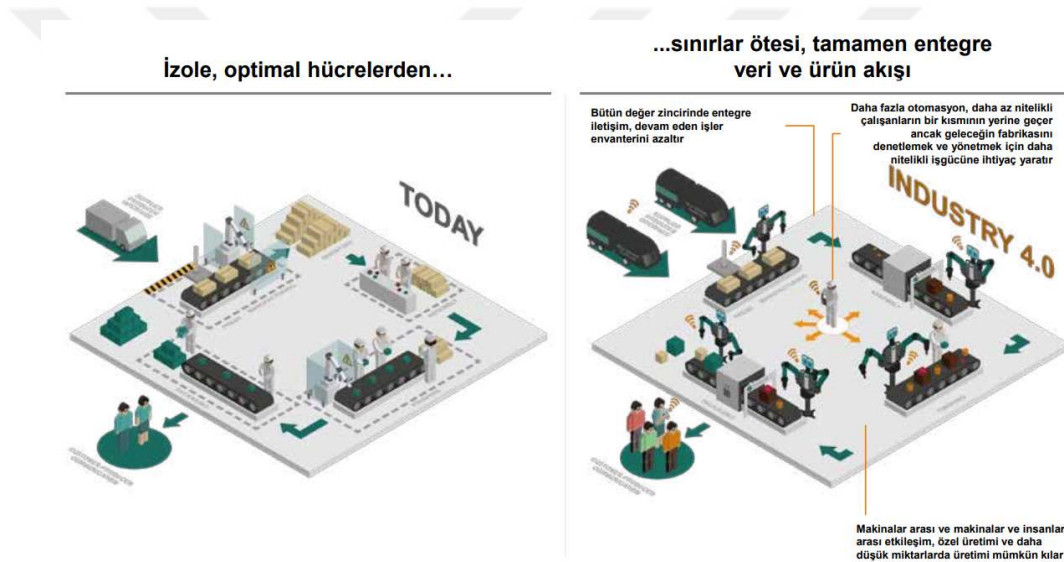
Günümüzde ise Endüstri 4.0 olarak adlandırılan ve pek çok sektörde büyük değişimler yaratması beklenen dördüncü sanayi devriminden bahsedilmektedir. İlk olarak 2011 yılında Almanya hükümeti tarafından ortaya atılan Endüstri 4.0, sanayide gelişme ve ilerleme sağlamak için uygulanan, internet ile birbirine bağlı cihazların iletişim halinde olduğu ve tam otomatik sistemlerle insansız üretim süreçlerinin gerçekleştiği bir dönemdir (Pamuk ve diğ, 2018). Endüstri 4.0 içerisinde ağ bağlantısı bulunan birbiriyle entegre tam otomatik sistemlerin siber fiziksel sistemlerle kontrol edilerek eş zamanlı veri aktarımının ve optimizasyonun sağlandığı üretim süreçlerini içeren sanayi dönüşümünü ifade etmektedir. (Fırat ve diğ, 2017). Temel olarak bilişim teknolojileri ile endüstriyel süreçlerin entegrasyonunu öngören Endüstri 4.0 teknolojisi büyük veri, otonom robotlar, simülasyon, dikey ve yatay organizasyonu, nesnelerin interneti, siber güvenlik, bulut, eklemeli üretim gibi ileri teknoloji uygulamaları ile bütünlük çözümler içermektedir. Sanayide gerçekleşen tüm ar-ge ve inovasyon faaliyetlerinin temel hedefi üretim süreçlerinde verimliliğin artırılmasıdır. Oysaki 4. Sanayi devriminin asıl hedefi verimlilik değil akıllı ürün ve akıllı makineler ile hammaddeden son ürüne kadar üretim süreçlerinin kontrol altına alınmasıdır. Bu denetimin bir sonucu olarak verimliliğin artması da beklenmektedir.

Bahsedilen dört sanayi devrimi ile ve bu akımlarla birlikte meydana gelen değişimler, çoğu şirkette ve iş dünyasında köklü değişikliklere neden olarak rekabeti de körüklemiştir. Bahsi geçen dört akım Şekil 2.2’de verilmektedir.



Şekil 2.2 : Dört ana akım (TÜSİAD ve BCG, 2016).

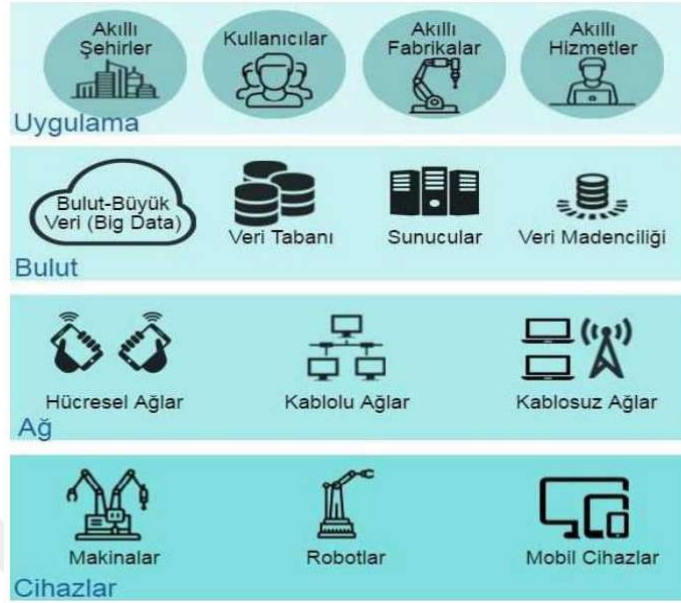
Bahsedilen akımlar, teknolojik alt yapıları oluşturarak endüstrileşme ötesinde değer zincirlerini meydana getirmiştir. Bu sistemler Siber-Fiziksel olarak adlandırılmaktadır ve siber sistemler birbirleriyle internet tabanlı verileri kullanarak birbirleriyle etkileşebilmektedir. Bununla birlikte parametrelerin tanımlanmasını sağlamakta ve hataları öngörerek de verileri analiz edebilmektedir. Endüstri 4.0 ile bahsedilen sistemlerin daha fazla yaygınlaşması beklenmektedir. Böylece verimlilik sağlanarak daha hızlı ve esnek sistemler oluşturulacak ve daha düşük maliyetli üretimin gerçekleştirilecektir. Tüm bu değişimler ile üretim süreçlerinde verimlilik artarken iş gücünde ve sanayileşme alanında değişimler meydana gelecektir. Şekil 2.3’de endüstri 4.0’ın ana fikri otomizasyon, entegrasyon ve optimal üretim akışı gösterilmektedir (Poonpakdee ve diğ, 2017).



Şekil 2.3 : Endüstri 4.0 ile geleneksel üretim modellerinin değişimi (TÜSİAD ve BCG, 2016).

Endüstri 4.0’ın en önemli ayırt edici özelliği, üretimi eşzamanlı düzenlemesidir. Bu da üretim süreçlerine dahil tüm araç ve makinaların internet ve sensör aracılığı ile etkileşime geçmesiyle sağlanabilir. Böylece ileri mühendislik ve sistemlerin birbirine entegrasyonunu da içine alan işgücünde düşük maliyeti göz önüne alan rekabetin yerine, üretimdeki verimliliğin yüksek olduğu yani katma değeri yüksek olan rekabete geçilmesi hedeflenmektedir. Bu noktada Endüstri 4.0 bulut sistemi, ağ sistemi, uygulamalar ve cihazlar olmak üzere dört seviyede ifade edilmelidir (Şekil 2.4). Burada cihazlar, ağların desteğiyle senkronizasyonu sağlarken üretim için gerekli olan bilgiyi veri madenciliği yolu ile sağlamakta ve bu da uygulama alanına bakıldığında

smart yani akıllı hizmet, akıllı fabrika ve akıllı tüketiciyi ifade etmektedir (Alçın, 2016).

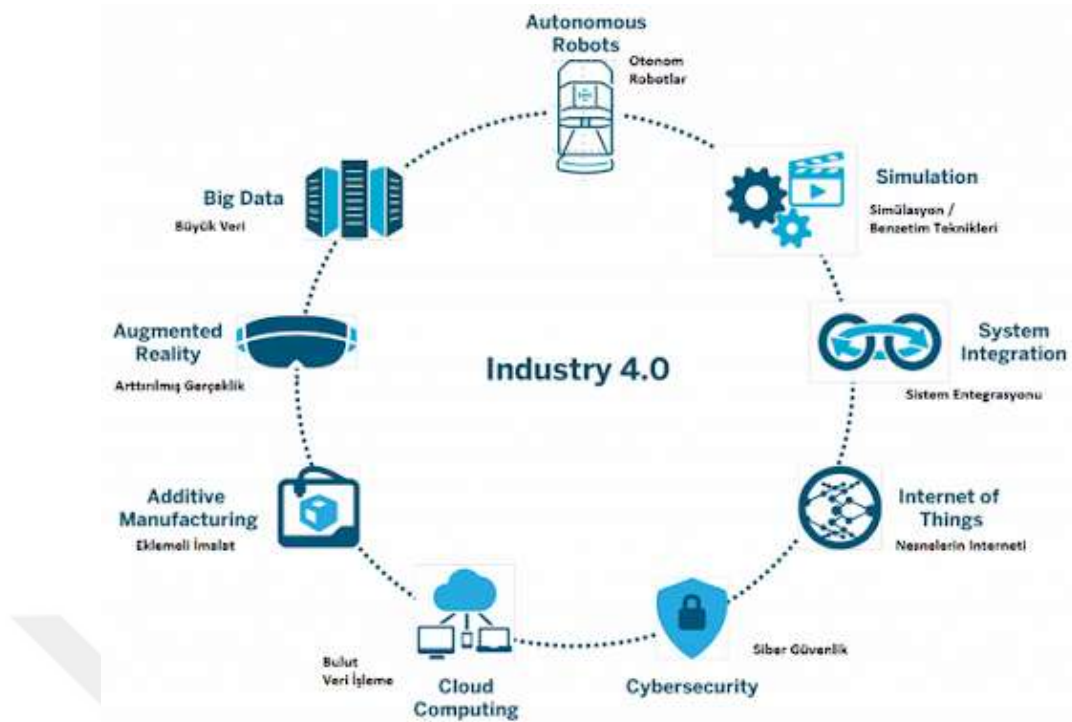


Şekil 2.4 : Endüstri 4.0 devriminin dört seviyesi (Alçın, 2016).

Bu dört seviye incelendiğinde endüstri devrimlerinin her aşamasında bir önceki aşamaya göre insan gücünü olan ihtiyaç azalmıştır. Buradaki asıl amaç sistemi manuel durumdan kurtarıp tamamen otonom işleyiş sağlamak değil, insanın mevcut rutin işlerinden sıyrılarak beyin gücüne odaklanması ve bu alanda da gelişmelere öncelik etmesidir. Sonuç olarak insanın kendi doğasına uyumlu her değişimi insanın kendisini de geliştirmektedir (Alçın, 2016).

2.2 Endüstri 4.0 Ve Teknolojik Gelişmeler

Endüstri 4.0 ilk kez 2011 senesinde Almanya’da kendinden söz ettirmiş ve tüm dünyada, sağlayacağı sosyal ve ekonomik faydalar ile değerlendirilmiştir. Endüstri 4.0 ya da 4. Sanayi Devrimi, birçok farklı modern otomasyon sistemini, üretim teknolojilerini ve veri alışverişini kapsayan kolektif bir terimdir. Burada meydana gelen değişim nesnelerin interneti, internet ile oluşturulan hizmetler ve siber-fiziksel sistemlerden oluşan bir değerler bütünüdür. Endüstri 4.0, otonom makineler, bilgi teknolojileri ve sistem entegrasyonu ile endüstrideki değişimin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. The Boston Consulting Group raporunda, dijital endüstri teknolojisinin ilerleyişi güçlenmekte olan bir dönüşüm olarak yorumlanmaktadır. Bahsi geçen 9 teknoloji bileşeni Şekil 2.5 ile gösterilmiştir (Tecim, 2020).



Şekil 2.5 : Endüstri 4.0 bileşenleri (Tecim, 2020).

2.2.1 Nesnelerin interneti (internet of things-IoT)

Nesnelerin interneti kavramı 1999 senesinde ilk kez Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır (Santos ve diğ, 2017). Büyümenin çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesiyle birlikte günümüze kadar yaklaşık 26 milyar ürünün internete bağlandığı açıklanmıştır. Akıllı bileklikler, akıllı saatler, akıllı gözlükler, akıllı tişörtler vb. birçok nesne için yapılan yatırımlarla wi-fi ve Bluetooth teknolojisi ile internete bağlanacaktır. Akıllı ürünler de internete, yakınlarında bulunan veri sağlayıcılar ile girebilecek ve kullanıcılara bildirimleri aktarabilecektir. Böylece fiziksel ve sosyal çevre ile iletişim halinde olunacaktır (Gölzer ve Fritzsche, 2017).

Bir diğer tanımlama ise, nesnelerin interneti aracı olarak kullanmasıyla işleri kendilerinin yönetmesi şeklinde olacaktır. Böylece nesnelerin interneti ile işletmedeki farklı birimde bulunan yöneticiler, konum fark etmeksizin telefon ve tabletler ile hatta akıllı bileklikler de buna dahil olmakla birlikte üretim sürecinin tamamının yönetim ve takibini yapabilecektir. Bu süreçte istenmeyen bir gelişme meydana gelirse, üst yönetici tarafından, süreç durdurulabilecektir. Sistem entegrasyonu tam sağlanmış bir işletmede, süreci makine ve robotlar yürütürken herhangi bir uygunsuzluk durumunda da yine makina ve robotlar tarafından müdahale sağlanabilir. Makine üzerine yerleştirilen sensör ve akıllı etiketler ile tedarik zinciri boyunca ürün geçmişinin

yönetilmesini sağlayacaktır. Makinelerin üzerinde yer alacak olan akıllı ölçüm cihazları ve sensörler, enerji kullanım miktarını ölçerek optimum sonucu hesaplayacak ve böylece gereksiz kullanımlar ortadan kalkacaktır. Günümüzde ise sensör ve makinelerin kısıtlı bir kısmı ağı bağlıdır ve yine kısıtlı bir kısmı gömülü bilgi işlem uygulamalarını kullanmaktadır. Ancak, nesnelerin interneti ile tanımlanmayan ürünler de dahil daha fazla cihaz gömülü bilgi işlem ile donatılacak ve uygun teknolojiler kullanılarak birbirlerine bağlanabileceklerdir. Bu aygıtların birbirleri ile etkileşime girmesine olanak tanımaktadır (TÜSİAD ve BCG, 2016). Nesnelerin interneti kavramından bahsedilirken önemli nokta nesnelerin tek aşına internete bağlanması değildir çünkü bu bir anlam ifade etmez. Önemli olan nesnelerin internet alanındaki evrimleşmeleri ve kendi veri tabanları ile sürekli iletişim içinde olmalarıdır (Gölzer ve Fritzsche, 2017).

Bu alanda yapılan uygulama örneklerine bakıldığında dünyada birçok şirket bu sistemleri pazara sunmaktadır. Intel geliştirme cihazları ve bulut altyapısı gibi konularında çalışmalar yaparken, IBM akıllı şehirler konusunda çalışmalar yapmaya devam etmektedir. Nesnelerin interneti dijital devrimi yolunun neresinde olduğunu net olarak görebilmek için hali hazırda aktif durumda olan ürünlerinden bazıları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Nesnelerin interneti ürünlerinin örnekleri (<https://www.sektorumdergisi.com>).

2.2.2 Büyük veri ve analitik (big data and analytics)

Büyük veri; firmaların büyük verilerle ve verilerin depolanması için ihtiyaç duydukları teknolojik araçlar ve süreçlerdir. 2000’li yıllarda büyük veri üç bileşen ile karakterize edilirken günümüzde ise 2 bileşen daha ilave edilerek kısaca 5V ile tanımlaması yapılmıştır. Bunlar şekil 2.7’de gösterilmiştir. (Özdeş, 2017);

Hacim (Volume): Hacim, verinin geleneksel yöntemlerle ele alınamayacak düzeyde büyük olduğunu ifade eder. Veri büyüklüğü petabyte ve terabytedan daha büyük hale geldiğinden, geleneksel depolama ve analiz araçları eksik kalmıştır. Bunun için kaçınılmaz bir şekilde yeni teknik ve araçlar geliştirilmiştir (Özdeş, 2017).

Hız (Velocity): Verinin üretilme hızının, veriyi kullanacak işlem sayısının ve çeşitliliğinin de sürekli artıyor olması sonucunu doğuruyor (Özdeş, 2017).

Çeşitlilik (Variety): Farklı veri kaynaklarından elde edilen verinin %80'ine yakın bir kısmı format ve yapısal olarak birbirine benzemez. Benzerlik oranı olmayan bu verilerin birbirlerine dönüşmeleri gerekir (Özdeş, 2017).

Doğrulama (Verification): Verilerin güvenlik ve doğruluğu ile alakalı kısımdır. Veri miktarı büyüdükçe, bu verinin doğruluğunu ve güvenliğini teyit etmek de zorlaşmaktadır. Veri işlenmesi sırasında verinin gerektiği güvenlik seviyesinde izlenmesi, doğru kişiler tarafından görünebilir veya gizli kalması gerekiyor (Özdeş, 2017).

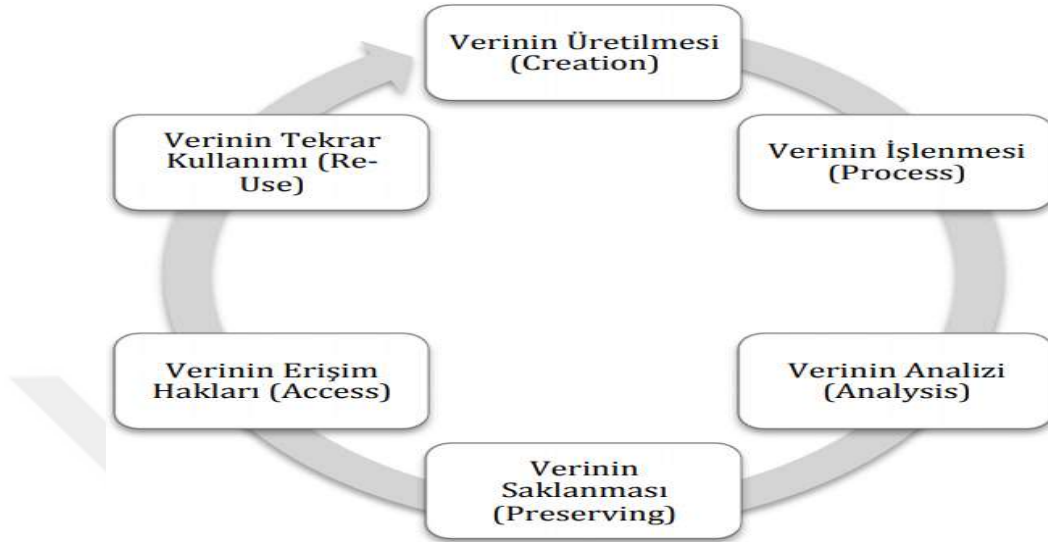
Value (Değer): Büyük veri bileşenlerinden en önemlisidir. Verinin anlamlandırmak için işlenmesinden sonra kurum için artı bir değer sağlamalıdır. Sonuçlandırma ve karar verme aşamasında verinin anında etki etmesi, bu kararı vermede ulaşılabilir olması gerekmektedir (Özdeş, 2017).



Şekil 2.7 : Büyük veri bileşenleri (Özdeş, 2017).

Büyük veri ile etkili bir şekilde verilerin analiz edilip işlenmesi için; A/B testleri, yapay zeka sistemleri, dil işleme süreçleri, gelişmiş simülasyon gibi yüksek teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük veri araçları, neredeyse sonsuz sayıdaki

veri yığınına dağıtılmış sistemler (özel veri tabanları, sunucular vb.) kullanarak analiz etmekte ve ihtiyaç duyulan bütün bilgilerin çok daha hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır (Yan ve diğ, 2017). Büyük verinin yaşam döngüsü Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 : Büyük veri yaşam döngüsü (<https://ozgununlu.com/blog-detay/buyuk-veri-nedir-big-data>).

2020 yılına gelindiğinde, yeryüzündeki her bir insan için saniyede ortalama 1.7 Megabyte’lık yeni bilgi oluşturulacak ve McKinsey’nin perakendicilerle yaptığı çalışmaya göre, büyük veriyi en efektif bir şekilde yararlanan perakendicilerin faaliyet karlarını %60 oranında artırması sağlanacaktır. Büyük veriden yararlanarak, pazar, müşteri ve daha birçok farklı alanla ilgili bilgiye detaylı olarak ulaşan şirketler, ürünlerini ve operasyonlarını en efektif şekilde geliştirip, çok daha hızlı ve güvenilir şekilde büyümeye devam edecektir (Özdeş, 2017).

2.2.3 Eklemeli üretim (additive manufacturing)

Eklemeli üretim reçine ve plastik benzeri malzemelerin üst üste eklenmesiyle meydana gelen üretimdir. Endüstri 4.0 teknolojileri ile 3D baskı yönteminin entegrasyonuna eklemeli üretim denmektedir. Bu yazıcılar; üç boyutlu CAD verisini gerçek nesneler haline dönüştürebilen bir makinedir. Endüstri 4.0 ile bu makinaların entegrasyonu sonucu özel ve küçük parçaların üretimi mümkün olacak, oluşturulacak olan model, özel yazılımlar vasıtasıyla katmanlara ayrıldıktan sonra tabandan başlanarak katman katman fiziksel bir modele dönüşecektir. Aslında bu teknoloji ile tasarımda büyük bir esneklik sağlanmakta ve üretimi güç olan malzemelerin de yapılması çok kısa sürede

gerçekleşmektedir. Burada bahsedilenler aslında bize üç boyutlu yazıcılar hassas ürünleri üretebileceğimizi, tasarım ile üretim arasındaki aşamanın kalkarak direkt imalata geçilebileceğini, parça geometrilerinde bir değişiklik olsa da ilave bir malzeme ve süre gerekmediğini ifade etmektedir (Özdeş, 2017).

2.2.4 Bulut (cloud)

Bulut teknolojisi fikri uzantısı 1950 yıllara dayanır. Amazon, 2006 yılında bulut bilişimin gelişmesinde önemli bir rol oynayarak Amazon S3'ün hizmete girmesini sağlamış, 2008'in ortalarında ise daha da yaygınlaşmış ve dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Luque ve diğ, 2017).

Bulut bilişim bir ürünü değil hizmeti ifade etmektedir. İnternetin geleceğinin bulut bilişimden geçtiği iddia edilmektedir ki eğer böyleyse gelecekte, bilgisayar hard disklerinin yerine çevrim içi bulutların kullanılacağı söylenmektedir. Burada bahsedilen de bilişim aygıtlarında herhangi bir altyapı hazırlamadan, çevrimiçi ağ ile uygulamaya ulaşmak anlamına gelmektedir. Şu an bile şirketler zaten kurumsal ve analitik uygulamalar için bulut tabanlı yazılım kullanmaktadır. Fakat Endüstri 4.0 ile şirket sınırlarında daha fazla veri paylaşımı gerekli olacaktır. Bu noktada makine verisi ve işlevselliği, yaygınlaştırılacak ve üretim sistemleri için daha fazla veriye dayalı hizmet sağlanacaktır. Bulut teknolojisi ile en düşük kapasiteli cihazla dahi istenildiği zaman her tür bilgiye, kişisel veriye ulaşım sağlanabilmektedir (Luque ve diğ, 2017).

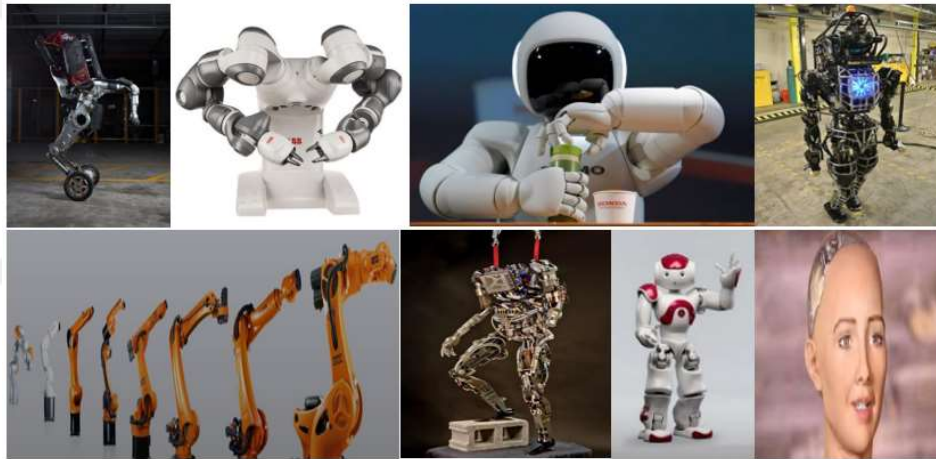
Daha önce bahsedildiği gibi büyük veri kullanımı ile bulut bilişimin birbirini tamamlamaktadır. Son yıllarda ise boyut, çeşitlilik, karmaşıklık ve birçok anlamda verilerin artması ve sürekli de artması devam edecek olması büyük veri ile bulut bilişimin bir çözüm merkezi olmasını sağlamıştır. Bulut hizmeti verene bazı platformlar Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : Bulut hizmeti veren bazı platformlar (Özçelik,2021).

2.2.5 Gelişmiş robotlar (advanced robots)

Gelişmiş robotlar çeşitli yazılım ve donanım sistemleri ile donatılmış, kendi kendine karar verme ve faaliyette bulunma yeteneğine sahip makinalardır. Bu robotlar mevcut yazılımları sayesinde çevrelerini algılayıp karar vererek harekete geçebilmektedirler. Böylelikle iş birliği içinde insanlar ile aynı ortamda çalışabilmekte, hatta insanlar için tehlikeli olabilecek faaliyetlerin yürütülmesinde de kullanılabilirler. Bu robotlara çeşitli beceriler kolaylıkla öğretilbildiği için üretim sistemlerinde insan müdahalesine ihtiyacı azaltmaktadır. Bu sayede insan hatalarından kaynaklı maliyetler ortadan kalktığı için maliyetler de düşmektedir ve ayrıca hassas ve karmaşık iş sonuçları iyileşmektedir. Bu durum endüstride robotlardan yararlanma oranını git gide artırmaktadır (Türkcan, 2022). Gelişmiş robot uygulama örnekleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 : Gelişmiş robot teknolojisi uygulama örnekleri (Sun ve diğ, 2015).

2.2.6 Simülasyon (simulation)

Simülasyon, “Teknik anlamda gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesi” olarak ifade edilmektedir ya da bir şey yapmadan önce tasarımı parçalar halinde düşüncede şekillendirip hatanın düşünce aşamasında öngörülmesi ve problemlerin ortadan kaldırılıp uygulamaya konması aşamasıdır. Bu noktada simülasyon, sistem veya süreçlerin bir modelidir ve nesneler arasında tanımlanmış ilişkileri içermektedir. Günümüzde zaten mühendislik alanında kullanılmakta, hatta üretim işlemlerinde üç boyutlu simülasyonlar yapılmaktadır ancak gelecekte de fabrikanın operasyonel süreçlerinde daha fazla ve etkin kullanılması beklenmektedir. Simülasyon makineler, ürünler ve insanlar kapsayacak şekilde sanal bir modelde gerçek dünyayı yansıtabilmektedir. Böylece operatörler fiziksel

değişimden önce sanal dünyadaki bir sonraki ürünün makine ayarlarını test edecek ve optimizasyonu gerçekleştirerek makine kurulum sürecini azaltacak ve kalite artırımını ve fire ya da atık miktarını minimuma gelmesini sağlayacaktır. Örneğin Siemens bu noktada geliştirdiği sanal simüle makinesi ile işleme süreci için gerekli hazırlık süresi %80 azaltmayı başarmıştır (TÜSİAD ve BCG, 2016).

2.2.7 Artırılmış gerçeklik (augmented reality)

Artırılmış gerçeklik, gerçek dünyadaki fiziksel ortamı, bilgisayar aracılığıyla oluşturulan duyuşal girdilerle canlı, dinamik ve gerçek zamanlı olarak hissedip yaşamamızı sağlayan ve ileride hayatımızın büyük bir bölümünde yer alacağını düşündüğümüz heyecan verici bir kavramdır. Kullanıcı, bu teknoloji ile etrafındaki bilgi ile etkileşim halinde olabilir ve buradan veri üretilebilecek düzeye gelinmiş olacaktır. Böylece artırılmış bilgi ile gerçek dünyaya dair daha fazla bilgi edinebiliriz ve simülasyonlarımız gerçeğe uygun olmuş olacaktır. Örneğin; artırılmış gerçeklikle müşterilerinize bir ürünün ambalajını daha açmadan içinde neyin olduğunu ön izleme ile gösterebilirsiniz. Ürünlerin taranmış görüntülerinin kullanımıyla müşterilerinize ek içerik ve görüş gibi özelleştirme seçenekler de sunabilmektedir (Türkcan, 2022). Artırılmış gerçeklik örnekleri Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11 : Artırılmış gerçeklik uygulamalarına örnekler (Kahraman, 2022). Yatay ve dikey entegrasyon (horizontal/vertical integration).

Firmaların büyümesinde en önemli faktör hiç şüphesiz küresel rekabet ortamında hayatta kalma mücadelesi ile ekonomik güçlenmedir. Bu noktada firmalar, her zaman varlıklarını korumak, riskleri azaltmak, büyüme hızını yükseltmek, piyasa değerlerini artırmayı bazen yatay ve dikey entegrasyonla sağlamaya gitmişlerdir (Whitmore ve diğ, 2013).

Yatay Entegrasyon

Yatay entegrasyonunu tanımına bakacak olursak, müşteri çeşidi aynı olan şirketlerin kendi arasındaki birleşmedir. Buradaki amaç ise şirketlerin pazar payını güçlendirmektir. Yatay entegrasyonun maddeleri aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir (Whitmore ve diğ, 2013).

- Şirketler AR-GE çalışmalarını daha da arttırmak ve çevresindeki belirsizliği minimize etmek,
- Genellikle riskli yatırım olup sektörde tek olmadıklarını için bu yolla tutunabilme düşüncesi,
- Yatay birleşmelerde şirketler işletme kapasitesini tam anlamıyla kullanıma açmaya hazırlaması,

Bu tarz birden çok şirketin birleşmesi ile maliyetlerin düşmesi söz konusu olabilmektedir.

Dikey Entegrasyon

Dikey entegrasyon, aynı sektör içinde olup farklı alt sektörlerde müşteriye sahip işletmelerin birleşme şeklidir. Üç çeşidi vardır ki bunlar; geriye doğru dikey entegrasyon, ileriye doğru dikey entegrasyon ve dengeli dikey entegrasyon olarak gruplanmıştır (Whitmore ve diğ, 2013).

2.2.8 Siber güvenlik

Ulusal Bilim Kurumu siber-fiziksel sistemleri şöyle ifade etmektedir: Gözlemleme, kontrol ve koordinasyon gibi üretim süreçlerindeki ana prensiplerin, iletişim ve hesaplama bileşkesinden oluşan karma teknoloji tarafından organize edildiği sistemlerdir (TongKe, 2013). Yaşamımızda makineler ile siber dünya arasında bir etkileşim söz konusudur ve bu noktada da nano teknoloji devreye girmektedir. Endüstri 4.0 ile devreye giren standart iş birliği protokollerinin bağlantısının artması

ve etkin kullanımı ile üretim hatlarıyla birlikte kritik endüstriyel sistemleri de koruma ihtiyacı doğurmuştur.

2.3 Dünya Ve Türkiye’de Endüstri 4.0 İlgisi Düzeyi

Endüstri 4.0 kavramından ilk kez 2011 senesinde Almanya’da yapılan Hannover Fuarı’nda bahsedilmiştir. Çalışmada Dünya’da ve Türkiye’de Endüstri 4.0 konusuna yapılan sorgulama için Google trend kullanılmıştır. Arama sonucu çıkan 100 değeri, terimin en yüksek popülerliği, 50 değeri bunun yarısı kadar popüler olduğu ve 0 değeri, terimin en yüksek popülerliğin %1’inden daha az olduğu anlamına gelir. Şekil 2.12’de dünya genelinde 2015-2022 yılları arasındaki arama verileri gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Google trends üzerinde 2015-2022 yılları arasında dünyada “industry 4.0” arama oranları ve en çok arama yapılan ilk beş ülke (Google trends, 2022).

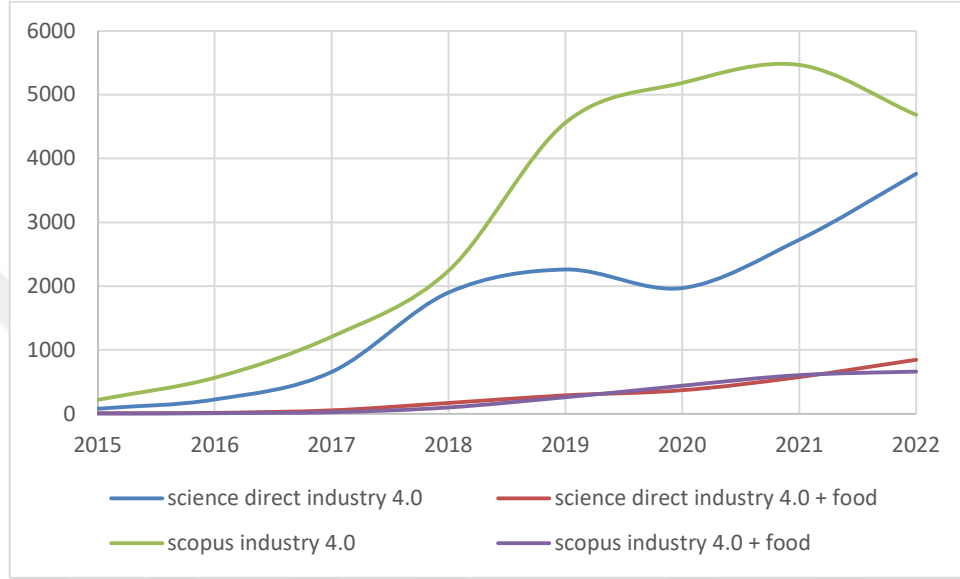
Şekil 2.11 incelendiğinde “industry 4.0” aramasının Dünya genelinde 2014 yılından sonra itibaren artış gösterdiği görülmektedir. Türkiye’de yapılan “endüstri 4.0” arama verileri ise Şekil 2.13’de görülmektedir. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de 2014 yılından sonra bu kavrama olan ilgi artmıştır.



Şekil 2.13 : Google trends üzerinde 2015-2022 yılları arasında Türkiye’de “endüstri 4.0” arama oranları ve en çok arama yapılan ilk beş şehir (Google trends, 2022).

2.4 Endüstri 4.0'ın Akademik Literatürdeki Yeri

Endüstri 4.0 alanında yazılan birçok makale mevcuttur. Scopus ve Science direct veri tabanlarından 2015-2022 yılları arasında “industry 4.0” ve “industry 4.0 + food” anahtar kelimeleri ile yapılan tarama sonuçları Şekil 2.14’de verilmiştir. Buna göre 2015 yılından itibaren yapılan makale sayısında hızlı bir artış olduğu ve ilginin de devam ettiği görülmektedir.



Şekil 2.14 : 2015-2022 yılları arasında “industry 4.0” ve “industry 4.0 + food” anahtar kelimeleri ile ilişkili makale sayıları.

2.5 Türkiye’de Dijital Dönüşüm (Endüstri 4.0) İncelemesi Ve Yapılan Çalışmalar

Şekil 2.10 ve 2.11’de de görüldüğü üzere Türkiye’de Endüstri 4.0’a olan ilginin Dünya ile aynı zaman olan 2014 ortalarından itibaren eğimli bir artış göstermektedir.

2.5.1 Tübitak yeni endüstri devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası

2016 şubat ayında gerçekleştirilen Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu'nun (BTYK) 29. Toplantısı'nda 2016/101 no. lu “Akıllı Üretim Sistemlerine Yönelik Çalışmaların Yapılması” kararı alınmıştır ve bu toplantının gayesi ülkemizin yeni endüstri devrimindeki konumunun güçlendirilmesi ve hızlandırılmasıdır (Şekil 2.15).

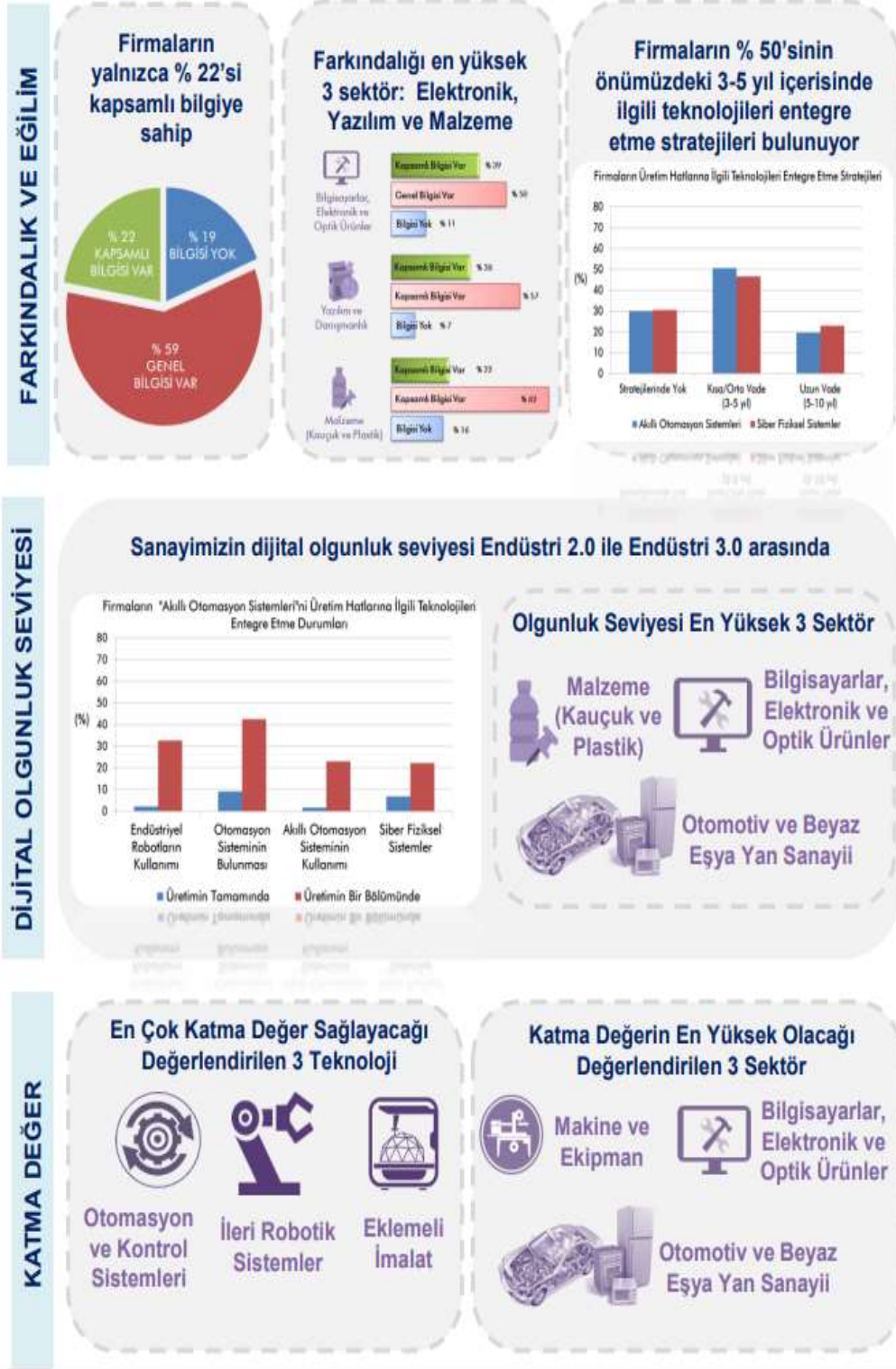
Alınan bu karar ile TÜBİTAK tarafından 2016 yılında "Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası" taslağı hazırlanmıştır. Bu çalışmaya özel sektörden üniversitelere kadar birçok kurum katılım ve katkı sağlamıştır. Teknoloji yol haritasında, ulusal stratejik hedefleri içine alan ve ülkemizin bu hedeflere

ulaşmasındaki yararlanacağı kritik olan ürün ve teknolojileri ve bunların da geliştirilmesine yönelik Ar-Ge projeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan teknoloji yol haritasında, ar-ge ve yenilik faaliyetlerinin odaklanacağı 3 teknoloji grubunda 8 kritik teknoloji, 10 stratejik hedef ve 29 kritik ürün belirlenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen ankete yönelik analizin özet bulguları Şekil 2.16’te sunulmuştur (Aslan ve Kocatürk, 2016).

Alınan bu karar ile TÜBİTAK tarafından 2016 yılında "Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası" taslağı hazırlanmıştır. Bu çalışmaya özel sektörden üniversitelere kadar birçok kurum katılım ve katkı sağlamıştır. Teknoloji yol haritasında, ulusal stratejik hedefleri içine alan ve ülkemizin bu hedeflere ulaşmasındaki yararlanacağı kritik olan ürün ve teknolojileri ve bunların da geliştirilmesine yönelik Ar-Ge projeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan teknoloji yol haritasında, ar-ge ve yenilik faaliyetlerinin odaklanacağı 3 teknoloji grubunda 8 kritik teknoloji, 10 stratejik hedef ve 29 kritik ürün belirlenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen ankete yönelik analizin özet bulguları Şekil 2.16’te sunulmuştur (Aslan ve Kocatürk, 2016).



Şekil 2.15 : BTYK’nın 2016/101 no. lu akıllı üretim sistemlerine yönelik çalışmaların yapılması kararı (Aslan ve Kocatürk, 2016).



Şekil 2.16 : TÜBİTAK mevcut durum anket ve analiz çalışması (Aslan ve Kocatürk, 2016).

Tüm bu çalışmalar ile yapılan mevcut durum değerlendirmesi paydaşlarla yapılan çalıştayların çıktıları bir arada yorumlanarak akıllı üretim sistemleri için çok katmanlı teknoloji yol haritası şekil 2.17’de hazırlanmıştır (Aslan ve Kocatürk, 2016).



Şekil 2.17 : Akıllı üretim sistemleri kritik ve öncü teknolojileri (Aslan ve Kocatürk, 2016).

Türkiye'nin dünyadaki gelişmelere ayak uydurabilmesi için belirlenen 10 teknolojik hedef vardır ve bunlar Şekil 2.18'de gösterilmektedir. TÜBİTAK 2016 yılında 1000 özel sektör kuruluş ile bir çalışma yapmış ve bu çalışmaya göre Türkiye sanayisinin dijital seviyesinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında olduğu gerçeği görülmüştür. Yapılan bu çalışmanın diğer bir sonucu ise endüstri 4.0 teknolojilerinin eksikliği ve robotların, otomasyon ve siber fiziksel sistemlerinin kullanım alanlarının üretimin sadece belli bölümlerinde olmasıdır. Burada bahsedilen teknolojilerin üretimin her alanında yer alması endüstri 4.0'a geçmemizde en önemli aşama olacaktır. Yapılan diğer bir araştırmaya göre firmaların yaklaşık %50'sinin önümüzdeki 3-5 yıl dijitalleşmeye geçme çalışmaları dönüşüm için umut olmuştur (Aslan ve Kocatürk, 2016).

2.5.2 Sanayide dijital dönüşüm platformu

2016 yılı aralık ayında Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanı Faruk Özlü başkanlığında Sanayide Dijital Dönüşüm platformu kuruldu. Bu platformda sanayileşme ile artık birçok işin robotlar tarafından yapılacağı yani insana gerek kalmayacağı düşüncesi yerine yeni meslekler ortaya çıkacak ve gelişen yeni dünya düzeninde en önemli sermaye eğitilmiş ve nitelikli insan kaynağı olacağı vurgusu yapılmıştır (Aslan ve Kocatürk, 2017).



Şekil 2.18 : Türkiye'nin dünyadaki seviyeyi yakalaması/üzerine geçmesi için belirlenen 10 teknolojik hedef (Aslan ve Kocatürk, 2016).

2.5.3 Endüstri 4.0 farkındalık çalışmalarına örnekler

Endüstri 4.0 portalı: Hazırlanan [www. endustri40. com](http://www.endustri40.com) portalı ile tüm karar mercileri tek çatı altında toplamak hedeflenmektedir. Portalda; Endüstri 4.0'ın yol haritası, üretim teknolojilerindeki gelişmeler, geçiş sürecinde karşılaşılabilecek zorluklar,

eğitim sisteminin bu geçiş sistemine entegrasyonu gibi önemli başlıklar ele alınmaktadır.

TÜSİAD tarafından;

- TÜSİAD tarafından 2016 yılı Mart ayında "Türkiye'nin Sanayi 4.0 Dönüşümü Konferansı" Gerçekleştirildi.
- Konferansta “Türkiye İçin Neden Sanayi 4.0 ve Nasıl Bir Yol Haritası” başlıklı panel gerçekleştirildi.

TÜSİAD ve Boston Consulting Group (BCG) ortaklığı ile hazırlanan “Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi” başlıklı rapor hazırlandı.

2.5.4 Türkiye için endüstri 4.0 neden önemli?

Endüstri 4.0'ın entegrasyonu gelişme sağlanacak dört önemli alan beklendiği bildirilmiştir (TÜSİAD ve BCG, 2016). Bunlar;

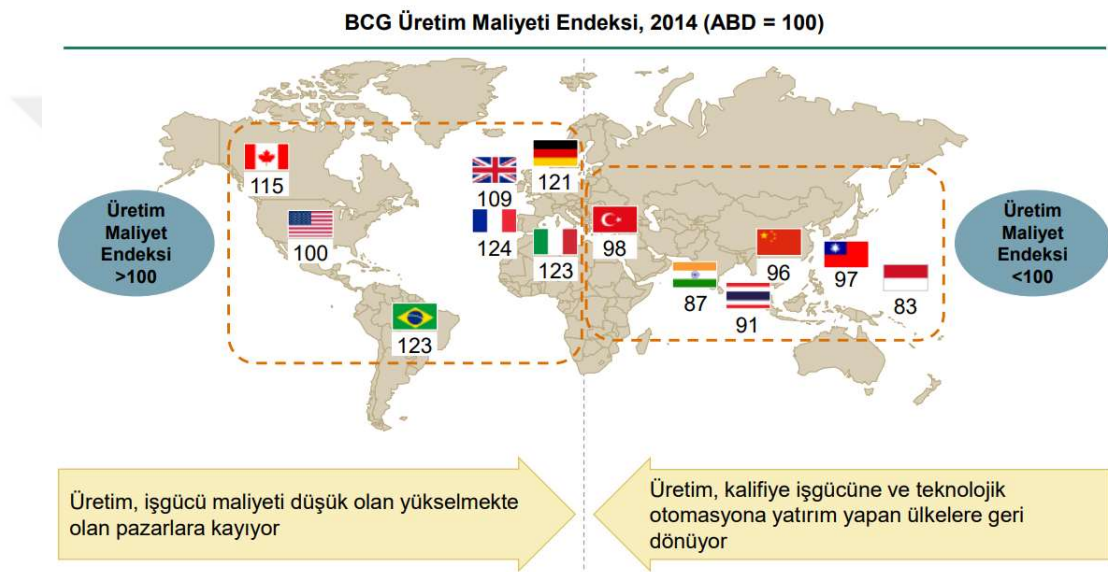
Verimlilik: Endüstri 4.0 başarılı bir şekilde uygulanırsa günümüz ekonomisinde Türkiye'deki üretim sektörlerinin verimlilikte meydana gelecek artışın %4-7 arasında olacağına dayanmaktadır. Bu noktada sadece dönüşüm maliyetine (malzeme maliyetleri hariç üretim maliyeti) bakıldığında, verimlilikteki artışın %5-15 arasında olması beklenmektedir.

Büyüme (Ciro artışı): Endüstri 4.0 ile rekabet avantajının, sanayide yıllık %3'e kadar ulaşabilecek bir artışı beklenmektedir. Meydana gelen bu büyüme aslında Türkiye GSYİH'sinde %1 ve üzeri bir ek büyüme anlamına gelmektedir.

Yatırım: Önümüzdeki 10 yıllık sürece bakıldığında Endüstri 4.0 teknolojileri günümüz fiyatı ve ekonomisi değerlendirilerek yaklaşık 10-16 milyar TL yatırım yapılması gerektiği öngörülmektedir.

İstihdam: Eğer belirtilen büyüme hedefleri gerçekleşirse istihdam edilen iş gücü ihtiyacı artacak ve nitelikli, eğitilmiş, gelir düzeyi yüksek bir iş gücü yapısı oluşacaktır. Bu noktada önümüzdeki on yıl içinde iş gücünün azalması beklenirken sanayi üretiminde bir artış olması muhtemel olacaktır. Aynı zamanda, yüksek nitelikli işgücü yapısının oluşmasıyla Türkiye “know-how” altyapısının gelişeceği de ifade edilmektedir.

Türkiye coğrafi konumu sayesinde lojistik avantaja sahiptir. Küresel değer zincirinde bu kadar rekabetçi bir konuma sahip olmasının sebebi ise; esnek ve düşük maliyetli işgücünü kullanmasıdır. Bazı veriler göz önüne alındığında ki bunlar; Üretim ücretleri, verimlilik, enerji maliyetleri ve döviz kurlarıdır; BCG Global Üretim Maliyeti Endeksi'nde, Şekil 2.19'de görüldüğü gibi Türkiye 98 ortalama birim maliyeti ile üretimini gerçekleştirirken, ABD 100, Almanya ise 121 ortalama birim maliyetle üretim gerçekleştirmektedir. Bu sonuçlar ise Türkiye'nin ihracat platformunu güçlendirmesi ve bununla birlikte küresel değer zincirinden pay alması için sahip olduğu rekabet avantajını göstermektedir (TÜSİAD ve BCG, 2016).



Şekil 2.19 : Türkiye'nin küresel değer zincirindeki konumu (TÜSİAD ve BCG, 2016).

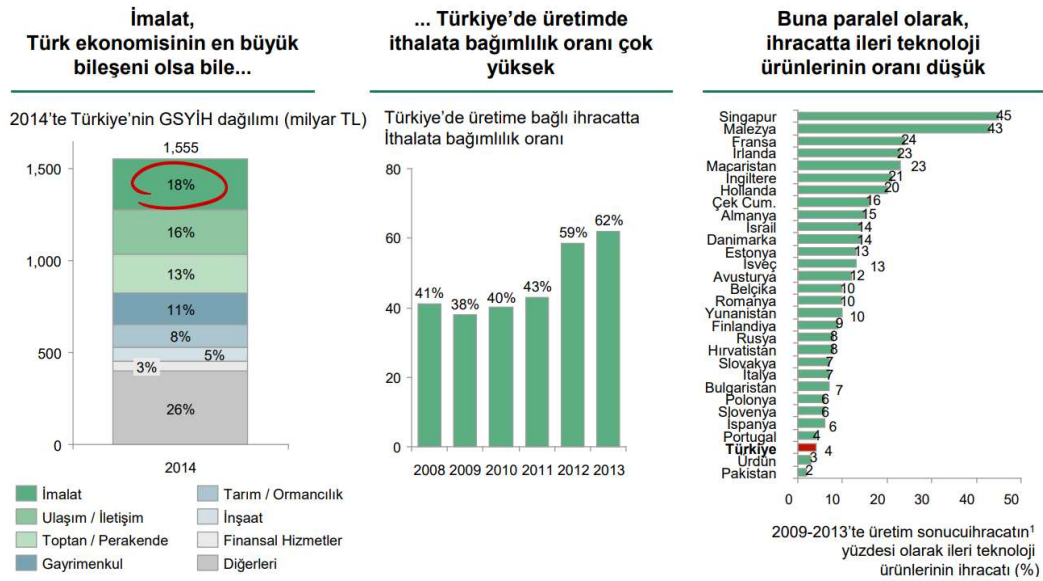
Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere Türkiye konumu itibariyle lojistik avantajı ve düşük işgücü maliyetinden faydalanarak dünya değer zincirinde yerini almıştır. Bu sebeple, mevcut rekabetçi pozisyonunun korunması oldukça zordur ve bu pozisyonun sağlanması için bazı yapısal zorluklar vardır (Şekil 2.20). Bunlar;

- **İhracat için ithalata yüksek bağımlılık:** ithalatın oranı ihracat amacıyla yapıldığından yapısal olarak yıllardır yüksek seyretmektedir.
- **Katma değerli ürünlerin toplam üretim içindeki düşük payı:** Dünya çapında katma değerli ürünlere olan talep artma eğilimindeyken, Türkiye'nin yapmış olduğu ihracatta ileri teknolojinin kullanıldığı ürünlerin payı yaklaşık olarak %4 oranındadır.
- **Sınırlı işgücü yetkinlikleri:** Ekosistemler ve işgücünün yetkinliği sınırlıdır ve bu durumda yeni teknolojilerin benimsenmesini yavaşlatmaktadır.

Çalışanların yüksek işten ayrılma hızı: İşgücünün sanayiden hizmet sektörüne doğru yönelmesi, üretim sektöründe çalışan kişilerin işten ayrılma hızını arttırmaktadır.

2.6 Gıda Güvenliği

Gıda güvenliği gıda kaynaklı hastalıkları engelleyerek, gıdaların işlenmesi ve depolanmasını ele alan bilimsel bir disiplindir. Bu potansiyel olarak ciddi sağlık tehlikelerini önlemek için takip edilmesi gereken bir dizi rutinleri içermektedir. Gıda işletmelerinde, sağlıklı gıda üretimi için gerekli olan hijyen şartlarının (personel hijyeni, ekipman hijyeni, hammadde hijyeni, ortam hijyeni, vb.) belirlenerek bu şartların sağlanması, üretim ve servis aşamasında tüketici açısından sağlık riski oluşturabilecek nedenlerin belirlenmesi ve bu nedenlerin ortadan kaldırılması temeline dayanan bir yaklaşımdır. Gıda Güvenliği Yönetim sistemleri ise ürün güvenliğini etkileyen tehlikelerin önceden belirlenmesi ve kontrol altına alınmasını sağlayan sistematik yaklaşımlar bütünüdür (Alçın, 2016).



Şekil 2.20 : Türkiye imalat sanayisinin küresel değer zincirindeki konumu (TÜSİAD ve BCG, 2016).

Gıda güvenliğinde sürdürülebilirliği artırmaya yönelik yeni süreçler ve katkı maddelerinin kullanımı ile birlikte diyetle ilgili hastalıklar, gıda alerjenleri, mikotoksinler ve bunların türevleri, antibiyotik direnci, gıda kaynaklı patojenik ve fırsatçı bakteriler, endokrin-aktif kirleticiler ve etiket bilgilerindeki eksikler gibi birçok olay tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği, kentleşme

ve artan nüfus için protein kaynaklarındaki kıtlık gibi küresel değişimler gıda güvenliğini güncel tutmanın zorlukları arasında yer almaktadır. Bu durum özellikle hassas bireyler (hamile kadınlar, bebekler, küçük çocuklar, yaşlılar ve bağışıklığı zayıf olanlar dahil) başta olmak için tüm insanlık için ciddi sonuçlara neden olabilmektedir. Olumsuz bu durum günümüzdeki Endüstri 4.0 gibi teknolojik yaklaşımlar sayesinde gıda değer zincirine inovasyon fırsatları ve çözüm yolları sunmaktadır (Alçın, 2016).

WHO verilerine göre 32 farklı hastalığa neden olabilen 31 gıda kaynaklı tehlike tanımlanmıştır. Bu 31 tehlike küresel ölçekte 2010 yılında 600 milyon gıda kaynaklı hastalığın ve 400 bin ölümün sebebidir. Bu ölümlerin %30'u 5 yaşın altındaki çocuklarda meydana gelmektedir (Bulut, ve Akçacı, 2017). Çizelge 2.2'de hastalıklar ve gıda kaynaklı nedenlerine değinilmektedir.

Çizelge 2.2 : Hastalıklar ve gıda kaynaklı nedenleri (Yildiz, 2021).

Organizma	Hastalık	Bulaş Kaynağı Gıdalar	Semptomlar	En çok görüldüğü Yerler
<i>E.Coli:O157:H7</i>	Gıda enfeksiyonu	Az pişmiş kıyma, Çiğ süt	Karın krampları, Kanlı ishal, Hemoliz	Fecal Mikrobiyota
<i>Salmonella</i> türleri	Gıda enfeksiyonu	Mayonez,çiğ veya,az pişmiş yumurta ve tavuk	Ateş,ishal,kusma	İnsan ve hayvan kaynaklı
<i>Staphylococcus</i> türleri	Gıda intoksikasyonu	Çiğ,ve az pişmiş et,süt,kek gibi gıdalar	Kusma,ishal,karın krampları	İnsan ve hayvan kaynaklı
<i>Clostridium perfringens</i>	Gıda enfeksiyon ve intoksikasyonu (enterotoksin)	Et ve Sebze yemekler, endosporlar	İshal,karın ağrısı, ince bağırsakta nekroz, peritonit	Ağız ve elden bulaşma
<i>Campylobacter</i> türleri	Gıda Enfeksiyonu	Deniz ürünleri, su, tavuk ürünleri	İshal,Karın krampları,kusma	Fecal mikrobiyota,su
<i>Norovirus</i>	Viral Enfeksiyon çocuk ve yaşlılarda	Su, kabuklu deniz ürünleri, az pişmiş etler, sebzeler,meyveler	İshal,ağızda yaralar,solunum güçlüğü	Hayvan kaynaklı
<i>Rotavirus</i>	Viral enfeksiyon	Salata, buz, meyve, dondurma, kabuklu deniz ürünleri	İshal, kusma, dehidrasyon, ateş	Fekal mikrobiyota
<i>Giardia intestinalis</i>	Parazitler enfeksiyon	Su, gıdalarla, hava yoluyla, evcil hayvanlar	İshal, kabızlık, şişkinlik, halsizlik, eklem ağrıları	Lağım ile sulanan yiyecek ve sular
<i>Brusella</i> bakterisi türleri	Bruselloz	Pastörize edilmemiş süt ürünleri, az pişmiş etler	Ateş, kas ve eklem ağrıları, baş ağrısı, yorgunluk	Sığır, domuz, keçi, köpek gibi hayvanlar
<i>Vibrio vulnificus</i>	Gıda enfeksiyonu	Midye, istiridye	Sebsis, ateş ağrısı	Deniz ürünleri

Avrupa Gıda Güvenliği Derneği (European Food Safety Association-EFSA), gıda güvenliği ile ilgili öncelikli konuların;

1. Biyobazlı ekonomik döngüde gıda
2. Güvenli besinler
3. Gıda güvenliği tehditleri
4. Gıdaların kimyasal kontaminasyonu

5. Gıdayla ilgili risklerin tüketicilere iletilmesi olduğunu belirtmiştir (Bulut ve Akçacı, 2017).

“Biyo bazlı ekonomik döngüde gıda” konusu ile ilgili olarak; Dünya, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinde temsil edildiği gibi, artan nüfus, iklim değişikliği, gıda ve diğer tüketim malzemelerine ile fosil yakıt alternatiflerine olan artan talep daha hiç görülmemiş boyuttadır. Biyo bazlı ekonomik döngü; yenilenebilir biyolojik kaynakların sürdürülebilir üretimi ve bunların çok çeşitli gıdalar, biyo ürünler ve biyoenerji içinde tam ve verimli kullanımı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, önceden yeterince kullanılmayan ve "atık" olarak görülen biyolojik kaynaklar giderek daha değerli hale gelmekte, fireler azalmakta, atık kullanımı çeşitlendirilerek verimlilik artmaktadır. Bu neden ile “önce gıda” stratejisi ile hareket ederek yeterince güvenli, sağlıklı, uygun fiyatlı ve besleyici gıdanın sürdürülebilir üretimi yoluyla küresel gıda güvenliği biyo bazlı ekonomik döngü ile iyileştirilmektedir (Bulut, ve Akçacı, 2017).

Gıda biyo ekonomisi, yenilik, teknolojik transfer ve yeni çözümler, özellikle de katma değerli ürünlerin üretimi için enzimlerin ve mikroorganizmaların kullanımı gibi biyoteknolojideki yeni uygulamalar ve ilerlemeler yoluyla yönlendirilmektedir. Biyoteknolojinin kullanımı ile birlikte gıda biyo ekonomisi Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (Sıfır Açlık, Endüstride İnovasyon ve Altyapı, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar vb.) çeşitli katkılarda bulunmaktadır. Gıda ve gıda ambalajları için yenilikçi ve kaynağa yakın hammadde ile üretim ve işleme sayesinde; nakliyenin azalması, yerel ve geleneksel malzemelerin kullanımının sağlanarak çeşitli iş fırsatlarının sunulması yerel kalkınma artırılmaktadır (Altekruse ve diğ, 1996).

Gıda biyo ekonomisini güvenli bir şekilde yürütmek ve bunun kırsal alanlar üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamak için altyapı ihtiyacı, politikalar, iş birlikleri ve yatırım fırsatlarını bilmek çok önemlidir. Bu durum yenilikçilik ve hammaddelerin tam kullanımı, yeni katma değerli ürünler, yeni prosesler ile gıda üretimi, gıda değer zincirleri ve gıda güvenliği üzerinde potansiyel etkiler sunmaktadır (Altekruse ve diğ, 1996).

"Güvenli besinler" konusu ile ilgili olarak; uzun yıllar gıda işlemede büyük miktarlarda şeker ve tuz gibi doğal koruyucuların kullanılması tüketicilerde bazı

hastalıkların görülme sıklığının artmasına neden olmuştur. Ayrıca bu dönemde gıda güvenliği sağlanmasına rağmen, gıdalarda çeşitli katkı maddelerinin kullanılması, ambalajlanması ve aşırı işleme prosesleri (rafine etme, kaynatma, tuzlama, tütsüleme gibi) nedeni ile gıdalarda bulunan bazı bileşenler uzaklaşmakta, inhibe, degrade veya yok olmaktadır. Bu dönemde gıda tüketiminin artması ve gıdaların tüketiminde hazzın ön planda olması kronik hastalıkların artmasına da neden olmuştur (Altekruse ve diğ, 1996).

Gıda bileşimi ve gıda işleme konusunda tüketici farkındalığının artması ile gıda güvenliği ve beslenme politikalarındaki gelişmelerin uygulanmaya konulması gıda işleme süreçlerinde besinsel değerlere olan önemi arttırmıştır. Sürdürülebilir gıda tüketiminin teşvik edilmesi, hastalıklara karşı gıdanın önleyici faktör haline gelmesi ile birlikte hammadde ve katkıların kalitesine olan önem artmıştır. Bu durum gıdanın hijyenik, besleyici ve duyuşsal kalitesinin artmasını sağlamıştır. Uzun vadeli beslenme ve gıda güvenliğini teşvik edecek çok daha fazla eylemin hayata geçirilmesi de çok önemli bir durumdur. Gıda kalitesini iyileştirecek, gıdaların başlangıçtaki besin bileşimini koruyacak, tüketicilerin sağlığını bozacak alışkanlıklardan (tuz, şeker, yağ gibi) vazgeçmesi ve biyoaktif bileşenler yönünden zengin bir beslenmeye geçmesi ile halk sağlığını koruyacak ve sağlıklı gıda seçimini destekleyecek politikalarının teşvik edilmesi çok önemlidir (Altekruse ve diğ, 1996).

“Gıda güvenliği tehditleri” konusu ile ilgili olarak; önceden bilinmeyen yeni patojenlerin tanımlanması ve bilinen patojenlerin beklenmedik gıdalarda ortaya çıkması gibi durumlardan dolayı gıdaların güvenliği sürekli etkilenmekte ve gıda kaynaklı hastalıkların epidemiyolojisi değişmektedir. Bu patojenler arasında antibiyotiklere dirençli olanları bunlara bağlı hastalıkların tedavilerin başarısız olmasına neden olmaktadır. Bu durum da ciddi hastalıkları artmasına dolayısıyla daha fazla ölümlerin ve tedavi maliyetlerin oluşmasına neden olmaktadır (Altekruse ve diğ, 1996).

Yeni gıdaların geliştirilmesi ve yeni protein kaynaklarının kullanılmasıyla birlikte bir başka gıda güvenliği sorunu olan gıda alerjisi artmıştır. Özellikle de batıda büyüyen kişilerde doğuda büyüyen kişilere göre daha fazla gıda alerjisi sorunu yaşaması, batılılaşmanın devam etmesiyle alerjinin dünya çapında artacağını göstermektedir (Altekruse ve diğ, 1996).

Çevresel ve iklim değışiklikleri, hasat öncesi ve sonrası gıda ürünlerindeki toksijenik mantarlar, mikotoksinler ve bunların türevleri de dahil olmak üzere patojenik mikropların ekolojisini, oluşumunu ve seviyelerini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Bu durum hayvancılık verimliliğine ve tarımsal üretime etki ederek küresel gıda güvenliği ve güvencesini bozmaktadır. Örneğin iklim değışikliği ile suların ısınmakta ve daha önce bilinmeyen deniz biyotoksinleri açığa çıkarak su ürünlerini yetiştiriciliğini etkilemektedir (Balçık, 2008).

AB'nin gıda güvenliğine yönelik “çiftlikten sofraya” ve “tek sağlık” yaklaşımları ile, ortaya çıkan bu tehditler ve yeni gıda güvenliğinin tehlikelerinin ortaya çıkmasının ve yayılmasının sebeplerini izlemek ve kapsamlı bir şekilde karakterize etmek için hızlı ve güvenilir yöntemlere ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. Böylesine kapsamlı bir yaklaşım sayesinde, ilgili risklerin değerlendirilmesi, azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve gelecekteki gıda kaynaklı halk sağlığı tehditlerinin tahmin edilmesi, önlenmesi ve kontrolüne izin vereceği düşünülmektedir (Balçık, 2008).

"Gıdanın kimyasal kontaminasyonu" konusu ile ilgili olarak; bazı kimyasalların toksisiteleri ve bunlara maruz kalma miktarlarındaki aşırılık insan ve çevre sağlığı açısından önemli bir tehdittir. Gıda, insanların bu istenmeyen kimyasallara maruz kalmasının başlıca kaynaklarından birisidir. Gıda tedarik zincirinde, kimyasalların gıdalla temas edebileceği, birincil üretimden nihai tüketime kadar birçok adım bulunmakta ve gıda maddelerinin güvenliğini değerlendirmek için tüm süreç boyunca çok sayıda maddenin kontrol edilmesi gerekmektedir. Kapsamlı mevzuat yapısı ve izleme çabasına rağmen henüz tespit edilmemiş, üzerinde çalışılmamış veya düzenlenmemiş birçok kimyasal madde bulunmaktadır. Bu bilinmeyen ve ortaya çıkan kirleticiler gerçekten de insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturabilmektedir. Ayrıca bu kirleticilerin gıda matrisi içindeki diğer bileşenler ile birlikte etkisi ile çevrede veya gıda işleme sırasındaki açığa çıkan bozunma ürünlerinin etkisi çok iyi araştırılmalıdır. Kimyasal tehlikeler, disiplinler arası bir yaklaşım gerektiren önemli bir gıda güvenliği sorunudur. Ortak hareket edilerek potansiyel riskler hakkındaki bilgilerin geliştirilmesi ile birlikte gıda ve çevrenin güvenliğini sağlayacak, tüketicinin güvenliğini kazanacak, riskleri en aza indirecek yeterli önlemler oluşturulmalıdır (Balçık, 2008).

"Gıdalla ilgili risklerin tüketicilere iletilmesi" konusu ile ilgili olarak; EFSA, gıda kaynaklı salgınların yaklaşık %40'ı evde meydana geldiğini ve çoğunlukla da yetersiz sıcaklık ve kötü hijyenden kaynaklandığını belirtmektedir. Risk analizinin temel

unsurlarından biri olan risk iletişimi, tüketici kaynaklı gıda kaynaklı tehlikelerin etkin yönetimi ve kontrolünde son derece önemlidir. Ancak mevcut yöntemler gıda riskini halka duyurmada hala yetersiz kalmaktadır. Örneğin, Campylobacter türlerinin yayılmasını önlemek için tavuğun yıkanmaması gerekliliği veya hamile kadınların listeriyoz riskine karşı yumuşak peynirleri ve diğer yüksek riskli gıdaları tüketmemeleri gerekliliği ile ilgili bilgilendirmeler hala yetersiz kalmaktadır. Bu durum tüketici davranışlarını etkilemek ve dolayısıyla gıda risklerini azaltmak için yeni ve etkili risk iletişim stratejilerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Balçık, 2008).

Tüketicileri evde gıda güvenliğini uygulama ihtiyacı konusunda uyarmak da dahil olmak üzere gıda kaynaklı hastalıkların yükünü azaltmak için dünya çapında çeşitli girişimler başlatılmıştır. Tüketicilerdeki risklerin azaltılmasına yardımcı olmak ve gıda kaynaklı hastalıklardan kaynaklanan sağlık yükünü azaltmak için etkili, bilime dayalı ve sürdürülebilir stratejiler sağlamayı amaçlayan çok disiplinli projeler ile gıda otoriteleri, piyasa aktörleri ve araştırma toplulukları ortak hareket etmektedir (Balçık, 2008).

Sonuç olarak günümüzde küresel iklim değişiklikleri, mevcut kaynakların daha verimli kullanılması, gıda yan ürünlerinin dönüştürülerek yenilerinin elde edilmesi, tüketicinin satın alma davranışlarındaki değişiklikler, hızlı tüketim alışkanlıkları, dijitalleşmenin artması ile birlikte yeni gıda güvenlik tehditlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Küresel zorluklardan güvenli besin maddelerine, ortaya çıkan kirleticiler ve mikroplara kadar, gıda güvenliğini yönetmede yeni çözümlere ve yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Tehditler sürekli değiştiğinden ve gıda güvenliği ihlalinin olası sonuçlarının çok büyük olmasından dolayı gıda güvenliğini ve güvencesini sağlamak hiç bitmeyecek bir iş olarak düşünülmelidir (Turantaş ve Ünlütürk, 1998).

Tarladan çatala kadar olan süreçteki tüm paydaşların sorumluluklarını takibi için geriye dönük izlenebilirliği sağlayacak gıda güvenliği yönetim sistemlerinin mevcut teknolojik araçlar ve uygulamalar vasıtasıyla uyumlu olarak hareket etmesinin sağlamak sürdürülebilir bir üretim için vazgeçilmez bir durumdur. Güvenli gıda arzındaki bu döngüde kıt kaynakların verimli kullanılması yanında çevreye zarar vermeden yapılacak üretim modelleri de küresel bir beklenti haline gelmiştir.

Toplumsal bu hassasiyetten dolayı ulusal ve uluslararası mevzuat ile düzenlenme çalışmaları devam etmektedir (Turantaş ve Ünlütürk, 1998).

ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından yapılan anketler, tüketim eğilimlerinin ve satın alma modellerinin büyük ölçüde küreselleşmiş, dijitalleşmiş bir dünya tarafından yönlendirildiğini göstermektedir. Gelecekte ürünlerin daha kullanışlı, daha kişiselleştirilmiş ve daha sürdürülebilir olması ile küçük toplu üretim, kişiselleştirilmiş seçenekler için artan talepleri karşılamak için büyük olasılıkla artacaktır. Sonuç olarak, Endüstri 4.0, akıllı üretim, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ve bağlantılı üretim fikri giderek daha yaygın hale geliyor. Gıda üreticilerinin bu teknolojik değişime ayak uydurması, üretim süreçlerini otomatikleştirmek için robotları, makine bakımları için sanal gerçekliği, daha iyi izlenebilirlik ve daha hızlı müdahale için izleme teknolojisi kullanılması ile gerçekleşmektedir (Turantaş ve Ünlütürk, 1998).

Dijitale geçiş, gıda güvenliğini dönüştürmenin, gıdayı güvenli ve kullanılabilir hale getirmenin olumlu bir yolu olarak görülmektedir. Akıllı üretim teknolojileri potansiyel gıda güvenliği sorunlarının üstesinden gelmek için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Çünkü tam entegre işbirlikçi sistemler sayesinde değişen talepleri ve koşulları karşılamak için fabrikalara gerçek zamanlı olarak yanıt verilebilmektedir. Akıllı üretim teknolojilerinin en büyük bir etkiye sahip olduğu bir alan, blok zincir teknolojisinin (işlem / veri dağıtımı / paylaşma ve doğrulama kaydı) kullanılmasıdır. Bununla birlikte tedarik zinciri boyunca gıda güvenliği ve şeffaflığa olan güven, izlenebilirliği hem tüketiciler hem de üreticiler için çok daha kullanışlı hale gelebilmektedir (Turantaş ve Ünlütürk, 1998).

Daha sağlıklı ve kaliteli bir yaşam sürdürebilmek için yeterli ve dengeli ve güvenli gıda ile beslenme önemli rol oynamaktadır. Süt ve süt ürünleri grubunda günlük beslenme düzeninde yer alan temel protein, kalsiyum, fosfor, B2 vitamini ve B12 vitamini olmak üzere birçok besin ögesinin önemli kaynağı olmalarından dolayı insan beslenmesinde önemli yeri olan ürünlerdir. Ayrıca zihinsel ve fiziksel gelişim açısından büyük önem arz etmektedir (Giray ve Soysal, 2007). Türkiye Çizelge 2.3'te görüldüğü gibi süt üretiminde 2020 yılı USK (Ulusal Süt Konseyi) Raporu'na göre 21,7 milyon ton ile dünyada lider ülkeler arasında 8. sırada yer almaktadır. Son yıllarda süt sektöründe yatırımların hızla arttığı; küçük aile işletmelerinden oluşan üretim yapısının zamanla yerini gelişmiş entegre tesislere bıraktığı görülmektedir. Bu durum

üreticileri daha düşük maliyet yapılarına, inovasyona, kalite artışına ve ürün çeşitliliğine yönlendirmektedir (Giray ve Soysal, 2007).

Çizelge 2.3 : İnek sütü üretiminde lider ülkeler- 2020 (USK, 2022).

Sıra	Ülke	2020 (milyon ton)
1	AB-28	170,1
	Almanya	33,2
	Fransa	25,1
	Birleşik Krallık	15,7
	Polonya	14,8
	Hollanda	14,2
2	Hindistan	104,5
3	ABD	101,3
4	Brezilya	36,7
5	Çin	34,4
6	Rusya	32,2
7	Yeni Zellanda	22,0
8	Türkiye	21,7
9	Pakistan	18,7
10	Meksika	12,9

Küresel boyutta yaşanan çevresel, ekonomik ve sosyal değişimler ülkeler ve şirketlerin artan rekabet koşullarında süreklilik sağlayabilmeleri adına Ar-Ge faaliyetlerine ağırlık vererek çeşitli stratejiler geliştirmelerini gerekli kılmıştır (Bulut ve Akçacı, 2017). Ar-Ge faaliyetleri ile firmalar müşterilerin talepleri doğrultusunda standart, kaliteli ve çeşitli ürünler üreterek uluslararası pazarda rekabet imkanı bulmakta, sektöründe öncü ve yenilikçi firma olarak daha hızlı büyümekte ve ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır (Badrie ve diğ, 2018). Günümüzde, gıda sanayisinde gerçekleşen inovasyonlar yalnızca ürünlerle kısıtlı kalmayıp, aynı zamanda süreç, şirket yapısı, kapasite vb. tüm gıda zincirlerini doğrudan etkilemektedir. Değişen tüketici davranışları ve özelleşen ürünlere artan talep ürünlerin tam otomatik sistemlerle standart imalat sürecinde üretilmesini zorunlu hale getirmiştir (Bulut ve Akçacı, 2017).

Tüm sektörlerde olduğu gibi gıda sanayinde de sürdürülebilir üretim ve küresel rekabetin sağlanabilmesi için yeni teknolojilerin takip edilmesi ve geliştirilmesi adına Ar-Ge ve inovasyon temel zorunluluktur (Badrie ve diğ, 2018). Yapılan çalışmadan

elde edilen sonuçların anlamlı ve tatmin edici seviyede olması, Endüstri 4.0 faaliyetlerinin başta gıda sektörü olmak üzere endüstriyel boyutta üretim yapan ve her daim gelişen teknolojiye uyum sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlamayı hedefleyen tüm firmalara uygulanabilirliğinin bir göstergesidir. Bu anlamda teknolojiyi yakından takip eden firmalar gerçekleştirdiği uygulamalarla diğer firmalara örnek teşkil edecektir. Çizelge 2.4'te gıda işletmelerinde Endüstri 4.0 sürdürülebilirliği için SWOT analizi verilmiştir).

Çizelge 2.4 : Gıda işletmelerinde Endüstri 4.0 sürdürülebilirliği için SWOT analizi (Bulut ve Akçacı, 2017).

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
EN- Gıdanın işlenmesinde enerji tasarrufu	EC- Yatırım ihtiyacı
EN- Optimize edilmiş çevresel performans	EC- Ar-Ge içim bütçe ihtiyacı
EC- Daha düşük üretim maliyeti	SO- Değişiklik yönetimine direnç
EC- Çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi	EN- Bazı teknolojilerin çevresel ekonomik faydası arasındaki dengesizlik
SO- Gıda işleminde yüksek sağlık ve güvenlik düzeyi	
SO- Operatör için daha iyi çalışma koşulları	
Fırsatlar	Tehditler
EC- Daha iyi Pazar payı	EC- Yatırım getirisindeki yavaşlık
Ec- Yeni iş modelleri	EC- Bazı teknolojilerden kaynaklanan gıda güvenliği tehlikesi
Ec- Rekabet avantajı	EC- Tüketicilerin yeni gıda teknolojilerine şüpheli yaklaşımı
SO- Yüksek markalaşma	EC- Bazı gıda ürünlerine olan talebin öngörülemiyor olması
SO- Sıfır atık çalışması	EC- Tüketicilerin satın alma davranışının değiştirme ihtiyacı
	SO- Operatörler arasında bilgi eksikliği

2.7 Endüstri 4.0 Teknolojisinin Gıda Sektöründe Uygulamaları

İklim değişikliği, dünya nüfusundaki artış, yüksek düzeyde gıda israfı ve gıda kaybı ve yeni hastalık veya salgın salgın riski, gelecekteki gıda sürdürülebilirliğini ve gezegenin güvenliğini tehdit eden ve acilen ele alınması gereken birçok soruna örnektir. Dördüncü endüstri devrimi veya Endüstri 4.0, 2015'ten bu yana ivme kazanmakta ve sürdürülebilir kalkınma için önemli bir itici güç ve kritik küresel zorlukların üstesinden gelmede umut vaat eden bir gelişme olarak görülmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojileri, gıda endüstrisini önemli ölçüde değiştirmiş ve çevre, ekonomi ve insan sağlığı için önemli sonuçlara yol açmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerin her birinin önemine rağmen çığır açıcı sürdürülebilir çözümler ancak birçok teknolojinin aynı anda bir araya gelmesiyle ortaya çıkabilmektedir. Gıda Endüstrisi 4.0 dönemi gün geçtikçe gıda üretimi ve tüketim modellerine yönelik mevcut stratejileri ve beklentileri yeniden şekillendiren ve Endüstri 5.0'a doğru ilerlemenin yolunu açan yeni zorluklar, fırsatlar ve trendlerle karakterize edilmiştir (Hassoun ve diğ, 2022).

Dünya, yenilikçi çözümlere ve sürdürülebilir gıda sistemlerine ihtiyaç duyan zorlu sağlık, demografi ve beslenme krizleriyle karşı karşıyadır. Gerçekten de, küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, kirlilik, biyoçeşitlilik kaybı, gıda üretimi için ormansızlaşma, aşırı avlanma, önemli miktarda gıda israfı ve kaybı, dünya nüfustaki hızlı artış ve yeni hastalık riski gibi mevcut önemli zorluklarla mücadele etmenin yanında pandemik salgınlar (COVID-19) gibi tüm dünyayı etkileyen durumlar işleri dahada zorlaştırmaktadır. Tüm bunlara karşın yeterli gıdayı güvence altına almak için yenilikçi, sürdürülebilir ve pratik çözümler gerektirmektedir. Bir ikilem, gıda endüstrisinin halihazırda iklim değişikliğine en önemli katkıda bulunanlardan biri olmasına rağmen, artan nüfusun artan gıda talebini karşılamak için gıda üretiminin artırılması gerektiğidir. Bu nedenle, birçok gıda imalat endüstrisi son zamanlarda çeşitli sürdürülebilir teknolojileri benimseme ve yenilik yapma ve yüksek verimlilik ve performans standartlarını karşılama konusunda benzeri görülmemiş bir baskı altındadır (Hassoun ve diğ, 2022).

Dördüncü endüstri devrimi veya Endüstri 4.0 (hatta kısaltılmış haliyle I4.0), gıda endüstrisi de dahil olmak üzere birçok sektörde ivme kazanıyor. Şekil 2.13'de verilen akademik literatür verileri detaylı analiz edildiğinde, 2015-2022 yılları arasında "industry 4.0 + food" anahtar kelimeleri ile ilişkili makale sayısı 2015 yılında 10'larda iken 2022 yılında bu sayı 600'un üzerine çıkmıştır (Hassoun ve diğ, 2022).

Aynı dönemde atıf sayısında da keskin bir artış gözlemlenmiştir. Bu, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve dijital çözümlerin gıda sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliğine katkıda bulunma potansiyeline ilişkin farkındalığın artmasıyla açıklanabilir. Ek olarak, devam eden COVID-19 krizi, tüm gıda tedarik zinciri boyunca dijital teknolojilerin benimsenmesini önemli ölçüde hızlandırmıştır (Hassoun ve diğ, 2022). Gıda endüstrisi sektöründe, gıda güvenliği, gıda kalitesi ve gıda izlenebilirliği gibi gıda değer zinciri

sistemlerinin farklı yönlerini iyileştirmek ve daha yüksek performans sağlamak için blok zincir teknolojisi kullanılabilir (Hassoun ve diğ, 2022).

I4.0 dönemi, tedarik zincirinin tüm aşamalarında robotik ve akıllı sensörler gibi en son teknolojilerin uygulanması nedeniyle endüstriyel üretim süreçlerinde oldukça otonom akıllı sistemler ile karakterize edilmiştir. Robotik ve otonom sistemler, sürdürülebilir kalkınmayı iyileştirmek ve gıda tedarik zincirinin kalitesini, üretkenliğini ve etkinliğini artırmak için umut vaat eden teknolojiler olarak gelişmektedir. Akıllı sensörler, izlenebilirliği ve gıda kalitesini iyileştirmenin yanı sıra birden fazla üretim görevini gerçek zamanlı olarak akıllı bir şekilde kontrol etmek, izlemek ve optimize etmek için gıda endüstrisinde çeşitli üretim ekipmanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Örneğin, spektroskopiye dayalı optik sensörler, gıda kalitesini, orijinalliğini veya gıda işlemeyi izlemek için elektromanyetik radyasyon frekansındaki değişiklikleri tespit etmek için giderek daha fazla uygulanmaktadır (Hassoun ve diğ, 2022).

Dijital ikizler ve siber-fiziksel sistemler (CPS), Endüstri 4.0'ın önemli dijital unsurları olarak son yıllarda popüleritesini artırmaktadır. Dijital ikiz, bilgisayar simülasyonunu gerçek operasyonlara dahil eden yenilikçi bir simülasyon teknolojisidir. Ortaya çıkan bu teknoloji, örneğin, raf ömrünü uzatmak ve gıda kayıplarını azaltmak, gelecekteki gıda ürününün kalitesini ve güvenliğini tahmin etmek ve ürün ve süreçlerin tasarımını ve kontrolünü iyileştirmek için kullanılabilir. Uygulama alanına bağlı olarak literatürde başka birçok tanım bulunabilmesine rağmen CPS, hesaplamalı ve fiziksel süreçlerin entegrasyonunu ifade eder. CPS, Endüstri 4.0'ın temellerinin bir parçası olarak kabul edilir ve hatta bazı yayınlarda Endüstri 4.0 ile eşanlamlı olarak kabul edilir (Hassoun ve diğ, 2022).

Gıda endüstrisinde Endüstri 4.0 hakkında mevcut inceleme belgeleri sınırlıdır, ancak bazı yeni yayınlar bu geniş konuyu gıda sisteminin farklı noktalarında ele almıştır. Örneğin yapılan bazı çalışmalarda termal olmayan gıda işleme teknolojilerine odaklanan bazı Endüstri 4.0 platformlarını (AI, büyük veri ve akıllı sensörler gibi) gözden geçirmektedir. Gıda endüstrisindeki belirli Endüstri 4.0 teknolojilerine kısa bir genel bakış da yine aynı çalışmalarda yer verilmiştir. Bu çalışmalarda meyve ve sebzeler için hasat sonrası tedarik zincirindeki gıda kayıplarını en aza indirecek araçlar olarak akıllı dijital teknolojiler ve IoT önerilmektedir. Başka bir inceleme makalesinde yakın zamanda blok zincir, izlenebilirliği ve tüketici güvenliğini artırmak ve tüm gıda

tedarik zinciri boyunca gıda israfını ve kaybını azaltmak için umut verici bir çözüm olarak önerilmiştir (Hassoun ve diğ, 2022).

Gıda Endüstrisi 4.0 teknolojiler ve ilişkili dijital dönüşümler arasında yapay zeka (AI), makine öğrenimi (ML), büyük veri ve analitik, bulut, nesnelerin interneti, blok zinciri, akıllı sensörler ve robotik, dijital ikizler ve CPS yer almaktadır (Hassoun ve diğ, 2022).

Mevcut I4.0 öncelikle internet, tam otomasyon ve dijital teknolojilerle entegrasyon merkezli yüksek teknolojik gelişmelerle adını duyurmuştur. Devam eden bu devrim, fiziksel, dijital ve biyolojik bileşenleri birleştirir ve sektör paydaşlarına gerçek zamanlı olarak bilgi vermektedir. Ayrıca seri üretimin otomasyonu, özelleştirme ve bireysel müşteri isteklerini içerecek şekilde optimize edilmesine izin vermektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte gelişmiş dijital teknolojiler bir yandan gıda endüstrisinde üretkenliğini ve operasyonel verimliliğini artmasına izin verirken, diğer yandan gıda tedarik zincirinde bazı aksamalara ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

2.7.1 Gıda sanayinde endüstri 4.0 teknolojileri

Yüksek düzeyde ürün çeşitleri, katı gıda güvenliği gereklilikleri ve sürekli değişen yönetmelikler nedeniyle, Endüstri 4.0'ın yiyecek ve içecek sektöründe benimsenmesinin otomobil, havacılık ve yarı iletken endüstrilerinde olduğu kadar ilerici olması bekleniyor. Günümüz tüketicisinin daha yoğun yaşam tarzı ve kalite konusundaki artan farkındalığı, gıda tercihlerini ve satın alma davranışlarını değiştirmiştir. Müşteri, kısa sürede daha geniş bir ürün yelpazesi ve giderek daha fazla özelleştirilmiş ürün talep ediyor. Bu nedenle, gıda şirketlerinin esnek kalarak, daha hızlı yanıt vererek, verimli bir şekilde üreterek ve gerekli kaliteyi sunarak rekabetçi ve güçlü kalabilmeleri önemlidir. Bu tür gereksinimler, Endüstri 4.0'daki teknolojik ilerleme ile uygulanabilir. Bu teknolojiler, iş modelini sırayla değiştiren, üretim süreçleri için yeni bir ortam sağlayan ve yenilikleri teşvik eden gıda tedarik zincirindeki kuruluşlar arasında veri bağlantılarını, toplamaları ve analizleri mümkün kılar. Verimlilik artışı, toplu kişiselleştirme ve gelir artışı gibi avantajlar beklenebilir. Aslında, büyük ölçüde uygulamalı becerilerin ve üretim katındaki fiziksel görevlerin hakim olduğu gıda sektöründeki mevcut işgücünün profili, yerini yavaş yavaş yaratıcılık, karmaşık problem çözme ve eleştirel düşünme gibi bin yıllık becerilere bırakabilir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Akıllı üretim

Endüstri 4.0'da en büyük gerçekleşme, siber-fiziksel sistemler, IIoT ve bulut bilişim uygulamaları kullanılarak sanal ve fiziksel (gerçek) dünyaların iç içe geçmesiyle ortaya çıkan “Akıllı Fabrikalar” olacaktır. Buradaki fikir, tüm üretken birimlerin tutarlı bir şekilde sayısallaştırılmasını ve birbirine bağlanmasını sağlamaktır. Üretim ortamı, üretim hatlarının otomatikleştirildiği ve makinelerin birbirleriyle iletişim kurabildiği, belirli bir düzeyde üretim sorunlarını analiz edip anlayabildiği ve minimum insan müdahalesi ile bunları çözebildiği şekilde öngörülmüştür (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Eksiksiz bir digitalleşmede gıda fabrikasının kat etmesi gereken çok yol var gibi görülmekte, Endüstri 4.0 teknolojilerini kucaklayan birçok fonksiyon uygulanmaktadır. Bunlar, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), Üretim Yürütme Sistemi (MES), Gıda Kalite Güvencesi, Araştırma ve Geliştirme, Tesis Yönetimi ortak bir gıda işletmesinde bulunan birçok departmandır. Örneğin üretimde makinelerin mevcut süreci izleyip analiz edebildiği, sapmayı tespit edebildiği ve operatörlerin müdahalesi olmadan düzeltici eylem olarak gerekli ayarlamaları tetikleyebildiği bir süreç izleme ve kontrolü otomatikleştirilebilir. Aslında, yapay zeka teknolojisi, makinelerin toplanan veri kümeleri aracılığıyla geçmiş deneyimlerden öğrenmesine ve çevreden gelen yeni girdilere uyum sağlamasına, insan benzeri görevleri yerine getirmesine ve gelecekteki optimizasyon için girdileri ezberlemesine olanak tanır (Hasnan ve Yusoff, 2019).

2.7.1.1 Büyük veri, makine öğrenmesi ve yapay zeka

Derin öğrenme, makine öğreniminin önemli bir alanı olup güçlü özellik öğrenme yeteneklerine sahip çok katmanlı yapay sinir ağlarından (YSA) oluşmaktadır. Derin öğrenme verilerin özelliklerini manuel olarak çıkarmaya gerek kalmadan karmaşık verilerden özelliklerin tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Gıda endüstrisindeki başarılı derin öğrenme uygulamalarının çoğu görüntü analizini içermektedir, ancak son çalışmalar derin öğrenmenin spektroskopik verileri önceden işleme ihtiyacını ortadan kaldıracıcağını da göstermektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

Big data verilerinin saklandığı alanlar olan bulut kısaca verileri birden çok sunucuda depolamak için kullanılan yeni dijital altyapı sistemleridir. Bu sistemlerin, kolay paylaşım, bilgiye gerçek zamanlı erişim ve verilerin depolanmasından ve yönetiminden yalnızca bir barındırma şirketinin sorumlu olması nedeniyle düşük maliyet gibi birçok avantajı vardır. Bulut alt yapısı kullanan şirketler karbon ayak

izlerini azaltabilmektedir. Ancak iletişim ağı alt yapısında olası yetersizlik veya arızalar, buluta erişimde gecikmelere bu da bazı sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca bu sistemler güvenlik ve mahremiyet konularına ilişkin endişeleri de beraberinde getirmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

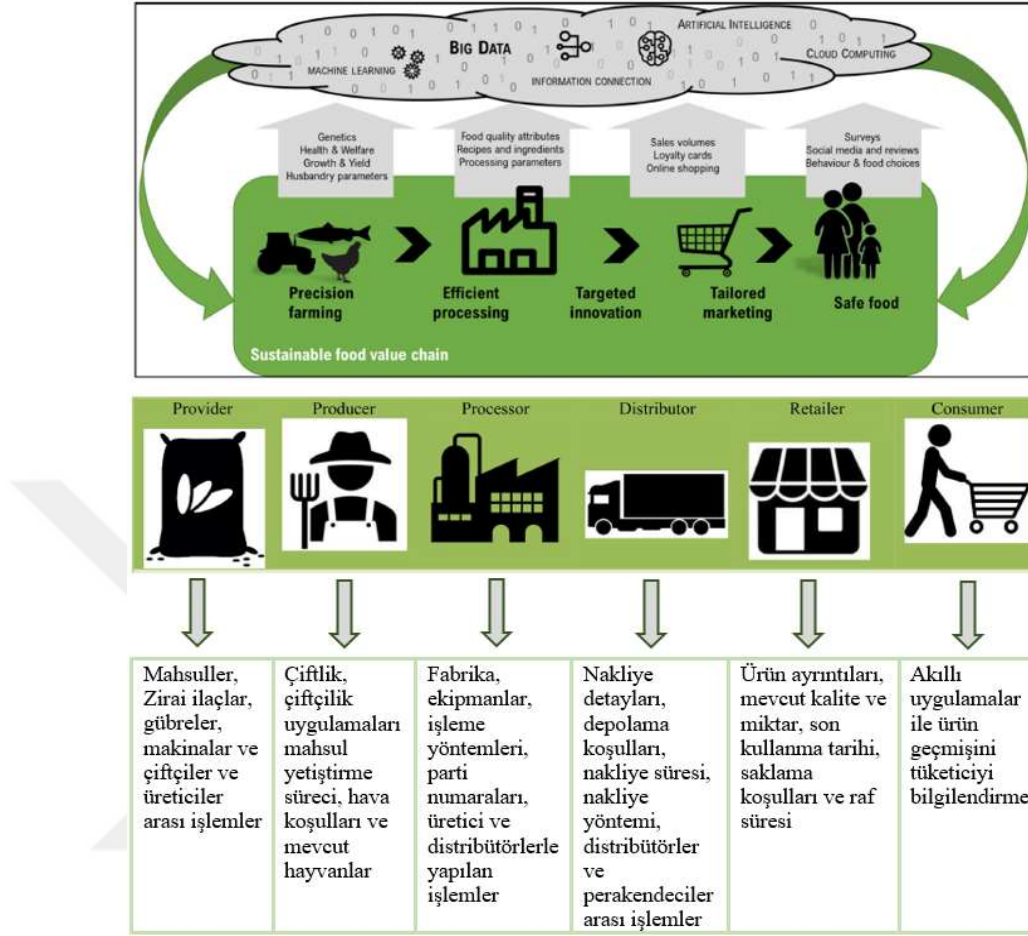
Şekil 2.21’de gıda değeri zinciri boyunca veri kaynaklarına ve veriye dayalı çözümlere ilişkin geniş bir genel bakışı göstermektedir. Gıda zincirindeki veriye dayalı uygulamaların çoğu, araç tarafından üretilen verilere odaklanır, ancak metin ve işlem verileri gibi yeni veri akışlarını kullanan çözümlerin çoğu, yerel veya dahili verileri, yani uygulamaya yakın oluşturulan verileri kullanır. Diğer çözümler, farklı veri kaynaklarının bir kombinasyonuna dayanır. Bu tür çözümler, dijital altyapı, veri güvenliği ve veri sahipliği ile ilgili çeşitli sorunlar nedeniyle henüz gelişme aşamasındadır (Hassoun ve diğ, 2022).

Veri ve yapay zeka kullanılarak çözülen gıda alanı sorunları

Hassas tarım: Makine öğrenimi ile birleştirilmiş devasa veri kümeleri, üreme ve genetik alanında on yıllardır kullanılmaktadır. Buna rağmen, seçilen organizmanın birçok üyesinin kapsamlı fenotiplemesi için akıllı sensörlerle birleştirilen modern biyoteknolojiler (genomik, transkriptomik, metabolomik ve proteomik gibi), bitki ve hayvanların daha verimli ve hedefli üremesini sağlamaktadır. Veriye dayalı çözümler, çiftçilikle ilgili birçok operasyonel zorluğu da çözebilmektedir. Örnek olarak verim iyileştirme, optimum hasat zamanına karar verme, verimli besleme, verimli gübreleme, iyileştirilmiş sağlıklı bir ortam ve gelişmiş çevre yönetimidir (Hassoun ve diğ, 2022).

Gıda işleme: Gıda işleme, birçok yönden IR4 teknolojilerini kullanabilmektedir. Proses esnasında elde edilen verileri Proses analitik teknolojisi (PAT), gelişmiş proses kontrolü (APC), model tahmine dayalı kontrol (MPC) ve istatistiksel proses kontrolleri (SPC) ile verimliliği artırmak, israfı azaltmak ve ürün sağlamak için önemli kalite özelliklerini izlemeyi ve kontrol etmeyi amaçlayan veri değerlendirme ve anlamlandırma çözümleridir. Makine öğrenimi ve yapay zeka, tüm bu kontrol kavramlarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve gıda endüstrisinin birkaç kolu tarafından başarılı kullanım örnekleri rapor edilmiştir. Süreci ve ürünü optimize etmenin yanı sıra, benzer bir metodoloji işleme ekipmanını izleyerek kestirimci bakım

gibi kavramlara yol açabilmektedir. Bu konu gıdaya özgü bir konu değildir ve bu nedenle burada daha fazla ele alınmayacaktır (Hassoun ve diğ, 2022)



Şekil 2.21 : Gıda değer zincirinde veri kaynağı ve bilgi akışı (Hassoun ve diğ, 2022).

İnovasyon ve ürün geliştirme: Sürekli yeni ürün geliştirmenin gıda endüstrisinde rekabet gücünü tetiklediği düşünülmektedir. Son araştırmalar, yapay zekanın Ar-Ge maliyetlerini azaltabileceğini ve yeni ürünler için başarı oranını artırabileceğini göstermiştir. Çeşitli araştırmalarda ilk yaklaşım, sosyal medya ve çevrimiçi toplulukların metin madenciliğinin, tüketici ihtiyaçlarını ve yeni ürün fikirlerini otomatik olarak belirlemek için kullanılabileceğini bildirmektedir. Ayrıca, duyuşal özellikler, beslenme ve raf ömrü gibi öngörülebilir kalite niteliklerini optimize ederek formülasyonların ve proses koşullarının otomatik olarak oluşturulması üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır. İkinci yaklaşım, hibrit modellemenin, yani makine öğrenimi ve mekanik modellerin bir kombinasyonunun kullanılmasından yararlanmaktadır (Hassoun ve diğ, 2022).

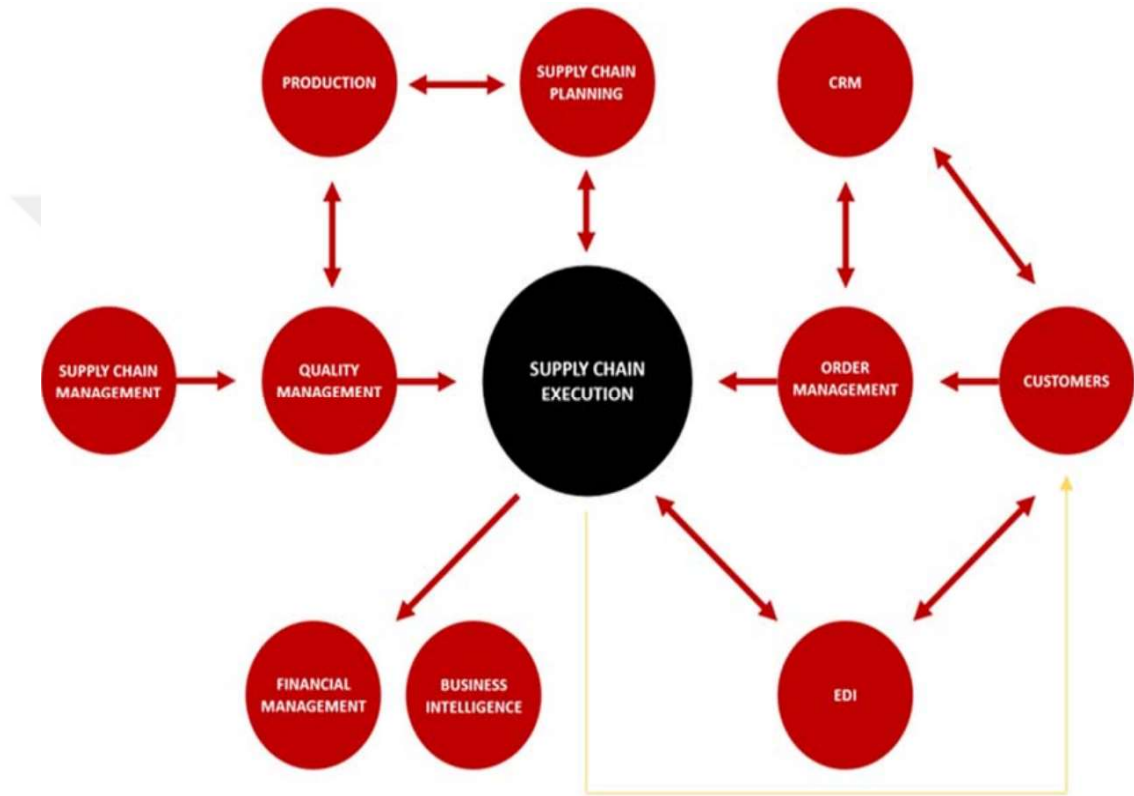
Özelleştirilmiş Sipariş: Endüstri 4.0'ın temel amacı, bireysel müşteri ihtiyaç ve tercihlerini gerçekleştirmektir. Bu, sipariş yönetimi, ürün tasarımı, araştırma ve geliştirme, devreye alma, sevkiyat, kullanım, ürünlerin geri dönüşümü ve diğer ilgili hizmetler gibi alanları etkilemiştir. Müşteri gereksinimlerindeki artan bireysellik ile birlikte, eklemeli üretim teknolojileri veya 3D yazıcılar, odağını gıda üretimine de çevirmiştir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

En temel prensipte, ürünler bir 3D gıda yazıcısı tarafından üretilmekte; burada hammaddeler, tarife, yapılandırılmış şekle ve düzene göre sıralı bir süreçte katmanlar halinde biriktirilmektedir. Bağlayıcı yazıcılar adı verilen daha yeni bir 3D yazıcı kategorisi, malzemeleri bir tür yenilebilir çimento ile birbirine yapıştırabilir. En yeni nesil 3D gıda yazıcıları, özelleştirilmiş desenli çikolata veya geometrik olarak farklı hamur işleri üretmek için toz halindeki malzeme üzerinde çalışan nozüller, lazerler, şırınga ve robotik kollar içeren çok daha yüksek teknoloji ürünüdür. Diğer olası özelleştirmeler tat, besin içeriği, doku ve rengi içermektedir. Gıda endüstrisindeki 3D yazıcılara örnek olarak Natural Machines'den Foodini, 3D Systems'den Chef Jet ve CocoJet, Barselona merkezli Natural Foods'tan Choc Edge, De Grood Innovations'tan Foodjet, RIG'den Foodform 3D, Choc Edge'den Choc Creator, Essential Dynamics'ten Imagine 3D printer verilebilir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Teknoloji, kişiselleştirilmiş ürünler üretme olanağını açtı ve bu nedenle şirketlere, özel ürünler satın almaktan zevk alan veya sağlık için özel bir diyet gerektiren müşterilere göre ayarlanmış yeni bir pazar fırsatı sunmaktadır. İşleme görünümünde, eklemeli imalat, karmaşık bir geometriye sahip veya zahmetli montaj gerektiren ürünler üretmek için potansiyel bir çözümdür. Ekipmanın kendisi açısından bakıldığında, 3D gıda yazıcıları, kullanıcıların evde hızlı bir şekilde taze yemekler yapabildikleri 70'lerdeki mikrodalgada olduğu gibi benzer bir atılım yapma potansiyeline sahiptir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Gıda güvenliği: Bouzembrak ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, gıda güvenliği ve büyük veri anahtar kelimeler ile belirlenen makaleler bibliyometrik ağ analizi kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2.22'de makale özetlerinin ve başlıklarının eşzamanlı ağ görselleştirmesi görülmektedir. Ağda, her daire bir terimi temsil etmektedir. Bir dairenin boyutu, başlıklarda ve özetlerde ilgili terime sahip yayınların sayısını göstermektedir. Çokça birlikte ortaya çıkan terimler, ağda birbirine yakın konumlandırılmıştır. İlgili yayınların özetlerinde ve başlıklarında terimler dört önemli

işlenebilmesi için önceki katmanın verilerini ileten ve hazırlayan etkinleştirici kategorisi ile işlenmektedir. Her zaman ve her yerde iletişime izin veren iletişim altyapılarındaki iyileştirmeler, araçlar ve mobilite uygulamaları ile bulut bilişim, tesisin altyapısının korunmasına olanak tanıyan siber güvenlik araçlarının kullanıldığı bu ikinci dijital kolaylaştırıcı katmanını şekillendiren teknolojilerdir (Hassoun ve diğ, 2022). Şekil 2.23’de tedarik zincirinin yürütülmesini sağlayan faktörler verilmektedir.



Şekil 2.23 : Tedarik zincirinin yürütülmesini sağlayan faktörler (Luque ve diğ, 2017).

Artırılmış Gerçeklik (AR), gıda endüstrisindeki pazarlama segmentini yeniden şekillendirebilen bir teknoloji olarak ifade edilmektedir. Yerleşik kameralar, sensörler, bilgi işlem kaynakları ve mobil bulut bilgi işlemdeki mevcut mobil teknoloji iyileştirmeleriyle, mobil cihazlarda AR'ye sahip olmak artık mümkün. Teknoloji, tüketicinin ürünle kişisel olarak ilgilenmesini desteklemekte ve ürünleri sanki tam önlerindeymiş gibi yakından incelemelerini sağlamaktadır. Tüketici, canlı kamera aracılığıyla gıda ürünlerinin görüntüsünü algıladığından, fiyat, kalori ve ölçü bilgilerini görebilmektedir. Ayrıca yiyeceklerle oyun oynanabilmekte, deneyler yapılabilmekte ve Starbucks'ta olduğu gibi mevcut promosyonlar hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bu avantaj, lojistik, kaynaklar, reklam malzemeleri ve pazarlama

personeli açısından maliyetleri düşürmenin yanı sıra, çoklu pazarlama oturumunun hazırlanması için harcanan emek ve zamandan da tasarruf sağlamaktadır. Teknoloji, pazarlama için avantajlı gibi görünsede, aynı zamanda, geleneksel satın alma sonrası anketi yapmak zorunda kalmadan, müşteri davranışı ve geri bildirimleri hakkında anlık veriler saklanmaktadır. Ek olarak, AR kullanımı, şirketlerin tüketicileri gıda ürünleri hakkında eğitmelerine de olanak sağlamaktadır (Hasnan ve Yusoff, 2019).

2.7.1.2 Akıllı sensörler ve robotik uygulamalar

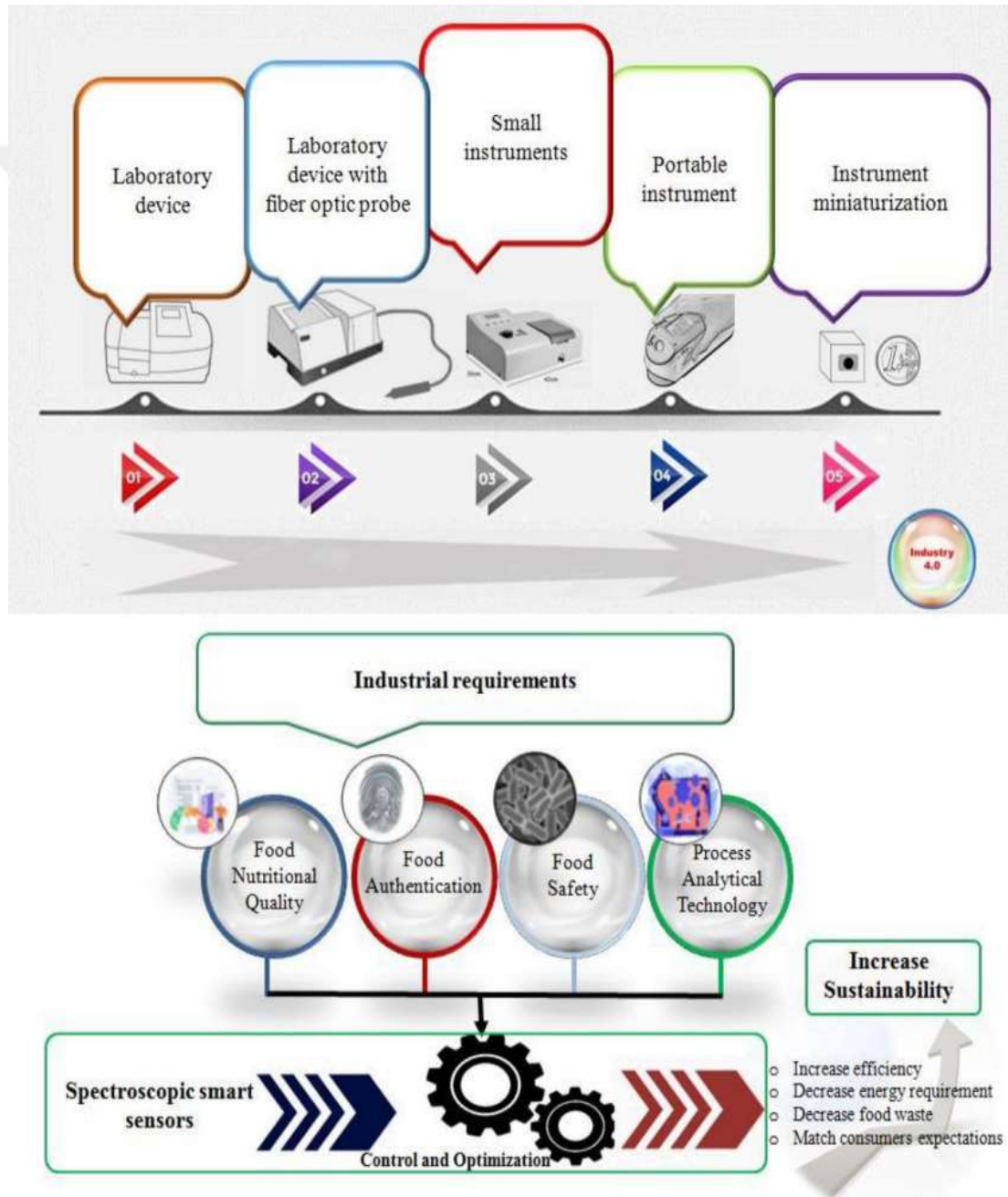
Endüstri 4.0'ın vaatlerini tam olarak gerçekleştirmek, gıda tedarik zinciri boyunca gerçek zamanlı izleme ve ölçümler yapmayı gerektirmektedir. Bu da sürekli üretim sırasında kritik parametreleri ölçerek tedarik zincirini izleyebilen sensörleri gerektirmektedir. Nanobiyoteknoloji, nanosensörler ve biyosensörlerdeki son gelişmelerle birlikte çevre, medikal, tarım ve gıda endüstrisi sektörleri gibi birçok alanda çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerindeki (örneğin, büyük veri ve dijital ikizler) yenilikler, dijital algılama teknolojilerinin büyümesini ve gelişmesini, daha yüksek düzeyde zeka ve iletişim yetenekleri sunmasını sağlamıştır. Gıda tedarik zinciri boyunca çok kaynaklı verileri izlemek ve toplamak için çeşitli optik spektroskopik ve spektroskopik olmayan sensörler kullanılabilir. Aşağıdaki bölüm, farklı sensör türlerinin ilgili bazı örneklerini tartışacaktır (Hassoun ve diğ, 2022).

Spektral parmak izi tabanlı sensörler

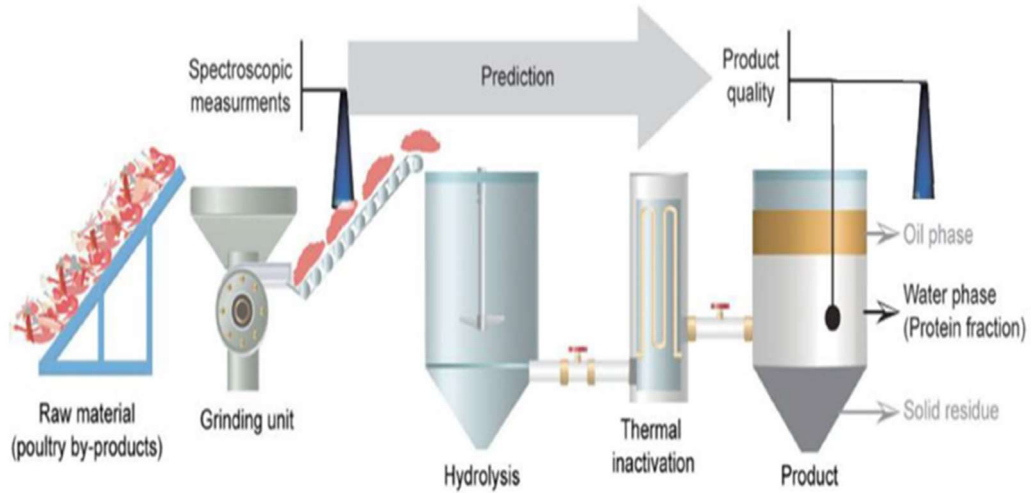
Spektroskopiye dayalı optik sensörler de dahil olmak üzere akıllı sensörler, Endüstri 4.0'ın ana özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Spektral parmak izi teknolojileri, geleneksel laboratuvar araçları olmaktan çıkıp Gıda Endüstrisi 4.0'ın bir parçası olarak akıllı fabrikalarda kullanılan minyatür ve otomatik sensörlere doğru evrilmiştir (Şekil 2.24). Endüstri 4.0 teknolojilerindeki son gelişmeler, taşınabilir, uygun fiyatlı ve kullanımı kolay minyatür spektroskopi cihazları ve sensör platformlarıyla sonuçlanmıştır. Bu sensörlerin uygulamaları, diğerlerinin yanı sıra, gıda güvenliğinin, bileşiminin, beslenme kalitesinin, gıda izlenebilirliğinin, prosesin izlenmesinin ve süreç sürdürülebilirliğinin kontrolünü içerecek şekilde artmıştır (Hassoun ve diğ, 2022).

Endüstriyel yan ürünlerden yüksek değerli ürünler elde etmek için enzimatik protein hidrolizi (Şekil 2.25) sürecinde yüksek değişkenli ve reaksiyonun gerçek zamanlı

olarak karakterizasyonu içeren bir kontrol gerekmektedir. Bu süreçte spektroskopi tabanlı sensörler kullanılarak kontrol ve optimizasyon sağlanabilmektedir. Çeşitli araştırmalar, ham maddelerin kalitesini (protein, yağ ve kül içerikleri gibi) belirlemek, işleme parametrelerini optimize etmek için kızılötesi, floresans veya raman spektroskopisine dayalı akıllı sensörler kullanılmaktadır. Böylece, protein hidrolizatlarının duyu özellikleri gibi çeşitli kalite parametreleri, hammadde özellikleri ve uygulanan proses parametrelerine dayalı olarak tahmin edilebilmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).



Şekil 2.24 : Akıllı spektroskopik geliştirilmesi ve uygulama alanları (Hassoun ve diğ, 2022).



Şekil 2.25 : Enzimatik protein hidrolizinin ana adımlarını izlemek için spektroskopik tekniklerin uygulanması (Hassoun ve diğ, 2022).

Spektroskopik sensörler, gıda maddelerinin kimliğini doğrulamak için kullanılabilir. Laboratuvar ortamında veya minyatür konfigürasyondaki farklı spektroskopik sensörler (floresans, kızılötesi veya raman gibi) kemometrik araçlarla birlikte gıda ürünlerinin kimliğini doğrulamak için kullanılmaktadır. Böylece farklı veri kümeleriyle sınıflandırıcıyı test ettikten sonra, görünür ve yakın kızılötesi bölgelerdeki yansıma spektroskopi tekniğinin en iyi performansa sahip olduğunu göstererek, gerçek zamanlı kimlik doğrulama için düşük maliyetli bir nokta spektroskopi cihazının geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Hassoun ve diğ, 2022).

Spektroskopik olmayan akıllı sensörler

Gıda endüstrisi, üretkenliği ve verimliliği artırmak ve her bir gıda üretim aşamasının tam olarak izlenmesini sağlanması ile uzaktan ve gerçek zamanlı kullanımı için çok fazla sayıda sensöre ve otonom sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen optik sensörlerin yanı sıra, gıda güvenliği ve kalite uygulamaları için birçok elektrokimyasal akıllı sensör geliştirilmiştir. Akıllı sensörler, gıda işleme sırasında çevrimiçi olarak veya gıda kalitesini sağlamak ve tüketicileri gıda bozulmasından korumak için sürecin sonunda proses kontrolü için kullanılabilir. Buna örnek olarak gıda paketlenme endüstrisi için geliştirilen zaman ve sıcaklık, nem, oksijen seviyeleri, pH, kimyasal bileşim veya mikrobiyal kontaminasyondaki değişiklikler hakkında bilgi veren etiketler gösterilebilir (Hassoun ve diğ, 2022).

Nanoteknolojideki son gelişmeler de gıda bilimi ve endüstrisinin birçok alanında yeni uygulamalara yol açmıştır. Gıda sensör teknolojileri, nanoteknolojinin sunduğu fırsatlardan (örneğin, düşük maliyetli, güvenilir ve son derece hassas nanokompozit malzemelerin mevcudiyeti) yararlanmıştır. Böylece mikro ve nano ölçekli cihazlar, geleneksel biyosensörlere iyi işleyen alternatifler olarak uygulanmaktadır. Nano elektrokimyasal sensör örneklerine ise tarımda pestisit ve nitrit tespiti için uygun bir algılama platformu verilebilir ayrıca et ürünlerinde terbutalini tespit etmek için taşınabilir, kablosuz, akıllı bir nano sensör verilebilir (Hassoun ve diğ, 2022).

Yiyecek/içecek kalite kontrolünde çeşitli uygulamalar için akıllı telefona dayalı birkaç biyosensör önerilmiştir. Bu algılama platformlarının birçoğu patojen ve toksin tespitine odaklanmıştır. Örneğin sulamada kullanılan suda *Listeria*'nın gerçek zamanlı olarak belirlenmesi için bir akıllı cihaz geliştirilmesi, *Botulinum* nörotoksinlerini tespit etmek için kağıt tabanlı bir sensörün geliştirilmesi, *Salmonella*, *E. coli*, *Staphylococcus* ve diğer bakteri türlerinin yanı sıra gıdadaki mantarları ve/veya bunların metabolitlerini tespit etmek için geliştirilen sensörler, gıda matrislerindeki ilaçlar gibi istenmeyen maddelerin tespiti için akıllı algılama cihazları verilebilir. (Hassoun ve diğ, 2022).

Sensörlerin radyo frekansı tanımlama etiketlerine (RFID) bağlanması, gıda kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesi, takibi, kontrolü ve erken uyarısı için fırsatlar sunmaktadır. RFID, bir transponder kullanılarak elde edilebilen nesnelerin, hayvanların ve insanların otomatik tanımlama teknolojisidir. Örneğin, paketlenmiş gıdadaki amonyakın izlenmesi için dijital sensör etiketiyle birleştirilmiş pilsiz bir RFID sensör geliştirilmiştir. Bu sensör oda sıcaklığında 60 dakika sonunda 3 ppm amonyağı tespit edebilmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

Otonom robotlar

Gıda üreticileri, çeşitli, güvenli, sağlıklı ve sürdürülebilir gıdaya yönelik tüketici taleplerini karşılamak için mücadele etmektedir. Endüstriyel robotlar, Endüstri 4.0'ın önemli bir bileşenidir ve gıda endüstrisinde uygun işgücünü elde etme zorluğu ve üretim süresinin ve maliyetinin düşürülmesi gibi bazı zorlukları çözebilir. Bununla birlikte, gıda endüstrisinin sıkı güvenlik ve hijyen gereklilikleri, yatırım maliyeti ve bu yeni teknolojinin tüm faydalarının anlaşılmaması nedeni ile gıda endüstrisinde robot uygulaması sınırlı kalmıştır. Ayrıca, gıdaların doğal olarak çeşitli şekil, boyut ve

renklerde olmaları robotların kullanımını sınırlamaktadır. Gıda endüstrisinde robot teknolojisinin en yaygın uygulaması, malzemenin daha homojen olduğu paletleme gibi son işlemlerdir (Hassoun ve diğ, 2022).

Tüm bunlara rağmen gıda sektörü, Endüstri 4.0'ın teknolojilerine hızla uyum sağlamaya çalışmaktadır. Bu nedenle, gıda endüstrisinde robotik ve otomasyon uygulamalarının önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artması beklenmektedir. Gıda endüstrisinin bazılarında proses süreçlerinin bazı kısımlarında robotlar kullanılmaktadır. Örneğin, Norveç et endüstrisinde robotlar ve daha gelişmiş makineler kullanılarak yapılan çeşitli işlevler ile (mezbahalarda ve et fabrikalarında karkas kesme ve kemik çıkarma gibi) yapılan uygulamalar oldukça otomatik hale getirilmiştir. Daha fazla otomasyonun uygulanması ile el emeği ve üretim maliyetleri düşürülmüş, verimlilik ve üretim kapasitesi artırabilmiştir (Hassoun ve diğ, 2022).

Yüksek teknoloji bir görüntü işleme sistemiyle entegre edilen endüstriyel robotlar, açıkça tanımlanmış parametrelere dayalı olarak akıllı hale gelmekte, "görmekte" ve farklı durumlara tepkiler vermektedir. Bu, aynı işleme hattında farklı gıda ürünlerini tanımlamayı ve ardından göz açıp kapayıncaya kadar farklı görevleri gerçekleştirmeyi içermektedir. Robotlara entegre edilen dijital görüntü işlemeye göre, ölçüm okumaları gerçek zamanlı bir görüntünün temassız yollarla yakalanması, bilgisayarda görsel temsili, otomatik analiz ve sonuçlara göre kontrol komutlarının üretilmesi ile başlayan bir dizi süreçten oluşmaktadır. Bu, etiketleme doğruluğunu, renkleri ve yüksekliği veya hacmi doğrulamak gibi gıda kalitesi denetimini de kolaylaştırmaktadır. Komple sistem, tüm üretim süreçlerini kontrol etmek ve incelemek için veya yalnızca bireysel ekipmandaki alt süreçler için de kullanılabilir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Bir kameranın veya başka bir görüntüleme ve inceleme sisteminin kullanılması, şekil, renk ve hatta camlar ve yumuşak plastikler gibi ürün yüzeyinde 1,5 x 1,5 mm kadar küçük yabancı cisimlerin varlığı hakkında çeşitli gerçek zamanlı veriler sağlayabilmektedir. Analitik izleme, süreçte tespit edilen sapmaya dayalı olarak gerekli ayarlamaları etkinleştirmektedir. Bu, gerekli gıda güvenliği standartlarının karşılanmasını sağlar ve sonradan gıda israfını ve maliyetli geri çağırımları azaltan kusurun erken tespitine izin vermektedir. Temelde bu teknoloji teknoloji, insan kararsızlığı, yorgunluk ve operatörlerin muhakemesindeki değişkenlikten kaynaklanan sınırlamayı çözümlenmiş olmaktadır. Eşzamanlı olarak, teknoloji, müşteri şikayeti durumunda dokümantasyon amacı ve kanıt için verileri otomatik olarak

depolayabilenkte ve izlenebilirlik için oldukça faydalı ve hızlı bir çözüm olmaktadır (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Robotlar, çok yüksek hızlarda yükleme, boşaltma, montaj, paketlenme, paletleme, alma ve yerleştirme, ayırma, istifleme ve aralama gibi klasik görevler, şüphesiz robotun "uzmanlığı" olmuştur. Bu tür görevler genellikle gıda sektöründe mevcuttur. Gıda sektöründeki bu tür görevler için insan işgücünün yerini alan robotik uygulamanın yavaş ilerlemesine rağmen, robotların potansiyeli robot üreticileri tarafından her zaman cesaret verici görülmüştür. Bunun nedeni, gıda güvenliği ve hijyen gereksiniminin karşılanması, kaynak verimliliğinin artırılması, bakımın basitleştirilmesi ve insan yaralanmalarının önlenmesi gibi birçok faydadır. Robotik uygulamadaki en muhtemel teknoloji kısıkaç teknolojisidir. Kısıkaç, bir ekipmanın kavranan bir nesne ile temas eden bir alt sistemidir. Gıda endüstrisinde, kısıkaç uygulamasının standardının iki önemli yönü, tutma işleminden sonra ürünler üzerinde herhangi bir görünür iz bırakmaması ve hijyendir. Bu tür gereksinimler, Alman Gıda Teknolojileri Enstitüsü'nün öncülüğünü yaptığı vakumlu kısıkaç teknolojisi ile kolayca karşılanmaktadır. Kısıkaç ile gıda yüzeyi arasındaki negatif basınç, ürünler için tutma kuvveti oluşturabilmektedir. Bu teknoloji, temizlenmesi kolay olmayan borulara olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Dilimleme, kemik çıkarma, porsiyonlama, eğme, doldurma ve sıralama gibi diğer işler de günümüz teknolojisi ile mümkündür (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Üretim sektörü dışında, gastronomi alanında da robotların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunlara örnek Chef Robot ve servis robotu verilebilir. Aşçı Robot, yemek yapması gerektiğinde bir insan şefin pişirme hareketini bir 3D kamerada yakalandığı ve bilgisayara kaydedildiği şekliyle öğrenip yeniden üretebilmektedir. Bir diğer örnek, körilerden pirinç kaselerine kadar bir dizi yemek için önceden belirlenmiş doğru porsiyonlarda pilav servis edebilen bir Japon robotudur. Önceden pişirilmiş pirinç bir GST-HMA robotik sunucuya yüklenmekte ve pirincin sıcaklığı ile nemi çalışma süresi boyunca buhar infüzyonu yoluyla korunmaktadır (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Gıda izlenebilirlik sistemi

İzlenebilirlik, bir hayvanın, emtianın, gıda ürününün veya içeriğinin yerini belirleme ve tedarik zincirindeki geçmişini (kaynaktan tüketiciye) veya geriye doğru

(tüketiciden kaynağa) kaydedilen tanımlamalar aracılığıyla takip etme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Değer zincirinin karmaşıklığı arttıkça izlenebilirlik süreci maliyetli ve verimsiz hale gelmektedir. Karmaşıklık, üretim süreçlerinde toplu ham maddeden bireysel gıda ürünlerine dinamik bir dönüşüm geçiren gıda malzemelerinin benzersiz özelliklerine bağlanabilir. Diğer bir zorluk da, gıda süreçlerinin izlenmesi zor olabilecek şekilde büyük ölçüde insan tarafından yürütülmesidir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

Hızlı Yanıt (QR) kodu ve Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID), gıda malzemelerinin tanımlanmasını ve izlenmesini otomatikleştirmek için gıda tedarik zincirinde benimsenmiştir. RFID uygulamasına bir örnek, sistemin çiftlikten mezbahaya ve işleme fabrikasına ve perakendeciye kadar tüm zincir boyunca uygulandığı tavuk eti için verilebilir. İzlenebilirlik verileri, RFID okuyucular aracılığıyla toplanmakta, kaydedilmekte ve merkezi veri tabanına gönderilmektedir. Belirli yerlerde, tüketicinin merkezi veri tabanından verileri okuyabileceği ve piliç eti hakkında gerekli bilgileri alabileceği cihazlar bulunmaktadır. Süt ürünleri, unlu mamuller, içecekler, suşi, makarna ve kahve RFID sistemi uygulanan diğer gıdalardır. Bu ürünlerden bazılarının bilgileri, RFID etiket kodu girildiğinde, satıcılar ve/veya perakendeciler tarafından sağlanan RFID okuyucular kullanılarak, web (tarayıcı kişisel bilgisayar) ve akıllı telefon uygulamaları (APP) tarafından okunabilmektedir. Akıllı izlenebilirlik sisteminin daha ucuz bir alternatifi, tüketicilerin kodu okutarak gıda maddesi ile ilgili bilgileri elde edebildiği QR kodudur. Bu, akıllı telefonlara yüklenen bir okuyucu uygulaması kullanılarak da yapılabilir (Hasnan ve Yusoff, 2019).

İmalat tasarımı

Endüstri 4.0'ın başlangıcı, tesis operasyonlarında simülasyon alanını başka bir düzeye taşımaktadır. Simülasyon yazılımı, gerçek zamanlı verileri kullanabilmekte ve fiziksel üretim sistemini, malzeme veya ürün (gıda), süreç, makine, işleme hattı, insanlar, malzeme taşıma sistemi ve üretimdeki diğer olası unsurları içeren sanal bir modelde ekosistemi modelleyebilmektedir. Bu nedenle, gerçek fabrikada herhangi bir fiziksel geçiş yapılmadan önce sanal dünyada test, analiz ve optimizasyon gerçekleştirilebilir. Bilinen yazılımlar ARENA Simulation Software, Tecnomatix Plant Simulation, TrakSYS ve FlexSim'dir. (Hasnan ve Yusoff, 2019).

2.7.1.3 Nesnelerin interneti, blok zincir ve siber güvenlik teknolojileri

IoT ve blok zincir, gıda endüstrisi sektörü de dahil olmak üzere farklı alanlarda önemli değişikliklere yol açan önemli dijital teknolojiler olarak görülmektedir. Aynı zamanda, bu önemli dijital bilgileri ve verileri potansiyel siber güvenlik saldırılarından korumak için kullanılan önleyici yöntemlere olan ihtiyaç da sürekli artmaktadır (Hassoun ve diğ, 2022).

Nesnelerin interneti (IoT)

IoT, birbirine bağlı bilgisayar cihazları ve makineler arasında veri aktarımını ifade eder. Son IoT ilerlemesi, tıp ve sağlık, e-ticaret ve eğitimden üretim ve tarıma kadar farklı alanlarda çeşitli IoT akıllı uygulamalarının kullanımını artırmıştır. Uygulama alanlarına göre IoT'nin yapısı için farklı katmanlar tanımlanmış olsa da, çoğu çalışma temelde sensörler, RFID ve veri toplayan diğer fiziksel cihazları içeren cihaz katmanı, tüm ağ iletişim protokolleri içeren ağ katmanı ve IoT uygulama ve servislerini içeren uygulama katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. IoT teknolojisinin kullanılması bağlanabilirliği artırarak tüm tedarik zinciri boyunca daha iyi üretkenlik, kalite ve karlılık sağlamaktadır. Veri ve bilgi etkileşimi/alışverişi, insan ve makine arasında olduğu kadar makine ve makine arasında da gerçekleşmektedir. IoT teknolojilerindeki son gelişmeler tarımsal üretim (Yang ve diğ, 2021), gıda güvenliği ve gıda işleme için kullanılan çeşitli süreçler dahil olmak üzere farklı alanlarda geniş bir uygulama yelpazesi getirmiştir (Bouzembrak ve diğ, 2020).

IoT tarafından sağlanan önemli bir özellik, ürün geri çağırımlarıyla uğraşırken hızlı eylemlere olanak tanıyan gerçek zamanlı izlenebilirliktir. Gıda ürünlerindeki taşıyıcıları izlemek için sıcaklık, yağ, nem, tuz, metal, renk, pH ve viskozite gibi parametreleri ölçebilecek çeşitli sensörler içeren IoT tabanlı bir sistem gıda sahtekarlığının önlenmesinde etkili olabilmektedir. Sistem, gıda tedarik zincirindeki çeşitli aktörler (ör. çiftçiler, tüketiciler ve düzenleyici makamlar) tarafından kullanılabilecek etkili ve basit bir sistemdir. Ayrıca RFID, tarımsal gıda sektöründe izlenebilirlik, gıda kalitesinin ve güvenliğinin sağlanması gibi geniş alanlarda başarıyla uygulanmaktadır. IoT cihazları RFID ile birlikte gıda güvenliği izleme, kalite izleme, raf ömrü ve pestisit kalıntısı izleme, sahteciliği önleme gibi çeşitli uygulamalar etkişli bir şekilde kullanılabilmektedir (Bouzembrak ve diğ, 2020).

IoT ile ilgili bazı endişeler ve zorluklar hala devam etmektedir. Özellikle gereken bağlantıyı barındıracak altyapı eksikliği, yüksek uygulama maliyeti ve ağ güvenliği en önemli endişe konularını oluşturmaktadır (Bouzembrak ve diğ, 2020).

Blok zincir

Geleneksel gıda tedarik zincirleri, ürünlerin izlenebilirliği ile ilgili önemli eksikliklere sahiptir. Bu durum şeffaf olmayan etiketlemeye, ürün inovasyon döngüsünün yavaş olmasına ve lojistikte karmaşıklığa neden olmaktadır. Blok zincir teknolojisi, gıda tedarik zincirindeki endişelere bir çözüm olabilir. Tarım gıda değer zincirinde güven ve şeffaflığı teşvik edebilen birden çok bilgisayardan oluşan bir ağ tarafından tutulan dijital, merkezi olmayan, dağıtılmış kayıtlardan oluşan ve Endüstri 4.0 tarafından desteklenen gelecek vaat eden bir teknoloji olacaktır (Hassoun ve diğ, 2022). Blok zincir, tedarik zinciri boyunca izlenebilirliği artırarak verileri üreticiden tüketiciye bağlamakta ve takip etmekte, daha doğru ve daha hızlı geri çağırma sağlayarak bazı riskleri ortadan kaldırmakta ve daha kaliteli gıda sunulmasını sağlamaktadır. Daha iyi izlenebilirlik, "sürdürülebilir", "organik" ve "helal" gibi iddiaların geçerliliğinin izlenebilmesi ve doğrulanabilmesi anlamına da gelmektedir. Blok zincir küresel bir tedarik zinciri boyunca gıda kayıplarının azaltılmasına da yardımcı olabildiği gibi ayrıca gıda tedarik sisteminin bir pandemi (COVID-19 gibi) ile bozulması riskini azaltmak için entegre bir izlenebilirlik teknolojisi olarak da kullanılabilir. Diğer yeni teknolojiler (RFID) ile birlikte izlenebilirlik sistemi verileri gerçek zamanlı olarak toplamak ve bunlara erişmek için güvenli bir ortam sağlayabilmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

Blok zincirin ve IoT gibi diğer gelişen teknolojilerle birlikte uygulanması ile gıda tedarik zincirinde gerçek zamanlı gıda takibi ve HACCP dayalı merkezi olmayan bir bilgi sistemi geliştirildiği görülmüştür. Yine herhangi bir insan müdahalesi olmadan tedarik zinciri boyunca bozulabilir ürünlerin bütünlüğünün, görünüşünün ve şeffaflığının yönetilmesine olanak sağlayan blok zincir ve IoT tabanlı güvenli bir izleme ve raporlama sistemi geliştirildiği belirtilmiştir. Başka bir çalışmada da tarım ürünlerinin menşeyini doğrulamak için blok zincir, IoT ve gelişmiş derin öğrenmeye dayalı bir tedarik zinciri sistemi farklı sayıda kullanıcıyla değerlendirilmiştir (Hassoun ve diğ, 2022).

Sistemlerin çoğu erken pilot aşamasında olduğundan, gıda endüstrisinde blok zincir uygulaması hala düşük düzeydedir. Gerekli teknik becerilerin, eğitim ve öğretim platformlarının maliyetleri ve eksikliği, gıda üreticilerinin blok zincir teknolojisini kullanmasını sınırlayan başlıca etmenlerdir. Ayrıca düzenleme, mahremiyet sızıntısı, sınırlı depolama kapasitesi ve gecikme sorunlarıyla ilgili zorlukların giderilmesi gerekmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

Siber güvenlik

Endüstri 4.0, gıda üretim şirketleri içindeki veri akışını inanılmaz bir şekilde artırdığı görülmüştür. Küresel dijital ağlar üretim süreçlerine erişim sağladığından daha fazla veri giderek daha fazla kullanılabilir hale geldi, ancak bu daha yüksek siber güvenlik riskleri içermesi anlamına gelmektedir. Ne zaman yeni bir teknoloji tanıtılsa, siber güvenlik bir endişe haline gelmektedir. Siber güvenlik, ağlar ve bilgisayarlar gibi bilgi ve bilgisayar teknolojisi sistemlerini koruyan gerekli becerilere sahip teknoloji uzmanlarının süreçleri ve kullanılabilirliği olarak tanınlanmaktadır. Yazılım ve donanım zarar verebilecek veya maliyetli fidye yazılımları içerebilecek siber saldırılara karşı her türlü koruma gereksinimi artmıştır (Hassoun ve diğ, 2022).

Gıda endüstrisinin altyapısı, onu siber saldırılara daha yatkın hale getirmektedir. Örneğin tedarik zinciri boyunca yer alan paydaşların sayısının diğer endüstrilere göre daha fazla olması siber saldırı riskini arttırmaktadır. Bu nedenle, tedarik zincirinin tüm aşamalarında siber güvenlik bilincinin artırılması gerekmektedir. Reçete sızıntıları, süreç parametreleri ve tüketici verilerinin çalınması en çok endişe duyulan konular arasında yer almaktadır. Bu gibi durumlar bir şirketin tedarik zincirini, itibarını ve kârını tehdit edebilmektedir. Diğer örnekler arasında yazılım ve donanımın kapatılması ve tedarik zinciri lojistiğinin tehdit edilmesi sayılabilir (Hassoun ve diğ, 2022).

2.7.1.4 Dijital ikizler ve siber fiziksel sistem (cps)

Dijital ikiz kavramı yakın zamanda ortaya çıkmıştır ve fiziksel aktiviteleri sanal dünya ile senkronize etmek için IoT ve AI gibi çeşitli teknolojik gelişmeleri bütünleştiren gerçek dünya ürününün, süreç operasyonunun veya fiziksel nesnenin dijital temsili olarak tanımlanabilir. İstatistiksel veriye dayalı ve fizik tabanlı modeller başlıca dijital ikiz türleridir. Dijital ikizler, örneğin tarım alanlarında ve gıda işleme fabrikalarında bilgiyi artırma ve karar almayı kolaylaştırma potansiyeline sahiptir. Ek olarak, dijital

ikizler, gıda kalitesinin hasat sonrası gelişimini tahmin etmek ve raf ömrünü en üst düzeye çıkarmak ve gıda kayıplarını azaltmak için tedarik zincirlerini uyarlamak için kullanılabilir (Hassoun ve diğ, 2022).

Çeşitli endüstriyel sektörlerde dijital ikizler geliştirilmiş olsa da (örneğin, araçların ve uçakların operasyonlarının ve bakımının optimizasyonu), halen devam eden çeşitli zorluklar nedeniyle gıda endüstrisindeki uygulamaları henüz gelişme aşamasındadır. Sadece birkaç çalışma, gıda tedarik zincirinde dijital ikizlerin uygulanmasını tanımlamıştır. Örneğin, mango meyvesinin soğuk zincir boyunca termal davranışını simüle etmek için mekanik bir sonlu eleman modeline dayanan ve gerçek dünya çevresel koşullarıyla birleştirilmiş dijital meyve ikizleri geliştirilmiştir. Elde edilen veriler, dijital ikizlerin soğutma süreçlerini ve lojistiği iyileştirerek soğutulmuş gıda tedarik zincirini daha yeşil hale getirebileceğini göstermiştir (Hassoun ve diğ, 2022).

CPS, Endüstri 4.0'ın önemli bir özelliğidir ve fiziksel ve sanal dünyaları bütünleştiren küresel bir ağ altyapısı olarak düşünülebilir. CPS, dijital ikizlerle bazı temel kavramları paylaşmaktadır. CPS'nin Endüstri 4.0 ile uygulanması nihai hedefe, yani akıllı fabrikalara ulaşma potansiyeline sahiptir. CPS kavramı IoT ve robotik ile de yakından ilgilidir. Gıda sistemlerinin CPS'sinin öz yönetim ve öz denetim için en yüksek özerklik seviyelerine ulaştığı öngörülebilir. Mevcut gıda endüstrisinde ve tarım sistemlerinde CPS konseptinin uygulanması oldukça sınırlıdır (Hassoun ve diğ, 2022).

CPS'nin robotik bir bakış açısıyla olası uygulamalarının çeşitli örnekleri, akıllı gıda üretim sistemlerini içermektedir. CPS kavramı, gıda izlenebilirlik sistemleri oluşturmak için uygulanabilir. Örneğin, gıda tedarik zincirinde gıda izlenebilirliği için sis bilişiminden ilham alan CPS tabanlı bir sistem oluşturulmuştur. CPS ile ilişkili zorluklar, CPS'nin karmaşıklığını, çok disiplinli ve heterojenliğinden gelmektedir. Teknik standartların ve güvenlik modellerinin eksikliği, ele alınması gereken diğer zorlu konular olarak gösterilebilir (Hassoun ve diğ, 2022).

2.8 Avantaj ve Genel Zorluklar

Gıda Endüstrisi 4.0'ın önemli kavramları yapay zeka, makine öğrenimi, büyük veri analitiği, bulut bilgi işlem, nesnelerin interneti, blok zincir, robotik ve akıllı sensörler, dijital ikizler ve CPS'dir. Endüstri 4.0, özellikle fiziksel, biyolojik ve dijital alanlarla

ilgili olanlar değil, çeşitli alanlar arasında yakınsama ve bağlantı ihtiyaını vurgulamıştır. Bu bağlantı devrimi temel olarak çoğunlukla verilere dayalı olarak anlaşılabilir; akıllı sensörler, robotlar, IoT ve diğer sistemleri kullanarak veri toplama, bulut bilgi işlem kullanarak veri işleme ve madencilik ve yapay zeka ve diğer ileri teknolojiler kullanarak veri yorumladan geçmektedir. Bu teknolojilerin çoğunun, gelişmiş dijitalleşme ve otomasyon ile geleceğin akıllı fabrikalarında ve üretim sistemlerinde önemli bir role sahip olması bekleniyor. Örneğin IoT gıda güvenliğinin geleceği olarak görülebilen, blok zincir de gıda izlenebilirliğinin geleceği olarak görülebilmektedir (Hassoun ve diğ, 2022).

Endüstri 4.0 teknolojileri, gıda değer zincirinin farklı aşamalarında mümkün olan her şeyin kapsamlı dijital dönüşümünü ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyerek zamandan tasarruf sağlayabilir ve maliyeti azaltabilir (Hassoun ve diğ, 2022).

Çeşitli gıda yan ürünleri için bir enzimatik hidroliz süreci boyunca herhangi bir zamanda ve aşamada çoklu işleme koşullarını optimize etmek ve izlemek için farklı spektroskopik prensiplere dayalı hiperspektral sensörlerin kullanılması buna bir örnektir. Bu "yeşil" teknolojiler, gıda israfını azaltacak ve gıda ürünlerini kişiselleştirmek ve belirli kalite özelliklerine sahip arzu edilen ürünleri elde etmek için fırsatlar verecektir. Sonuç olarak, karlılığı artırmak, gıda israfını azaltmak, müşteri ihtiyaçlarını optimize etmek ve tüketici memnuniyetini artırmak mümkün hale gelmektedir(Hassoun ve diğ, 2022).

Gıda izlenebilirliği ve dijital çözümler benimsenerek, ham maddeden nihai ürüne kadar olan işlemler izlenebilir. Örneğin, blok zincir, gıda tedarik zincirinde, bir ürünün tarladan sofraya yolculuğunu takip etmek için dijital ve şeffaf bir sistem olarak uygulanabilir, böylece izlenebilirlik ve özgünlük sağlanmaktadır. Endüstri 4.0'ın farklı unsurlarını uygulamak, tedarik zinciri modernizasyonunu, gıda kalitesini ve orijinalliğini iyileştirme ve gıda güvenliğini sağlama potansiyeline sahiptir (Hassoun ve diğ, 2022).

Büyük veri analitiği, akıllı sensörler, otonom robotik ve diğer ileri teknolojiler gibi Endüstri 4.0'ın unsurlarını dahil ederek gıda endüstrisinin dijitalleştirilmesi, daha fazla üretkenliğe, daha iyi süreç kararlılığına ve özelleştirilebilir ürünlere yol açabilmektedir. Ancak, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirliğine çok az önem verilmiştir. İnovasyona, dijital becerilere, dijital altyapıya ve iş birliğine yoğun bir şekilde

odaklanmak, sürdürülebilirliğin sağlanmasına ve Birleşmiş Milletler'in akıllı fabrikalar konseptine yol açan ve gelişmekte olan ülkelerde bile uygulamaya konulan sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır (UNIDO 2020). Sürdürülebilirlik konusunun yanı sıra, Gıda Endüstrisi 4.0 teknolojileriyle ilgili diğer bazı zorlukların da ele alınması gerekiyor. Genel olarak, yeni teknolojilerin benimsenmesi göz korkutucu bir görev gibi görünebilir ve bu teknolojilerin benimsenmesi diğer sektörlerle kıyasla gıda endüstrisinde daha yavaş olmaktadır. Bunun nedeni, bazı gıda endüstrisi aktörleri arasında hala var olan bir silo zihniyeti (başkalarıyla bilgi paylaşmak istememe zihniyeti) olabilir. Bununla birlikte, ortaya çıkan teknolojilerin çoğu, yüksek uygulama maliyetleri ve endüstriyel bir ortama uyarlanamamaları nedeniyle henüz laboratuvar ölçeğinin ötesine geçememiştir. Ayrıca, teknik ve teknolojik becerilerin eksikliği, Endüstri 4.0'ın ve onun yeni teknolojileri ile yeniliklerinin daha geniş kabul görmesini engelleyen başka bir konudur (Hassoun ve diğ, 2022).

Diğer engeller belirli teknolojilerle ilgili olabilir. Hem belirli operasyonlar hem de gıda değer zinciri boyunca AI, ML ve büyük veri analitiğinin başarılı uygulamaları bildirilmiş olsa da, bu teknolojilerin benimsenmesi hala sınırlıdır. Engeller, verilerle ilgili zorluklarla ilgilidir (altyapı, kalite, standardizasyon, güvenlik, bakım, yeterlilik ve kaynak eksikliği). Robotik ve akıllı sensörler, insan-makine AI ve IoT'deki son gelişmelerden yararlanarak birlikte çalışmayı mümkün kılabilir. Ancak, ortaya çıkan bu yeni teknolojilerin halihazırda var olan gıda tesisi sistemleriyle entegre olması gerekmektedir. Ayrıca daha fazla esneklik, gelişmiş donanım ve yazılım ile daha düşük maliyetler için gereklilikler de dikkate alınmalıdır (Hassoun ve diğ, 2022).

Son olarak, inovasyonu yoğunlaştırmanın gerekliliğini ve tüm gıda tedarik zinciri boyunca daha fazla otomasyon ve dijitalleşme ihtiyacını vurgulamak önemlidir. Endüstri 4.0 halihazırda belirli alanlarda yardımcı olmuş olsa da, en büyük potansiyellerinden bazıları çoğunlukla kullanılmamış durumda ve başarılı dijital dönüşümler ve ekolojik geçişler gerçekleştirme becerisinde yatmaktadır. Bunlara ancak aynı anda mümkün olduğu kadar çok Endüstri 4.0 teknolojisini kucaklayan ve gıda endüstrisindeki tüm ilgili aktörleri (örneğin, akademik araştırma kurumları, endüstriyel ortaklar, ayrıca düzenleyici ve diğer hükümet yetkilileri) dahil eden bütüncül multidisipliner yaklaşımlarla ulaşılabilir (Hassoun ve diğ, 2022).

3. YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada Bursa’da faaliyet gösteren bir süt işletmesi seçilmiş olup gıda güvenliği üzerine endüstri 4.0 (I4.0) uygulamalarının zamana bağlı etkileri incelenmiştir. Bunun için süt işletmesinin Endüstri 4.0’a ait teknolojik gelişmeler uygulanmadan önceki (2015 yılı) ve uygulandıktan sonraki en son yıla ait temel bazı verileri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Daha sonra yıllar itibarı ile işletme bünyesinde kullanılmaya başlanılan teknolojik gelişmeler Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Endüstri 4.0 çalışmaları öncesi ve sonrası karşılaştırma.

Parametreler	2015 yılı	2022 yılı
Fabrika alanı	25000 m ²	40000 m ²
Ürün çeşitliliği	170 farklı ürün	350 farklı ürün
Kapasite	124,6 bin ton	235 bin ton
Personel sayısı	466	865
Sahip olduğu gıda güvenliği standartları	TSE ISO EN 9001:2015 TSE Helal Belgesi	TSE ISO EN 9001:2015 TSE Helal Belgesi Global Standart For Food Safety (BRC)
KKN sayısı	21	17
Hatalı ürün / geri çağırma tesbit zamanı	4 saat	5 dk
Gıda güvenliği müşteri şikayet sayısı oranı (ppm)	3,79	0,64
Otomasyon düzeyi	Yarı otomasyon	Tam otomasyon
İzlenebilirlik	Form üzerinden	Veri işleme ve sistem entegrasyonu üzerinden

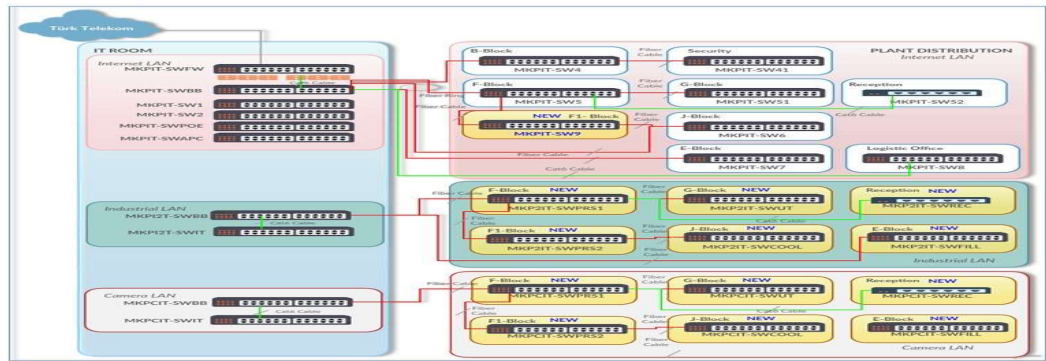
Çizelge 3.2 : Yıllar itibari ile uygulamaya konulan teknolojik değişimler.

Yıllar	Kullanılmaya başlanılan teknolojik gelişmeler
2015	Proses yarı otomasyon olarak çalışıyordu. Prosesler arası işlemler büyük çoğunlukla manuel yapılıyordu.
2016	Bilgisayar, bilgi işlem ve otomasyon alt yapısı yenilenmeye başladı.
2017	Otomasyon alt yapısı I4.0 uygun hale getirildi. Server, bilgisayar ve bilgi akışı veri iletim sistemi değiştirildi. Programlar birbirleri ile konuşur hale geldi. Tüm hatlar sensörler ile donatıldı. Tüm proses parametrelerinin trend analizleri alınmaya başlandı. Problemler algoritmik yazılımlarla önceden tesbit edilmeye başlandı.
2018	Dolum hatları sonlarına robot yatırımları yapıldı. Palet bazlı izlenebilirlik sistemi geliştirildi. Pilot tesis kurulumu yapıldı ve Ön prototip üretimler 3 D yazıcılar kullanılmaya başlandı.
2019	İzlenebilirlik sisteminin faaliyete geçti. Personel takip sistemi faaliyete geçti.
2020	Enerji, su, personel, kimyasal ve yardımcı tesisler tamamen otomasyona geçti.
2021	Tüm raporlamalar yöneticilerin telefonlarına uygulama aracılığı ile izlenmeye başladı.
2022	Saat bazlı raporlamalar otomatik bir şekilde veri sisteminde işlemeye başladı. Örnek uygulamalar grup içindeki yurt dışındaki diğer fabrikalarda uygulanmaya başladı.

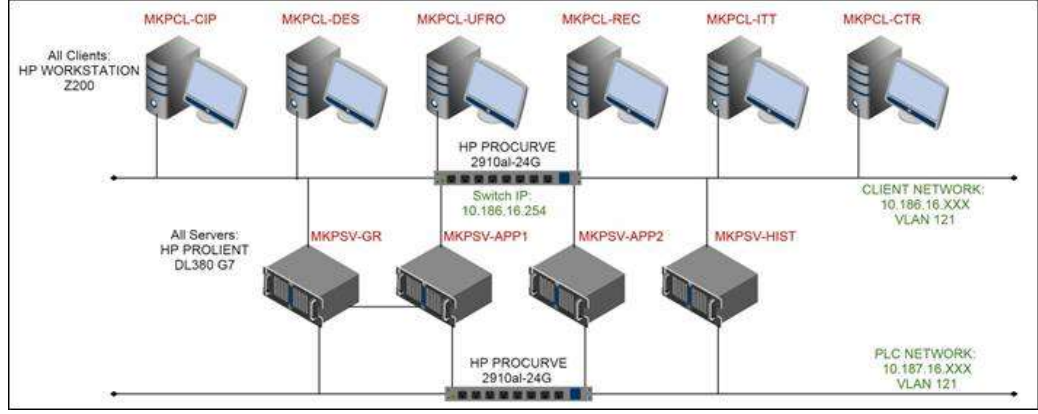
3.2 Materyal

3.2.1 Network altyapısının yenilenmesi

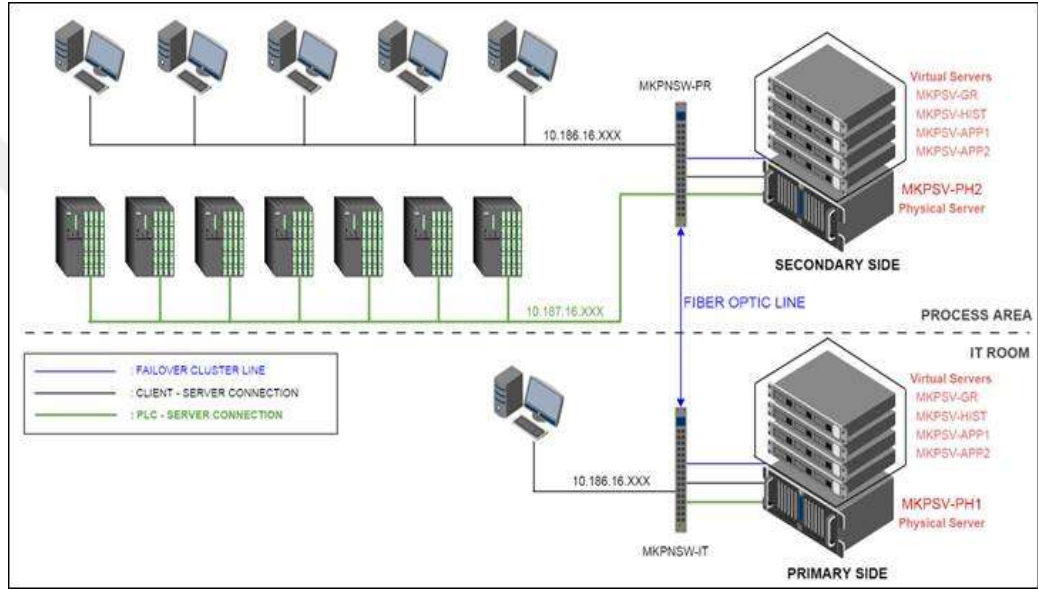
Tesis I4.0 uygulamasını yapabilmesine yönelik olarak Şekil 3.1’de gösterildiği gibi network altyapı yenileme çalışması yapılarak 2017 yılından itibaren tam olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 3.2’de ise sırasıyla eski ve yeni server client yapısının şeması gösterilmektedir. Yapılan bu değişikliklerle prodesteki otomasyonda kullanılan bilgisayarlar ile serverler arası bilgi akışı sağlanmış ve tüm programlar birbirleri ile konuşur hale getirilmiştir.



Şekil 3.1 : Tesiste I4.0 uygulamalarının yapılabilmesine yönelik olarak network altyapı tasarımı.



a



b

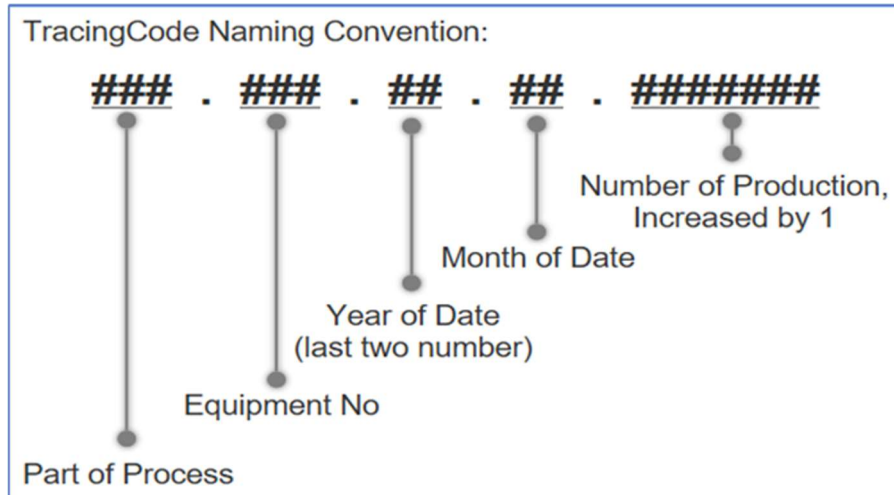
Şekil 3.2 : Eski (a) ve yeni (b) server client yapısı.

3.2.2 İzlenebilirlik sistemi altyapısı otomasyona entegrasyonu ve altyapı akışı

2019 yılından itibaren son ürüne atanan Lot numarası ile tüm süreç adımlarının takibi yapılmaya başlanılmıştır (Şekil 3.3). Lot numarası takibi ile şu kazanımlar sağlanmıştır.

- İzleme, tüm işlemlere, girdilere, ölçümlere, arızalara, müdahalelere ve kalite analizi ayrıntılarına atıfta bulunması,
- İzlemenin çağrılacak bir ana parametresi olacaktır, bu parametre tarih, saat ve makine kodu, kaynak ve hedef tank, operatör bilgisi gibi belirtmesi gereken bardak/paket üzerindeki veri olması,
- Son ürün kalite yönetim sistemi tarihleme talimatına göre sistem kurulması,

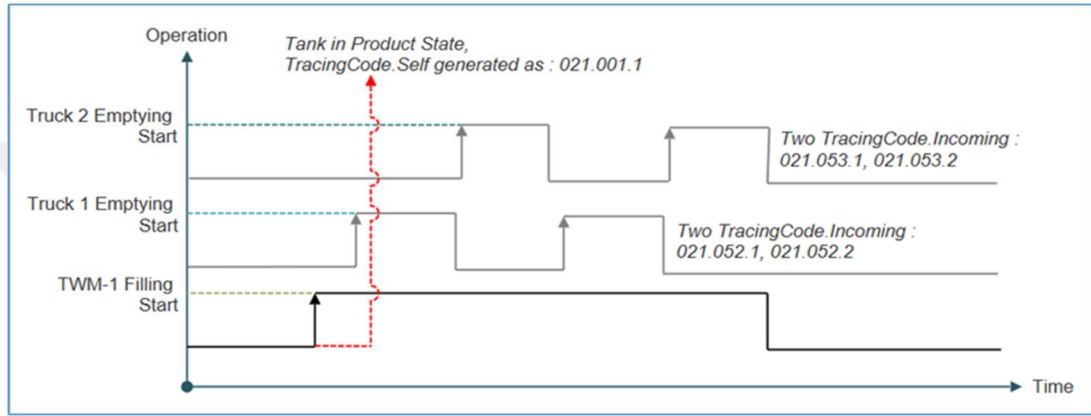
- Sensör teknolojisinin izin verdiği ölçüde, fabrikanın tüm bölümlerinden gelen tüm veriler merkezi veri tabanı için toplanması,
- Scada'da revizyon için ekipmanın temel “Fct” şablonu kullanılması,
- PLC programlama için mevcut proses kontrolünde arızaların giderilmesi için herhangi bir değişiklik yapılmaması,
- Ekipman şablonu, scada sunucuları ile PLC'ler arasında herhangi bir iletişim hatası olması durumunda bir hatayı günlüğe kaydederek SMS ve e-posta oluşturularak, bu SMS'in üretimin kağıtlara kaydedilmesi için ilgili operatörlere ve yetkililere gönderilmesi,
- Cluster ve replika sunucu yapıları ile sistem kullanılabilirliği sağlanması,
- CIP reçete listesindeki tanımlarla globalleştirilecek olan şablon verilerinde tüm ekipmanların “Ekipman No” ve “Ekipman Adı” bilgileri olması,
- Daha iyi bir izleme yönetimi için ürün hikayesindeki ekipman listesi yeniden kontrol edilmesi,
- Tüm ekipmanlarda TracingCode. Self ve TracingCode. Incoming değişkenleri olması,
- “TracingCode. Self, ekipmanın CIP durumunun sona ermesinin tetikleyicisi veya ekipmana gelen olayın tetikleyicisi ile oluşturulacak kodtur, yani tanka doldurma ve kaynaktan boşaltma başlatıldı demektir.”
- “TracingCode. Incoming, kaynak ekipman tarafından zaten oluşturulmuş kodtur ve hedef ekipmanın verilerine atanacaktır. Gelen kaynağın birden fazla olma olasılığı nedeniyle TracingCode Incoming değişkeni bir dizi olacaktır.



Şekil 3.3 : Firma son ürün izlenebilirlik kodlama sistemi.

3.2.2.1 İzlenebilirlik sistemi altyapı akışı

Her ekipman kendi izleme kodunu oluşturmakta ve kaynak ekipmandan gelen işlemler için izleme kodunu almaktadır. Örneğin; tam bir süt tankı, durumu ürün olduğunda (düşük seviye sensörü kapalı veya giriş valfi açık anlamına gelir) bir izleme kodu oluşturmakta ve kamyon boşaltma hattının/hatlarının izleme kodunu almaktadır. Tam süt tankı ürün durumunda iken her yeni gelen işlem için ilgili takip kodu verilerini almaktadır. Ekipmanın izleme kodu, bir sonraki tetikleyici algılanana kadar kalmaktadır. Şekil 3.4’de bu durum şema ile gösterilmiştir.

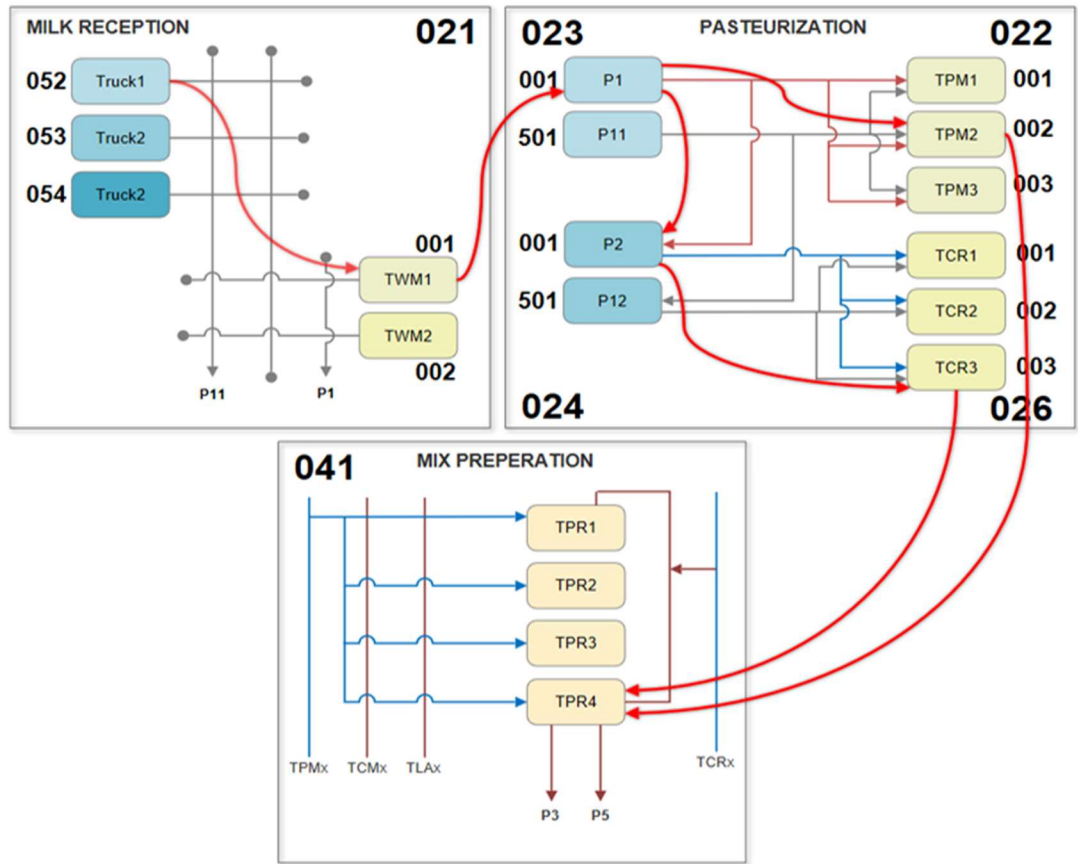


Şekil 3.4 : Süt tankeri izlenebilirliği.

- Hedef ekipmana birden fazla gelen işlem varsa, hepsi hedefin takip kodu ile ayrı ayrı veri tablosuna kaydedilmektedir.
- Kaynak ekipmanın izleme verilerini almak için tüm doldurma işlevleri, kaynak ekipmanın gönderme işlevi başladıktan sonra kod transfer edecek şekilde programlanmaktadır.
- İzleme akışı için veriler kaydedilirken, ekipmana atanan reçete de veri tablosunda saklanmaktadır. Tetiklemeden sonra ekipmana reçete atanırsa, veriler güncellenmektedir.
- Proses Ürün Raporları veritabanı altında sql server'da “Production. Tracing. Main” (Ana Ürün İzleme) adında bir global veri tablosu oluşturulacaktır. Ana izleme akışı bu tabloda izlenmektedir.
- Veri tablosunda oluşturulacak değişkenler: “TracingCode. Self”, “TracingCode. Incoming”, “Ekipman No”, “Ekipman Adı”, “Reçete Adı” dır.
- Üretim kriterlerinin detaylarını gösteren bir tablo “Üretim.İzleme.Detay” ismi ile oluşturulmaktadır. Detay tablosundaki değişkenler üretim kontrol kriterleri başlığı altında ele alınarak;

- Ekipmandaki reçete operatör/proses mühendisi tarafından değiştirilirse, kaydedilen reçete tablonun ilgili satırında güncellenmektedir.
- Seçilen ürünün tüm takibi süt kamyonunda sona erecek, diğer girdiler yardımcı maddeler olarak gösterilmektedir.
- Operatör, bekleyen kamyonlar listesinden indirilecek kamyonu seçmektedir.

Örnek bir izleme aşağıda simüle edilmiştir. Bu simülasyon, kamyonlardan karışım hazırlama tanklarına kadar olan ürün içindir. Karıştırma tankları için diğer kaynak tank bağlantıları gösterilen hatlara benzer olmaktadır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da ürünün izlenebilirliği gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Ekipman ürün akışı.

TRUCK (LINE 1)

TracingCode.Self	Truck Plate	First Weighing Date	First Weighing Time	First Weight	
021.052.18.12.1	163V074	13/12/2018	10:49:41	11160	...
021.052.18.12.2	10F7375	13/12/2018	00:48:40	41140	...
021.052.18.12.3	16FEL88	13/12/2018	22:51:12	33260	...
021.052.18.12.4	18DE222	13/12/2018	17:05:34	31640	...
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:

TWM1 (Filled from TRUCK)

TracingCode.Self	TracingCode.Incoming	Equipment No	Equipment Name	Recipe Name
021.001.18.12.1	021.052.18.12.1	1	TWM1 (Raw Milk Tank)	Whole Milk
021.001.18.12.1	021.053.18.12.1	1	TWM1 (Raw Milk Tank)	Whole Milk

P1 (Filled from TWM1)

TracingCode.Self	TracingCode.Incoming	Equipment No	Equipment Name	Recipe Name
023.001.18.12.1	021.001.18.12.1	4	P1 (Milk Past.)	Pastör. 80

P2 (Filled from P1)

TracingCode.Self	TracingCode.Incoming	Equipment No	Equipment Name	Recipe Name
024.001.18.12.1	022.001.18.12.1	5	P2 (Cream Past.)	Pastör. 80
024.001.18.12.1	022.001.18.12.2	5	P2 (Cream Past.)	Pastör. 80

Şekil 3.6 : Ürün izlenebilirlik veri akışı.

3.2.3 Üretim kontrol kriterleri

Üretim kontrol kriterleri oluşturularak sistem üzerinden takip ve kontrol edilmesi için 2017 yılında faaliyete geçmiştir (Şekil 3.7) Tank tipi, pastörizatör tipi, dolum makinası tipi, kamyon tipi ekipman vb. ortak kriterler ile pastörizatör, tank, dolum makinaları, kamyon, CIP, su ve toz/ingredientlerin herbiri için spesifik kriterler belirlenmiştir.

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
▶	TimeStamp	datetime	☐
	[TracingCode.Self]	nvarchar(50)	☐
	[TracingCode.CIP]	nvarchar(50)	☒
	TimeBtwCIPEndNewProd	time(1)	☒
	TimeBtwProdEndNewCIP	time(1)	☒
	TimeBtwLastDisfNewProd	time(1)	☒
	EquipmentFaultsCount	int	☒
	ManuelEquipControlCount	int	☒
	[Qlty.Chem.RatioOfProtein]	real	☒
	[Qlty.Chem.RatioOfLactose]	real	☒
	[Qlty.Chem.RatioOfCream]	real	☒
	[Qlty.Chem.RatioOfTotalSolid]	real	☒
	[Qlty.Chem.pH]	real	☒
	[Qlty.Phys.Viscosity]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.Mold]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.Yeast]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.Entrobacteria]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.Coliforms]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.TOC]	real	☒
	[Qlty.MicroBio.Incubator]	real	☒
	[Qlty.QualityState]	int	☒

Şekil 3.7 : Üretimde ortak kontrol kriterleri veri yapı şeması.

Pastörizatör kriterleri

- Maksimum/minimum/standart sapma pastörizasyon sıcaklığı
- Maksimum/minimum/standart sapma sterilizasyon sıcaklığı
- Maksimum/minimum/standart sapma çıkış sıcaklığı
- Sıcak veya soğuk çıkışa bağlı olarak
- Maksimum/minimum/standart sapma homojenizasyon basıncı
- Reçeteye göre homojenizasyon isteniyorsa
- Toplam geri dönüşüm süresi

- Mümkünse geri dönüşüm hatası ile
- Toplam geri dönüşüm sayısı
- Son sterilize/sterilizasyon zamanı ile üretimin balaması arasındaki süre
- Plakalar arasındaki maksimum/minimum/standart sapma farkı sıcaklık
- Plakalar arasındaki maksimum/minimum/standart sapma fark basıncı

Tank kriterleri

- Olgunlaşma süresi
- Aynı miktarda ürün ve aynı kültür türünü karılatırmak.
- Steril hava basıncı maks. ve dk.
- Tank temizlenmezken temiz durum kenarı ile kirli durum kenarı arasında.
- Dolum süresi
- Boşaltma süresi
- rn sresinde kalma
- Toplam karıştırma süresi
- Maks. Üretimdeki sıcaklık (soğuk bekleyen ürünler için)

Dolum makinaları kriterleri

- Paket türü
- Maksimum/minimum/standart sapma denge tankı sıcaklığı
- Maksimum/minimum/standart sapma steril hava basıncı
- Ürünün denge tankında doldurulmadan kalması
- Durdurma hatası sayısı
- Toplu olarak durdurma süresi
- Açılan kapı sayısı
- Makine içinde laminar akış için minimum delta basıncı
- Yoğurt dolum makineleri için ısıtma sıcaklığı.

Kamyon kriterleri

- Kamyon plaka numarası,
- İlk tartım tarih ve saati, ilk tartım değeri, son tartım tarihi ve saati, son tartım değeri, net ağırlık,
- Tedarikçi
- Operatör

- Süt çiftliği/varış yeri
- Kamyonu doldurma ile tanklara/pastörizatöre boşaltma arasındaki süre

CIP kriterleri

- Kullanılan kimyasal türleri
- Kimyasallar, konsantrasyon kimyasalları vb. tedarikçisi.
- Sterilizasyon süresi
- Maksimum/minimum/standart sapma sterilizasyon sıcaklığı
- Steril su deposu ve hazırlama hattının CIP süresi.

Su kriterleri

- Su iletkenliği
- Klor oranı
- pH ölçümü
- Osmozlu su ve ham suyun karışım oranı
- Belediye su miktarı

Toz/ingredient kriterleri

- Tozdaki bileşenlerin oranı
- Toz tipi
- Operatör
- Toz miktarı
- Toz tedarikçileri
- Toz üretim tarihi
- Toz son kullanma tarihi

3.2.4 Veri toplama

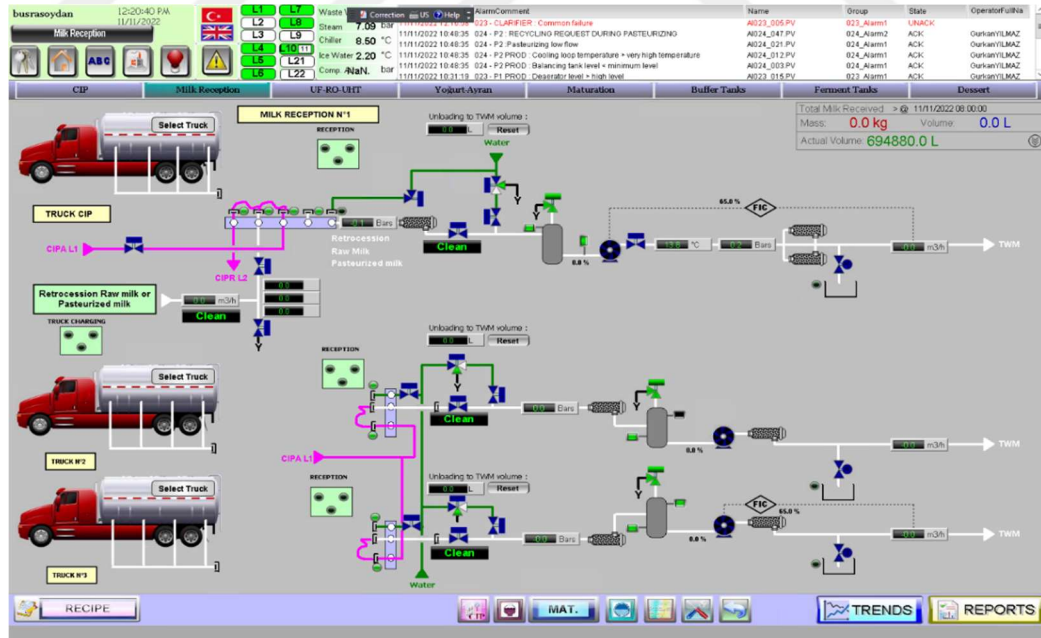
Mevcut durumda cihazlardan, merkezi kontrol ve izleme sistemine birçok analogik ve ayrık veri toplanmaktaydı. Ayrıca birçok kayıt operatörler tarafından manuel olarak yapılmaktaydı. Bu sisteme geçiş ile birlikte kademeli olarak kurulmuş altyapı kullanılarak birbirinden ayrılmış veri koleksiyonları merkezileştirilmiştir. Sistem 2015 yılında faaliyete başlamıştır. Bu sistem kurulurken;

- Analizörlerden laboratuvar sonuçlarını okumak için; kontrol sistemi ve analizörler arasında iletişim kurulmalıdır. Foss firması cihazı olan FT120

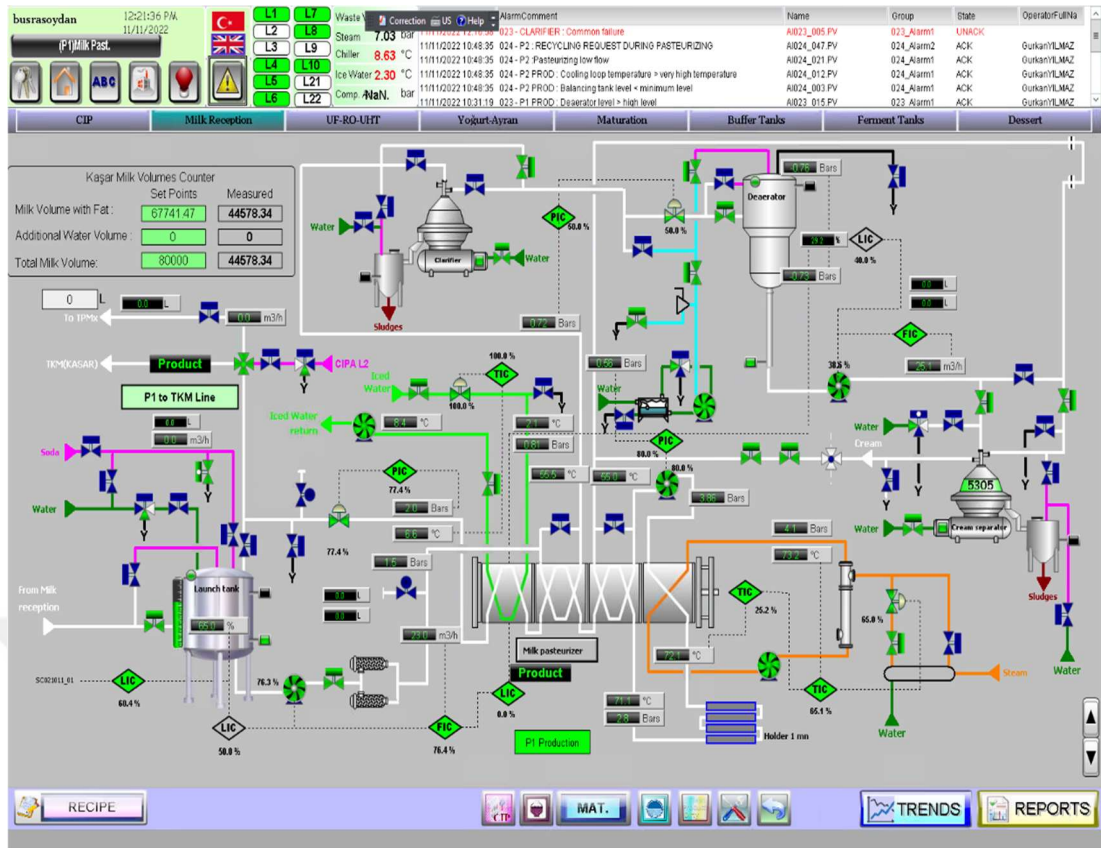
cihazının FT1'e yükseltilmesi ve analiz değerlerinin takip veri tabanına yazılabilmesi için ek bir lisans alınması gerekmiştir.

- Konsantre kimyasal, süt tozu vb. bilgiler için operatör tarafından işlem fonksiyonu başlatılmadan önce girilmiştir. Lojistik veritabanındaki verilerden bileşenlerin olası parti no bilgisini alabilmek için okunabilir olmalıdır Bu amaçla oracle veritabanına bir bağlantı oluşturulmuştur.
- Yapılan bu düzenlemeler sonrasında tüm süreç (Süt alım, Termizasyon, Ultra filtrasyon & Ters osmoz (Uf&Ro), Miks hazırlama, Pastörizasyon, Maturasyon, Ayran tankları, Dolum ünitesi, Tank pozisyonları, Scada Otomasyon genel görünüm, CIP Scada genel görünüm, Raporlama tablosu, Alarm tablosu, Trend analizi) aşağıdaki şekillerde gösterildiği şekilde Endüstri 4.0 Network sistemi izleme kontrol bilgi sistemi takip edilebilmektedir.

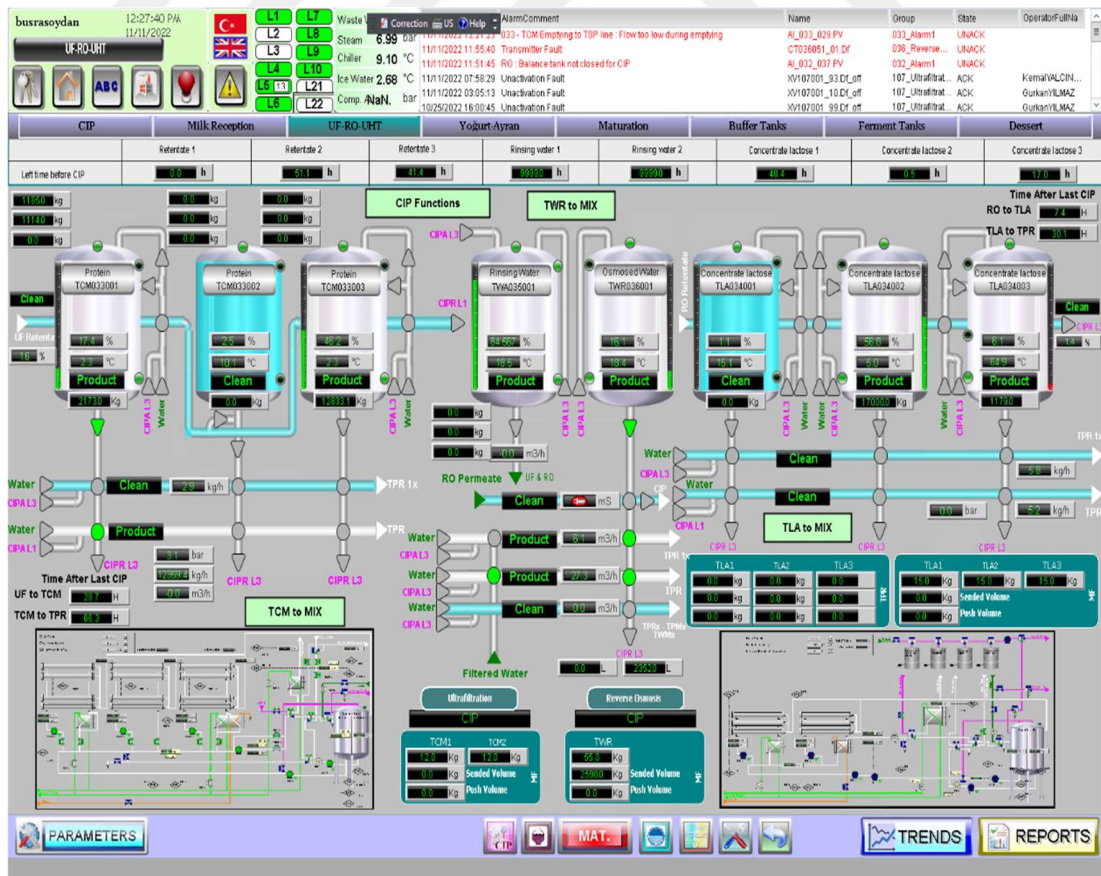
Şekil 3.8 ile Şekil 3.20 arasında işletmede sütün alımından son ürün oluncaya kadar proses aşamalarında uygulanan digital teknolojilerinin scada ekranında görselleri verilmiştir.



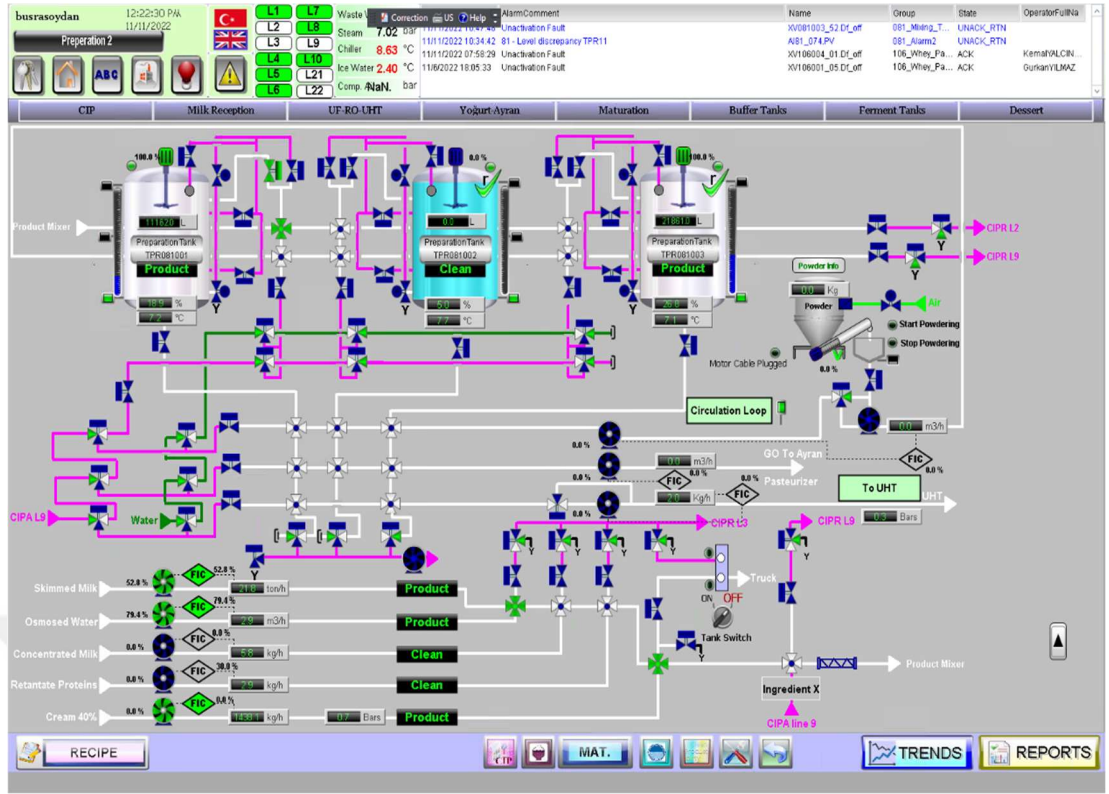
Şekil 3.8 : Süt alım akışı.



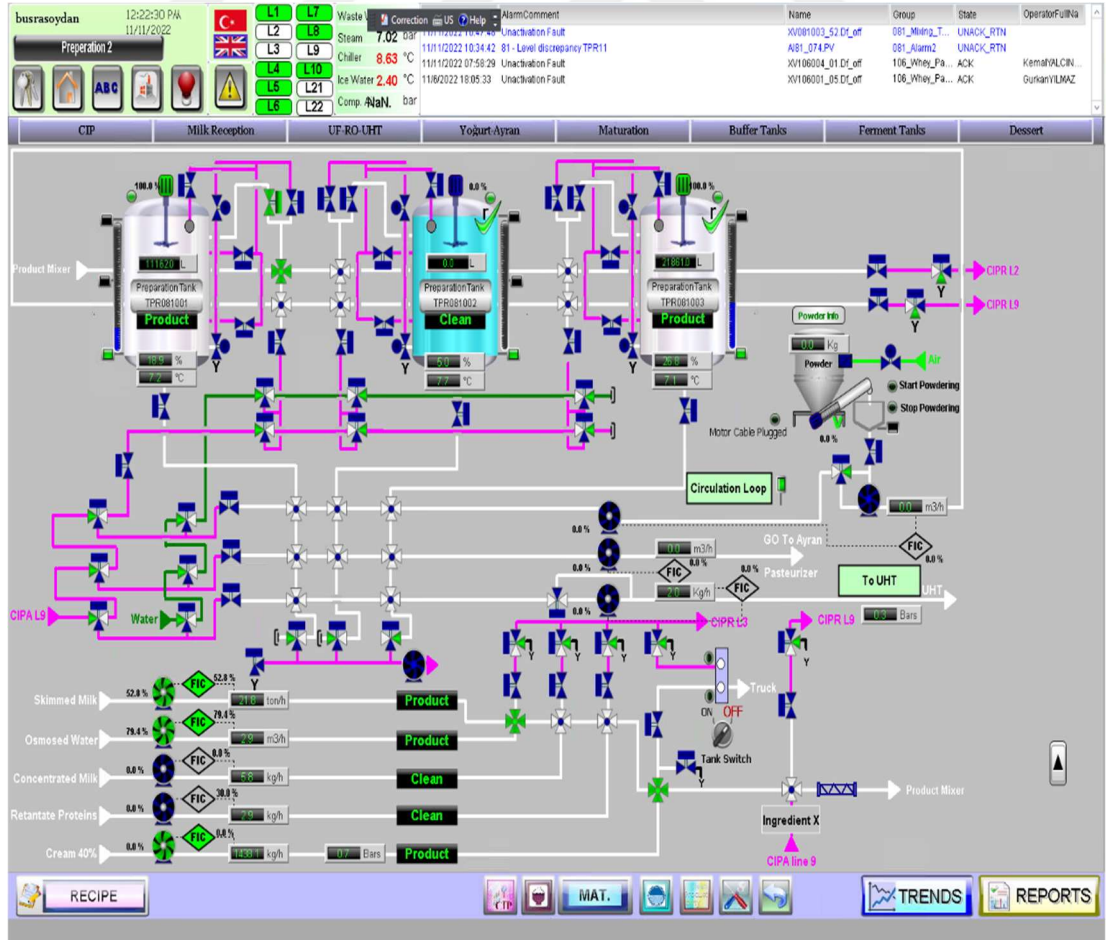
Şekil 3.9 : Termizasyon sistemi.



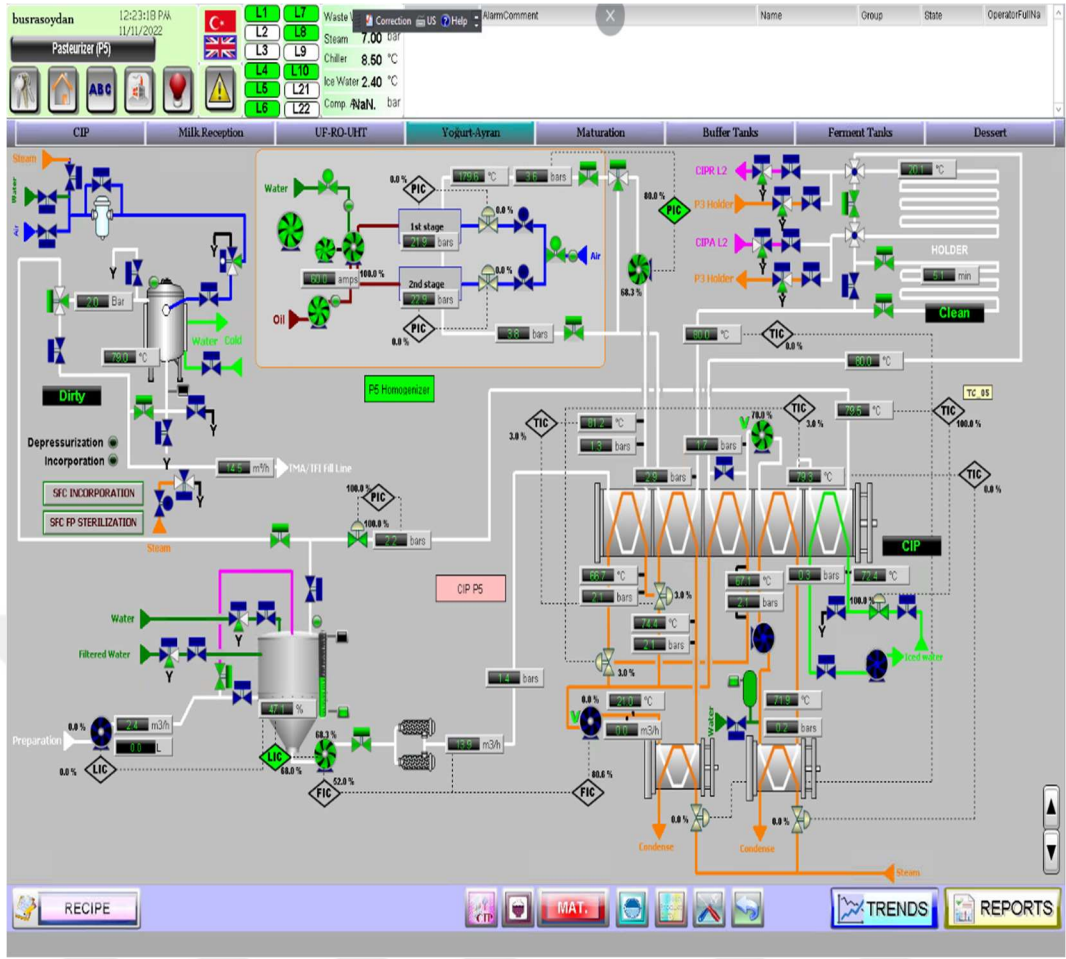
Şekil 3.10 : Filtrasyon sistemi.



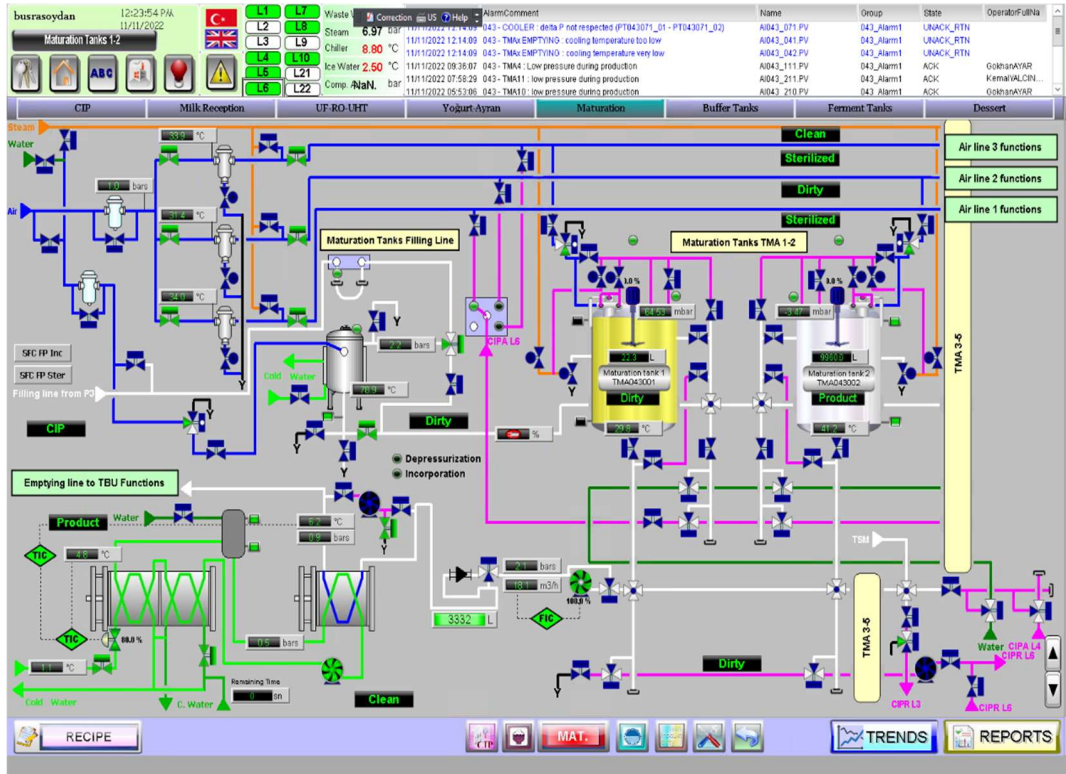
Şekil 3.11 : Reçete hazırlama sistemi.



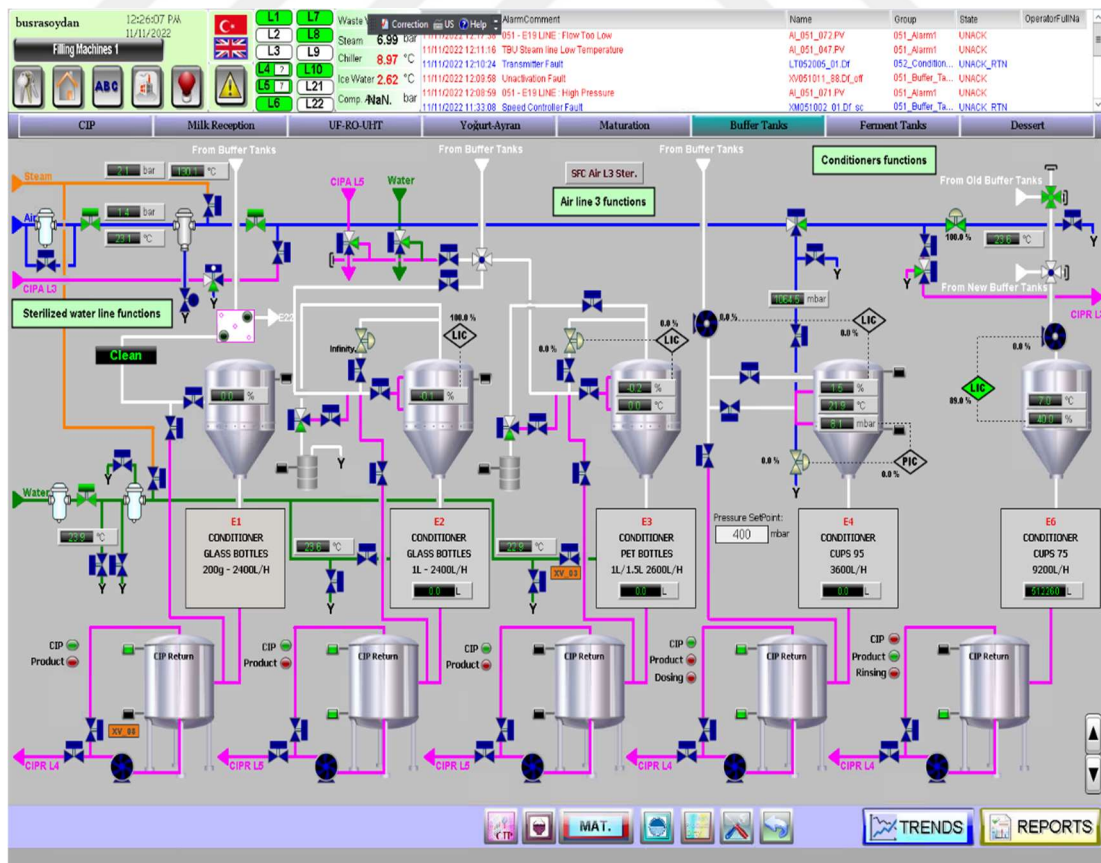
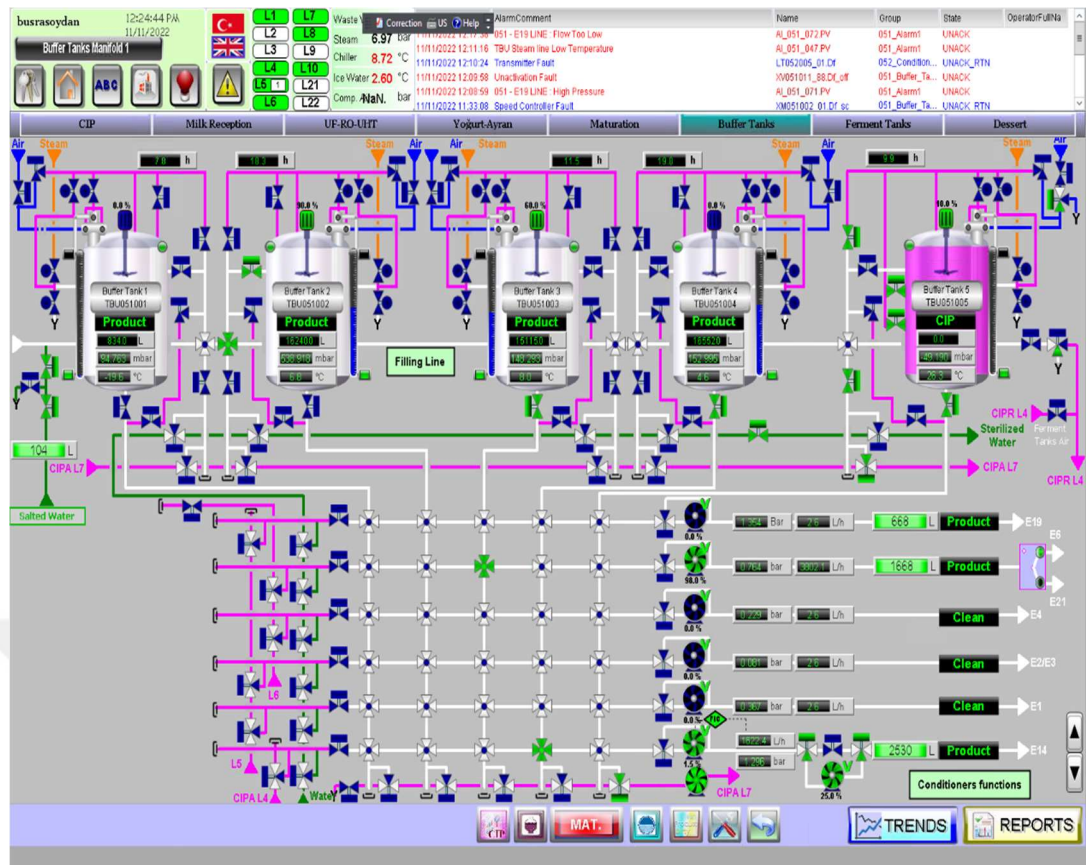
Şekil 3.12 : Miks hazırlama işlemi.



Şekil 3.13 : Pastörizasyon sistemi.

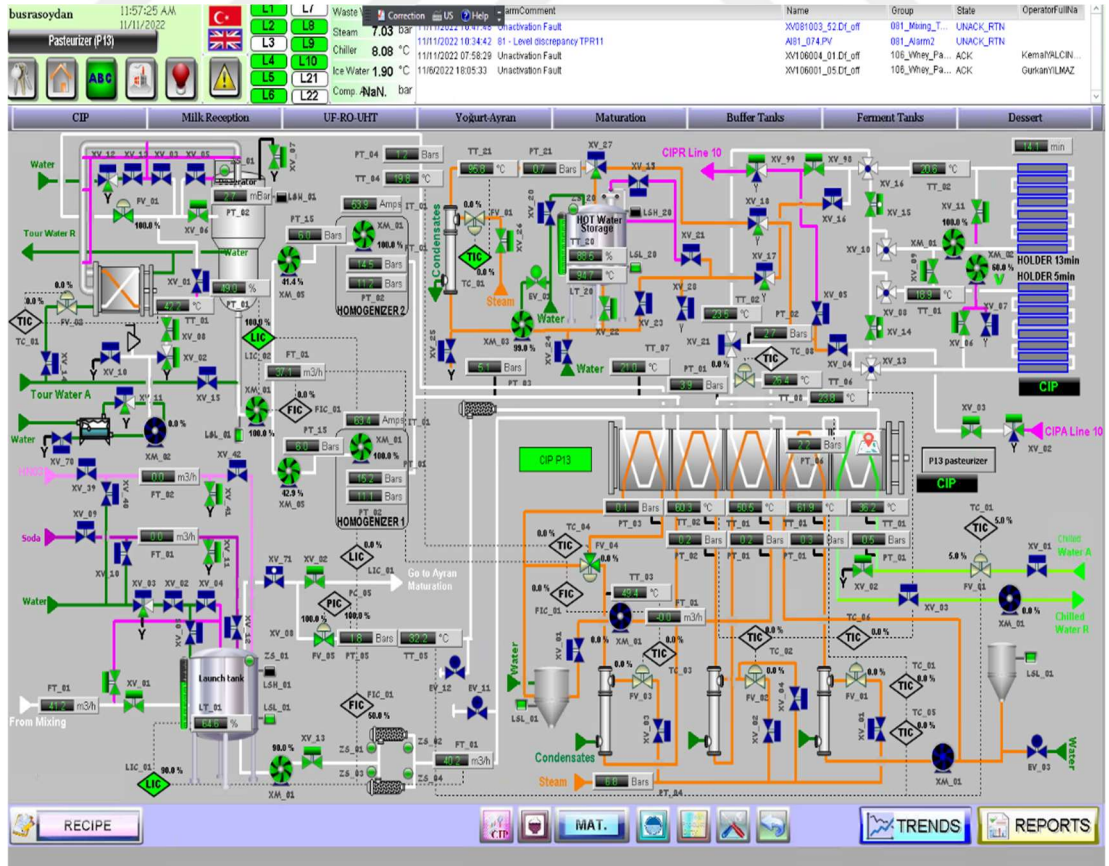


Şekil 3.14 : Matürasyon tankları.





Şekil 3.17 : Tank pozisyonları.



Şekil 3.18 : Scada otomasyon genel görünüm.

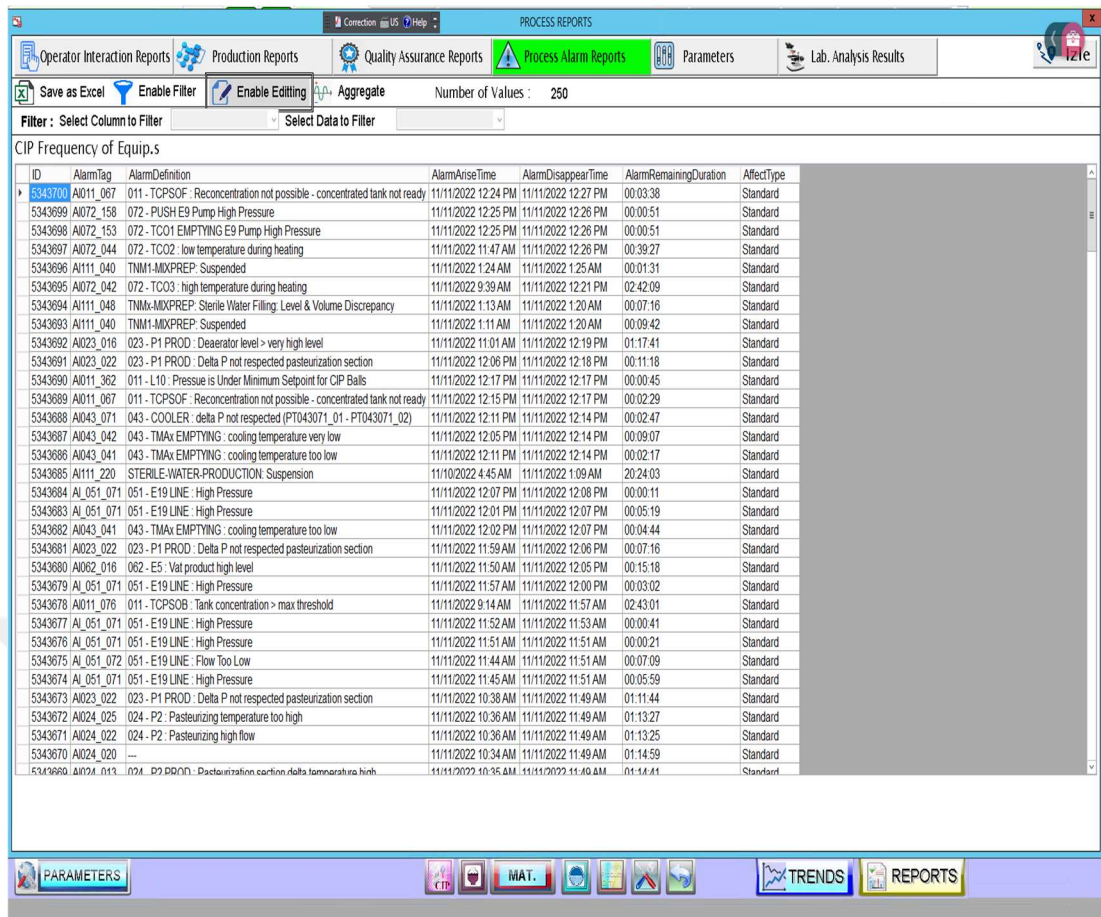
4. BULGULAR

4.1 Genel Raporlamalar

3. bölümde yöntem kısmında aktarılan otomasyon şema görünümeleri, analizleri sonucunda ortaya çıkan raporlamalar ve sonuçlar bu bölümde aktarılacaktır. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de sırasıyla; genel raporlama, alarm raporlaması ve trend analizi grafiği verilmiştir.

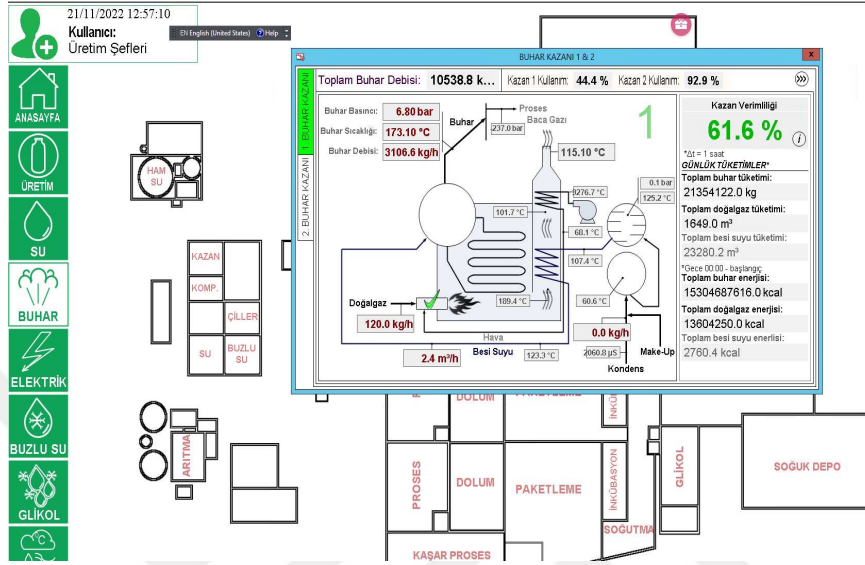
ID	StartDate/Time	StopDate/Time	ElapsedTime	SourceTank	TargetTank	Recipe	MaxPastTemp	MinPastTemp	MaxHolderTime	MinHolderTime	MaxOutletTemp	MinOutletTemp	MaxHomoP
994612	11/11/2022 9:15 AM	11/11/2022 10:51 AM	01:36:28.080045	TPR1	TMA11	Aile Ayrın (15->18 Ton)	93.19444	90.625	549.9284	17.94528	42.93982	41.78241	362.5579
994611	11/11/2022 7:41 AM	11/11/2022 9:13 AM	01:32:15.5496203	TPR3	TMA10	Piyasa Ayrın (15->20 Ton)	92.96296	90.87963	549.9284	18.00714	42.87037	41.68982	388.7442
994610	11/11/2022 6:21 AM	11/11/2022 7:40 AM	01:19:03.1347571	TPR1	TMA2	Aile Ayrın (10->12 Ton)	92.84722	90.6713	549.9284	17.99938	42.82407	41.689074	389.1783
994609	11/11/2022 4:46 AM	11/11/2022 6:20 AM	01:34:20.2707703	TPR3	TMA9	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.96296	90.92592	549.9284	17.99163	42.98611	41.64352	388.7442
994608	11/11/2022 3:11 AM	11/11/2022 4:45 AM	01:33:37.0291989	TPR1	TMA8	Piyasa Ayrın (15->20 Ton)	92.93982	90.99537	549.9284	17.98389	42.73148	41.64352	390.3357
994607	11/11/2022 1:32 AM	11/11/2022 2:44 AM	01:12:16.0355903	TPR3	TMA5	Piyasa Ayrın (10->13 Ton)	92.86204	91.25	549.9284	17.98389	42.73148	41.68982	390.1909
994606	11/10/2022 10:59 PM	11/11/2022 12:27 AM	01:27:51.3335114	TPR1	TMA1, TMA6	Deneme	92.89352	91.08796	549.9284	3.915038	35.76389	34.62963	277.1991
994605	11/10/2022 9:14 PM	11/10/2022 10:47 PM	01:33:02.5248784	TPR3	TMA11	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.84722	91.08796	549.9284	17.97615	42.75463	38.10185	383.2466
994604	11/10/2022 7:40 PM	11/10/2022 9:13 PM	01:32:42.1244510	TPR1	TMA10	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.91667	91.04167	549.9284	17.96843	42.75463	41.6287	382.9572
994603	11/10/2022 5:44 PM	11/10/2022 7:39 PM	01:54:38.2917385	TPR3	TMA4, TMA7	Aile Ayrın (10->24 Ton)	93.00926	91.04167	549.9284	17.96843	42.77778	41.68982	383.1018
994602	11/10/2022 4:04 PM	11/10/2022 5:41 PM	01:37:25.0797718	TPR4		Sizme - E13	92.91667	91.04167	549.9284	17.95299	43.19445	42.12963	377.6042
994601	11/10/2022 2:53 PM	11/10/2022 4:03 PM	01:10:04.8361887	TPR1	TMA3	Piyasa Ayrın (10->13 Ton)	93.03241	90.94908	549.9284	17.93758	42.80093	41.78241	365.4514
994600	11/10/2022 1:35 PM	11/10/2022 2:47 PM	01:11:36.8898855	TPR3	TMA2	Aile Ayrın (10->12 Ton)	92.4537	91.48148	549.9284	17.9222	42.70834	41.69815	354.1867
994599	11/10/2022 11:59 AM	11/10/2022 1:32 PM	01:33:23.0411202	TPR1	TMA9	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.61574	91.31944	549.9284	17.9222	42.86204	41.73611	360.243
994598	11/10/2022 11:46 PM	11/10/2022 1:00 AM	01:13:23.9611859	TPR1	TMA8	Deneme	93.37963	90.74074	549.9284	3.918367	35.6713	34.58334	288.0497
994597	11/9/2022 10:29 PM	11/9/2022 11:45 PM	01:16:23.1485754	TPR3	TMA4	Aile Ayrın (10->12 Ton)	92.75463	91.45833	549.9284	17.96843	42.5	10.39352	381.2211
994596	11/9/2022 8:50 PM	11/9/2022 10:22 PM	01:32:46.2771517	TPR1	TMA11	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.61574	91.41204	549.9284	17.9607	42.63889	41.85185	381.6551
994595	11/9/2022 7:13 PM	11/9/2022 8:46 PM	01:32:45.1942875		TMA10	Piyasa Ayrın (15->20 Ton)	92.70833	91.2037	549.9284	17.9607	42.86204	41.85185	382.2338
994594	11/9/2022 6:00 PM	11/9/2022 7:13 PM	01:12:21.6115850	TPR1, TPR3	TMA2	Piyasa Ayrın (10->13 Ton)	92.36111	91.62037	549.9284	17.9607	42.59259	41.69815	379.0509
994593	11/9/2022 10:42 AM	11/9/2022 12:18 PM	01:36:49.2625938	TPR2		Sizme - E13	92.77778	90.71759	549.9284	17.92988	43.19445	41.85185	362.4132
994592	11/9/2022 9:17 AM	11/9/2022 10:30 AM	01:12:37.0390404	TPR1	TMA9	Deneme	92.38426	91.01852	549.9284	3.911714	35.55555	34.46759	281.8634
994591	11/9/2022 6:56 AM	11/9/2022 8:40 AM	01:43:59.3586752	TPR3	TMA3, TMA7	Deneme	92.87037	90.99537	549.9284	3.915038	38.98148	8.912037	269.8206
994590	11/9/2022 5:23 AM	11/9/2022 6:55 AM	01:32:52.3677766	TPR1	TMA8	Aile Ayrın (15->18 Ton)	92.80092	91.08796	549.9284	17.97615	42.73148	41.71296	380.4977
994589	11/9/2022 4:08 AM	11/9/2022 5:22 AM	01:13:13.0932136	TPR3	TMA3, TMA4	Aile Ayrın (10->12 Ton)	92.93982	90.76389	549.9284	17.98389	43.49537	40.6713	381.3658
994588	11/9/2022 2:22 AM	11/9/2022 4:08 AM	01:45:09.1862035			Aile Ayrın (15->18 Ton)	94.56018	0	549.9284	16.51959	43.05555	0	388.0208
994587	11/9/2022 2:22 AM	11/9/2022 2:49 AM	00:26:19.2132225	TPR1	TMA11	Aile Ayrın (15->18 Ton)	0	92.03704	549.9284	18.03044	0	41.78241	0
994586	11/9/2022 12:27 AM	11/9/2022 2:22 AM	01:54:33.4635180	TPR3	TMA1, TMA5	Aile Ayrın (10->24 Ton)	92.91667	91.11111	549.9284	17.97615	42.88518	41.71296	382.2338
994585	11/8/2022 10:53 PM	11/9/2022 12:26 AM	01:33:05.1348474	TPR1	TMA10	Piyasa Ayrın (15->20 Ton)	92.70833	91.25	549.9284	17.9607	42.63889	41.80555	382.5232
994584	11/8/2022 9:39 PM	11/8/2022 10:52 PM	01:13:10.8208928	TPR3	TMA2	Aile Ayrın (10->12 Ton)	92.82408	91.08796	549.9284	17.96843	42.59259	41.68982	383.2466
994583	11/8/2022 7:59 PM	11/8/2022 9:33 PM	01:33:07.1514726	TPR1	TMA9	Aile Ayrın (15->18 Ton)	93.56482	90.18518	549.9284	17.99163	42.93982	41.43518	382.9572
994582	11/8/2022 5:59 PM	11/8/2022 7:56 PM	01:56:27.3250693	TPR3	TMA4, TMA6	Piyasa Ayrın (10->10->28 Ton)	93.72685	90.43982	549.9284	17.95299	42.82407	40.94907	381.6551
994581	11/8/2022 12:01 PM	11/8/2022 1:40 PM	01:38:40.2437224	TPR1	TMA8	Ayrın (10 Ton)	93.33333	91.11111	549.9284	17.91451	33.05555	8.00826	359.9537
994580	11/8/2022 10:48 AM	11/8/2022 11:58 AM	01:09:49.6965032	TPR3	TMA2	Piyasa Ayrın (10->13 Ton)	92.82408	90.87963	549.9284	17.92988	42.52315	41.68982	357.6389
994579	11/8/2022 8:39 AM	11/8/2022 10:46 AM	02:07:10.1182773	TPR3	TMA1, TMA3	Ayrın (10 Ton)	92.93982	90.83333	549.9284	17.92988	36.06482	7.337963	359.375
994578	11/8/2022 8:52 AM	11/8/2022 8:29 AM	01:37:04.1825673	TPR1	TMA11	Piyasa Ayrın (15->20 Ton)	93.125	90.99537	549.9284	17.94528	42.73148	41.73611	383.2813

Şekil 4.1 : Genel raporlama.



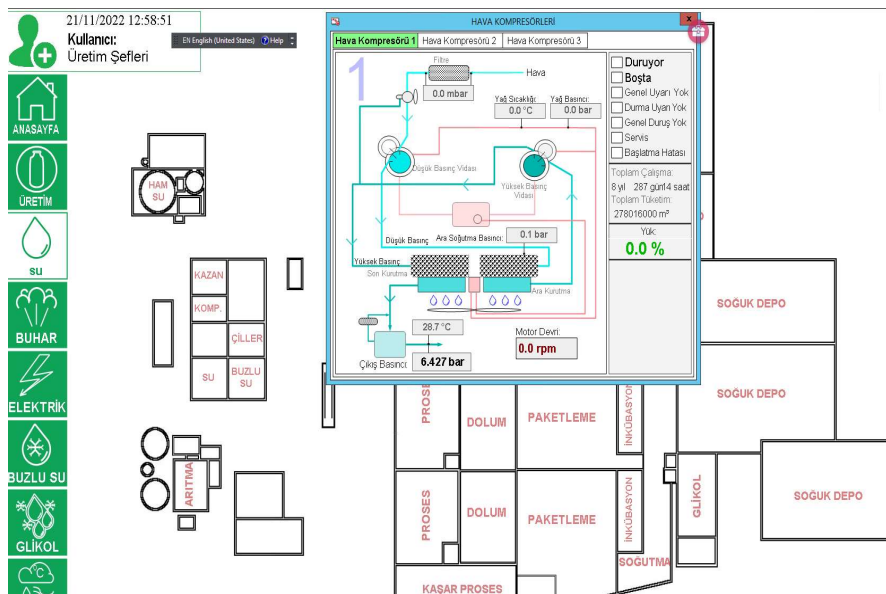
4.2 Verimlilik ve Performans Takibi Analizleri

Bölüm 4.1’de ifade edilen analizlerle birlikte verimlilik ve performans takibi analizleri yapılmış sonuçlar program üzerinde raporlanarak şematize edilmiştir. Şekil 4.4’de buhar kazanı ait verimlilik takibi gösterilmiştir.



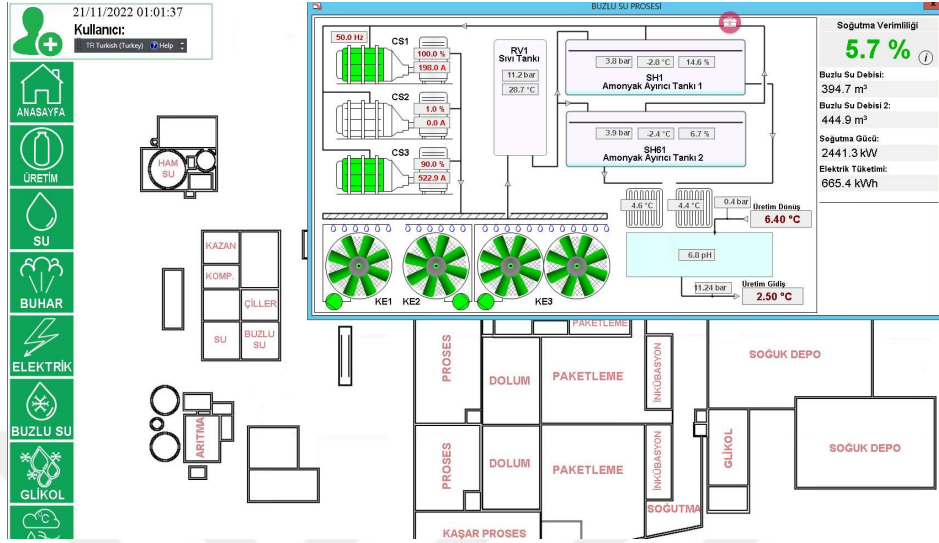
Şekil 4.4 : Buhar kazanı verimlilik takibi.

Şekil 4.5’te görüldüğü gibi 3 Adet yağsız vidalı hava kompresörünün hava tüketimi saatlik, günlük, aylık ve yıllık raporlar alınabildiği gibi, proses bazlı lokal kullanım kapasiteleride anlık olarak izlenebilmektedir. Proses alanında kullanılan steril hava hatlarının temizliği ve filtrelerin basınç farkları scada üzerinden izlenebilmektedir. Hatların temizliği CIP ile otomatik bir şekilde yapılabilir.



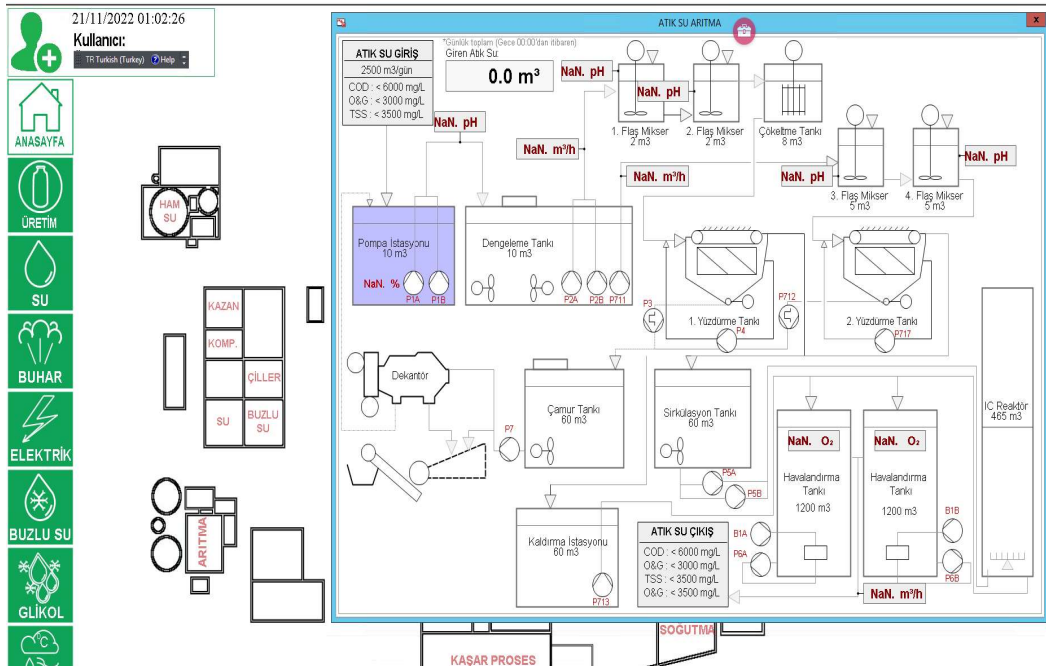
Şekil 4.5 : Hava kompresörü verimlilik takibi.

2 adet vidalı chiller (7 °C-12 °C) soğutma sistemi performansı saatlik, günlük, aylık ve yıllık raporlar alınabildiği gibi, proses bazlı lokal kullanım kapasiteleride anlık olarak izlenebilmektedir. Şekil 4.6’da izlebilirlik gösterilmiştir.



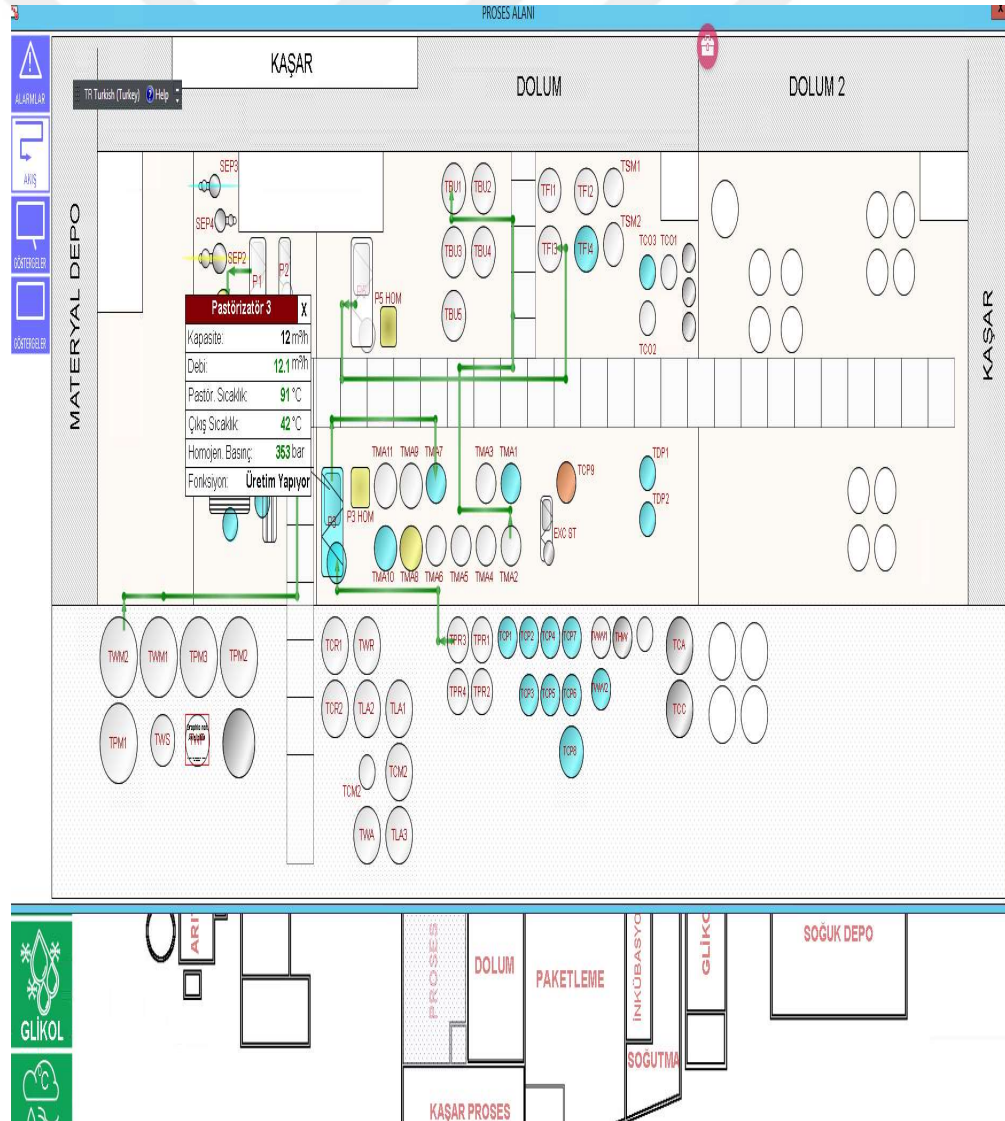
Şekil 4.6 : Chiller soğutma prosesi verimlilik takibi.

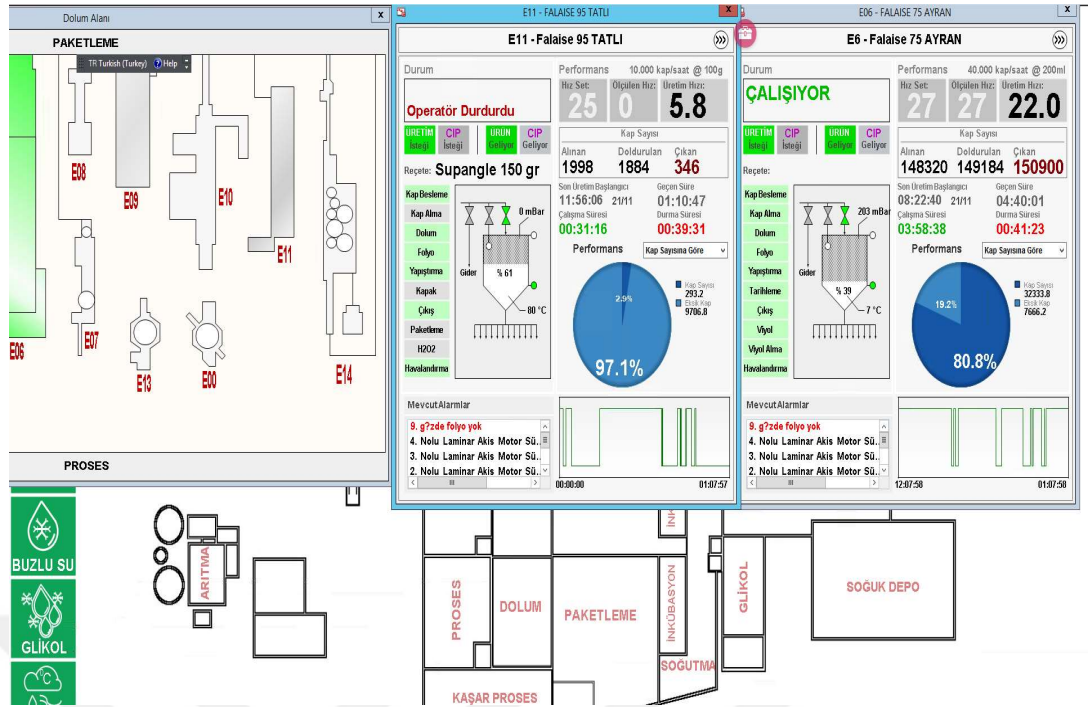
Biyolojik ve kimyasal arıtma sistemi üzerindeki tüm ekipmanlar otomasyon üzerinden kontrol edilebildiği gibi sistemde oluşabilecek hatalara karşı alt ve üst limit belirlenmiş olup aksi durumda sistem alarm üretmekte olup bununla ilgili hızlıca aksiyon alınmamasını sağlamaktadır. Şekil 4.7’de verimlilik takibinin nasıl yapıldığına yönelik programlama gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Arıtma sistemi izleme ve verimlilik takibi.

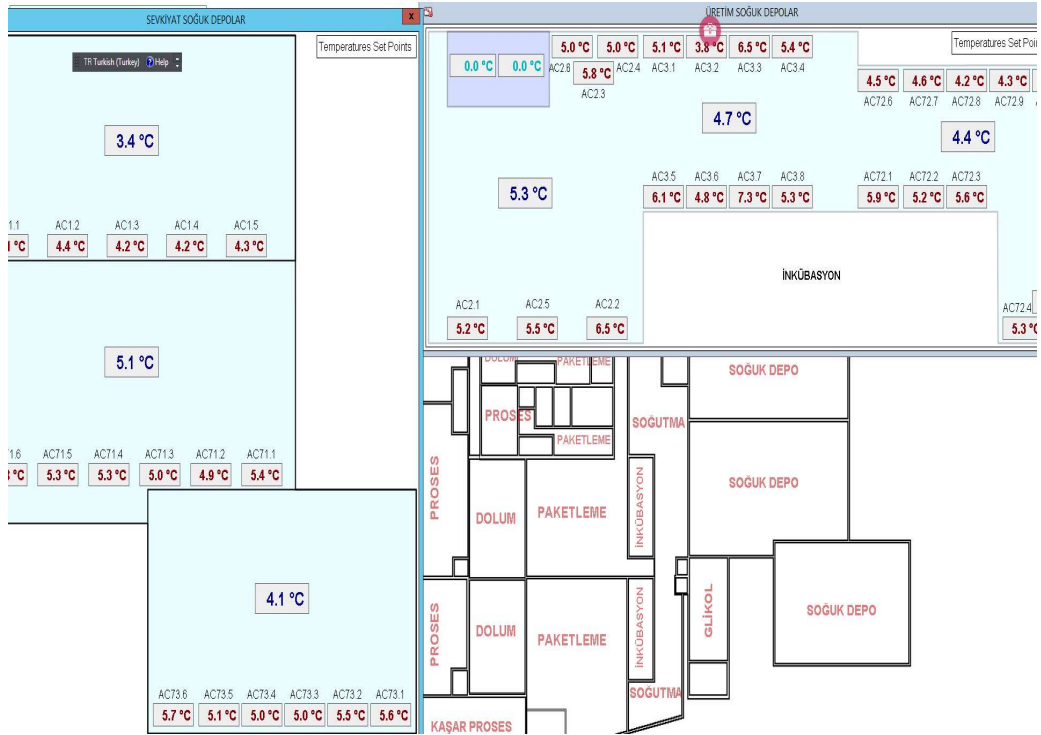
Tüm dolum makinelerinde gıda güvenliği ve verimlilik parametreleri scada üzerinde tanımlı olup alt ve üst limitlere göre alarm üretmektedir. Proses verimliliği sürekli izlenebilmektedir. Her türlü parametre dışı olasılıklar trend analizleri ile son 2 yıla göre (dökümanların kontrolü ve saklanma prosedürü) tutulabilmektedir. Dolum makinelerinde diğer proses gıda güvenliklerine ek olarak her makinenin içinde laminar hava akışını sağlayan hepa filtreler bulunmaktadır. Ayrıca işletme için proses ve dolum alanı hava basıncı dolum makinesi içerisindeki steril hava basıncından düşük olacak şekilde ayarlanmaktadır. Bunlar öncelikli olarak makine kontrol panelinden izlenmekte ve eş zamanlı olarak Endüstri 4,0 ile ilave sensörler vasıtası ile Şekil 4.9’da olduğu gibi scada ekranına aktarılmaktadır. Böylece her türlü verinin eş zamanlı izleme ve performans takibi yapılabilmektedir. Şekil 4.8’de genel proses alanı gösterilmiştir.





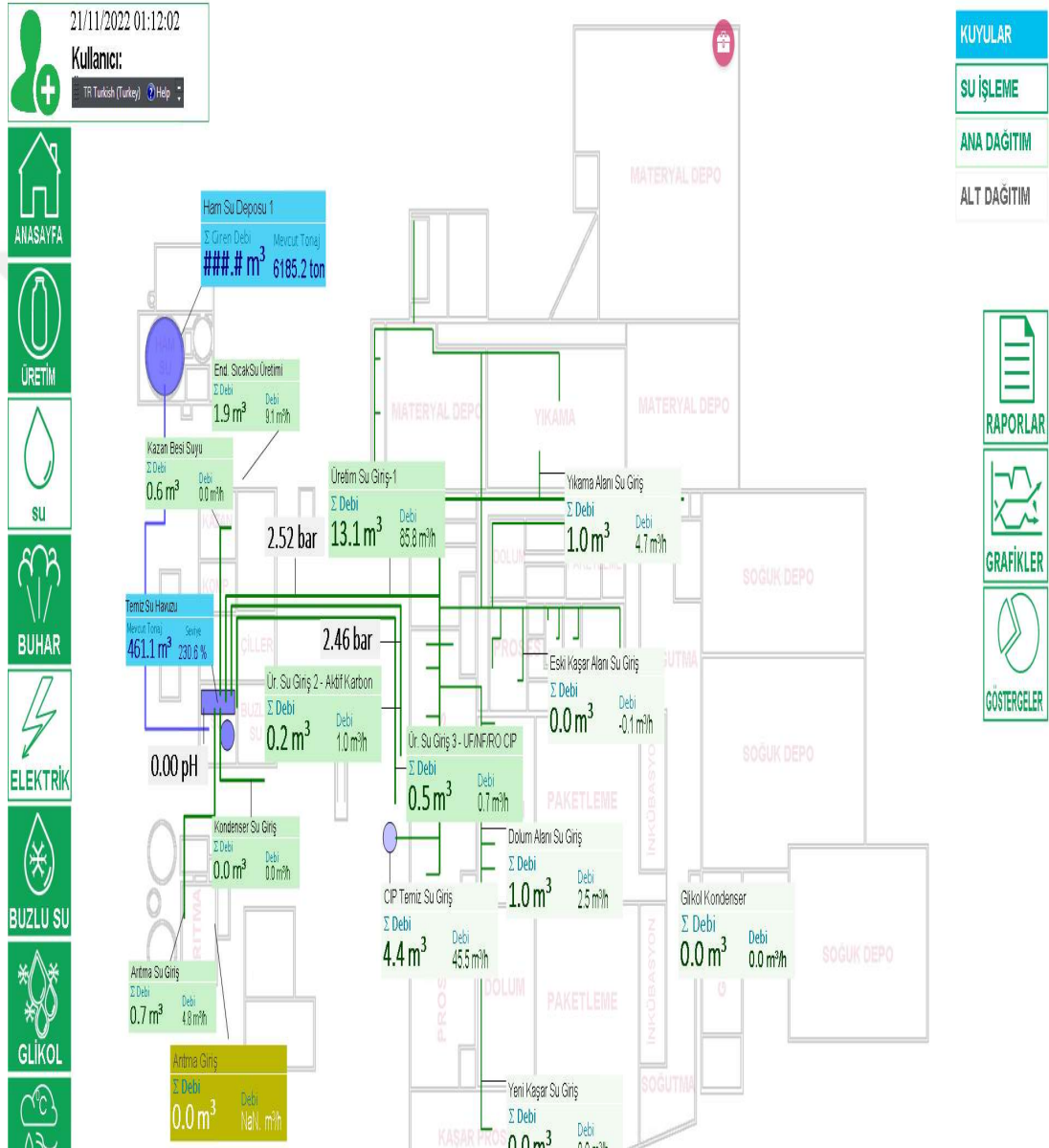
Şekil 4.9 : Dolum makineleri verimlilik takibi.

3 adet vidalı kompresörün ve soğutma akışkanı olarak kullanılan Amonyak (NH₃) gazının tüm fonksiyonları scada üzerinden izlenebilmektedir. Burada üretilen -6 °C su ile soğutulan son ürün soğuk hava depoları (4 °C) online olarak izlenebilmektedir. Burada oluşan alarmlar sorumlu kişilere e-posta yada mesaj yoluyla direk bilgilendirilmektedir. Şekil 4.10’da depoların sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Soğuk depolar sıcaklık ve performans takibi.

Fabrika içerisinde kullanılan su direkt olarak ürün içerisinde kullanılabilirdiği gibi ayrıca temizlik ve ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Kullanılan bu sular lokal olarak her bölgede debisi, iletkenliği, pH, sertliği vs gibi kalite parametreleri tanımlanmış olup sürekli olarak izlenebilmektedir. Aksi bir durumda kişilere e-posta yada mesaj yoluyla direk bilgilendirilmektedir. Şekil 4.11’de su performans takip sonucunun ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.11 : Su performans ve kullanım takibi.

Fabrika scada ekranı üzerinde 4x2500 kW kapasiteli 4 adet kuru tip trafonun elektrik tüketimi saatlik, günlük, aylık ve yıllık raporlar alınabildiği gibi, proses bazlı lokal kullanım kapasiteleride anlık olarak izlenebilmektedir. Şekil 4.12’de anlık izlenim görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.12 : Elektrik kullanımı performans izleme.

4.3 Personel Takip Sistemi Ve Raporlama

Bu bölümde yapılan analizler ve raporlamalar sonucundaki SQL intranet raporları ve wipelot takip sistemi raporları verilmiştir. Fabrika içerisinde çalışan tüm personel ile birlikte pazarlama ve satış ekiplerinde çalışan tüm personeller Wipelot personel takip sistemi ile sürekli olarak takip edilebilmektedir. Personelin üzerinde taşıdığı Wipelot kartlar çalışma alanlarındaki kurulu sinyal algılayıcılar ile bluetooth üzerinden haberleşmekte ve sisteme database üzerinden ilgili programların anlık konuşmaları sayesinde elde edilen raporlar ile performans, işçi sağlığı ve iş güvenliği, food defance ile sabotaj riskleri minimize edilebilmekte ve ayrıca ürün maliyetlendirme ve bütçeleme çalışmalarında saatlik maliyet muhasebesi yapılabilmektedir. Şekil 4.13’da personel takip sistemi görüntüsü ile Şekil 4.14’de takip sistem sonucunun raporlaması verilmiştir.



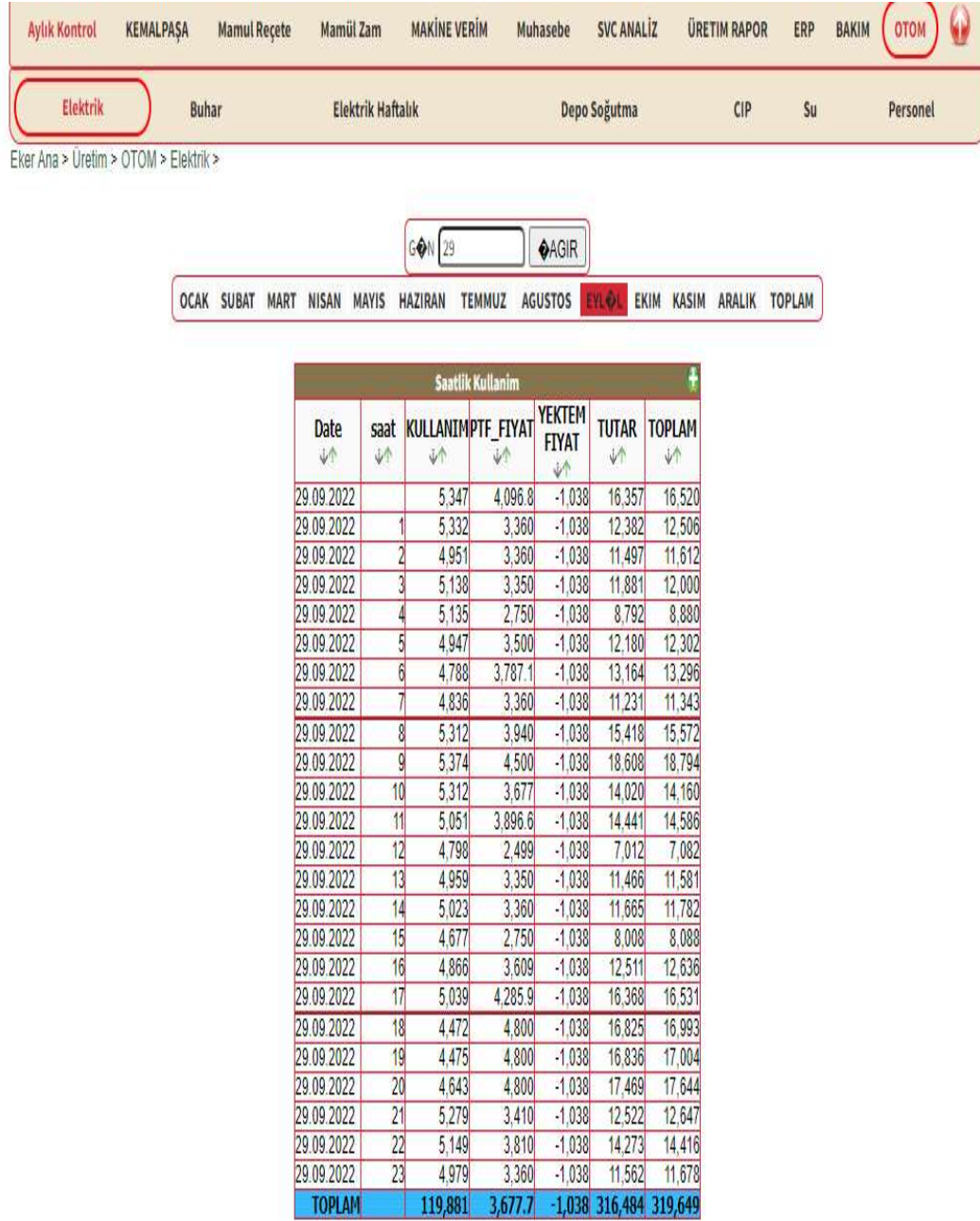
Şekil 4.13 : Firma wipilot personel takip sistemi sinyalizasyon kart okutma sistemi, sinyal dağıtıcı ve koordinatör sistemi.

Elektrik		Buhar	Elektrik Haftalık	Depo Soğutma	CIP	Su	Personel								
Haftalık Maliyet				Aylık Detay		Wipilot Takip									
BASTAR		01.10.2022	BİTTAR		31.10.2022	ANAKOD		Üretim İşçilik	TİP	FABRIKA	CAGIR				
PERSONEL VERİMLERİ															
İNAKOD	ALT KOD	Ünvanı	Wipilot Gün	OFİS	YEMEK	SOYUNMA	FABRIKA	KORİDOR	AÇIKALAN	TOPLAM	TANIMSIZ	ÇALIŞMA SAAT GECO	VERİMLİ SAAT	VERİMSİZ SAAT	VERİM
F20	101	Dolum Usta Yrd K	19	0	463.8	91.2	31.7	1.3	0	42.5	1	143.0	72.0	7.7	49.52
F20	101	Proses Usta Yrd	22	1	151.2	45.6	62.9	1.8	0	68.6	6	174.0	172.1	3.0	93.98
F20	101	İade Vİ K	26	3	1,542.0	75.0	102.6	5.9	0	135.7	0	207.0	185.6	25.1	91.32
F20	101	İade Vİ	26	7	655.2	306.6	98.8	1.6	0	117.2	0	207.0	177.7	14.7	87.30
F20	101	Genel Üretim İşçi	26	2	513.6	104.4	84.0	9.5	0	104.1	1	198.0	175.0	9.4	83.09
F20	101	Genel Üretim İşçi	22	4	457.2	21.6	73.2	6.4	0	88.0	0	167.0	155.7	7.2	89.59
F20	101	Lojistik Uzmanı	21	39.1	3,430.2	208.2	7.6	1	4.3	111.8	0	202.0	183.8	0	95.04
F20	101	Proses Ustabaşı	30	6	408.0	94.2	107.6	7.5	1	124.2	0	246.0	208.0	6.5	85.08
F20	101	Otomasyon Proses Usta Yrd. K.	29	5	492.0	28.2	163.7	2.4	1	175.4	0	227.0	220.7	7.8	96.25
F20	101	Paketleme Usta Yrd K	26	1	123.0	81.6	96.0	1.1	0	100.6	0	202.0	158.0	2.8	76.35
F20	101	İade Usta Yrd K	20	0	793.2	119.4	79.5	5	0	95.2	0	156.0	143.6	15.2	93.39
F20	101	Proses Usta	24	7	326.4	42.6	109.0	3.2	2.4	121.5	0	178.0	171.0	8.0	93.52
F20	101	Proses Usta	21	3	892.8	42.0	79.9	7.9	0	103.7	0	158.0	137.9	15.0	85.00
F20	101	Dolum Usta Yrd K	20	2	382.8	56.4	79.5	5.6	0	94.4	1.8	156.0	132.8	7.1	83.05
F20	101	Proses Usta	24	5	892.8	21.0	92.3	9.7	0	117.8	0	188.0	177.6	14.1	95.90
F20	101	Makine Op	26	1.0	767.4	208.2	80.2	10.9	0	109.5	2	195.0	168.1	15.5	80.50
F20	101	Proses Usta	18	4	307.8	25.2	65.2	11.7	0	82.8	0	137.0	129.2	5.1	90.22
F20	101	Proses Usta	26	0	0	0	0	0	0	0	0	202.0	213.5	0	100.00
F20	101	Otomasyon Proses Usta K.	24	4	414.0	31.8	86.2	3.0	0	97.4	4	272.0	143.4	6.5	64.81
F20	101	Dolum Usta Yrd	20	2	294.0	129.0	82.2	4.7	0	94.8	7	151.0	129.4	7.0	83.33
F20	101	Proses Usta	19	1	485.4	33.6	66.8	6.1	0	81.8	1	152.0	111.1	8.2	80.77
F20	101	Dolum Usta	26	1	672.6	37.8	137.4	2.9	0	152.2	0	206.0	189.9	11.2	92.86
F20	101	Proses Usta	23	0	0	0	0	0	0	0	0	178.0	185.5	0	95.65
F20	101	Proses Usta	25	1.4	1,139.4	75.6	84.9	17.6	1	124.5	3	185.0	148.2	18.9	76.47
F20	101	Proses Usta	25	1	363.6	73.2	31.6	1.9	0	41.0	1	188.0	169.0	6.9	87.33
F20	101	Dolum Usta	26	1.0	812.4	36.6	109.0	10.1	0	134.2	0	207.0	196.9	12.1	96.86
F20	101	Makine Op K	25	1.1	967.8	286.6	102.3	12.2	0	137.6	1.2	220.0	185.4	19.6	92.55
F20	101	Makine Op K	27	1.0	865.8	164.4	86.9	5.5	0	110.6	0	200.0	170.8	15.4	80.39
F20	101	Genel Üretim VKİ	26	0	34.8	6.6	7.3	0	0	8.0	0	185.0	195.3	7	96.07
F20	101	Makine Op K	18	8	397.8	106.2	62.3	1.7	0	73.1	0	138.0	117.6	8.0	81.55
F20	101	Proses Usta Yrd.	26	2.0	486.0	73.8	90.2	10.5	0	112.1	2	218.0	196.3	8.8	87.50
F20	101	Makine Op	27	3	494.4	213.6	95.4	7.0	1	114.8	2	200.0	179.8	11.1	83.83
F20	101	Dolum Op K	19	6	500.4	200.4	46.6	6.9	0	66.2	5	146.0	116.8	9.9	76.34
F20	101	Dolum Usta Yrd	23	1	507.0	193.2	104.2	7.6	1	123.6	0	185.0	176.7	11.0	93.70
F20	101	Otomasyon Proses Usta Yrd. K.	28	1.0	270.6	31.2	85.8	8	7	93.4	0	218.0	207.9	5.4	91.15
F20	101	Yükleme Sorumlusu	26	2.6	498.0	53.4	124.7	0	3	136.8	0	199.0	193.0	9.7	94.91
F20	101	Proses Ustabaşı	28	1.8	325.8	13.8	108.4	3.7	1	119.7	0	225.0	207.2	5.5	88.73
F20	101	Otomasyon Proses Usta	26	0	297.0	14.4	111.4	1.1	0	117.8	0	192.0	172.9	5.0	87.75
F20	101	Makine Op K	26	2	1,026.6	181.8	76.1	3.4	0	100.3	5	204.0	156.7	19.1	76.24
F20	101	Proses Usta K	21	1	591.6	55.2	99.3	7.3	0	117.5	0	163.0	152.3	10.2	91.87
F20	101	Dolum Usta K	26	3	598.8	60.0	122.8	5.9	0	139.9	0	211.0	204.8	10.1	98.94
F20	101	İade Vİ K	2	2	88.8	40.8	7.3	1	0	9.8	0	10.0	7.9	1.8	81.35
F20	101	Genel Üretim VKİ	26	2	921.0	547.2	113.9	6.4	0	146.0	9	204.0	183.2	23.0	92.48
F20	101	Proses Usta Yrd. K	22	1	486.0	75.0	87.1	6.2	0	102.8	0	174.0	168.8	8.9	98.03
F20	101	Otomasyon Proses Usta	31	2.1	308.4	25.2	157.1	3.4	0	168.3	0	249.0	239.0	4.7	93.63
F20	101	Çamaşhane Vİ	18	7	4,755.6	546.6	0	0	1	89.1	0	140.0	48.9	85.6	30.28
F20	101	Proses Ustabaşı	23	1.0	428.4	271.2	105.5	4.5	1	122.7	0	176.0	158.0	9.6	89.20

Şekil 4.14 : Wipilot personel takip sistemi raporlaması.

83

Şekil 4.17’de Endüstri 4.0 ile gelen veri akışı ile hazırlanmış SQL tabanlı raporlamaların intranet üzerinde örnek gösterimleri verilmiştir.



Şekil 4.17 : Elektrik kullanımı saatlik intranet raporlama.

4.4 Müşteri Şikayetlerinin Yıllara Göre Dağılım Analizi

Yapılan analizler ve raporlamaların sonucunda ise yıllara göre analiz yapıldığında Müşteri şikayetlerinde azımsanamayacak derecede azalma meydana gelmiştir. Yıllara göre müşteri şikayetleri dağılımı ve grafiksel analizi Şekil 4.18 ve Çizelge 4.1’de

verilmiştir. Yıllara göre müşteri şikayetleri incelendiğinde gıda güvenliği içerikli şikayetlerde zehirlenme ve ölümcül vakalara rastlanmamıştır.

Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da ise yıllara göre iade ürün oranı ve satışa sunulmayan ürün oranı analizi, KKN analizi ve raf ömrü analizi sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 2020 yılında iyileşme rakamları bir önceki yıla göre olumsuz yönde artmıştır. Bunun 2020 yılında tüm dünyada ve ülkemizde yaşanan pandeminin üretim ve satışları olumsuz etkilemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Endüstri 4.0’ın gıda güvenliği üzerine etkinliğinin en önemli göstergelerinden biri yıllara göre müşteri şikayetlerinin sayısındaki düşüş, iade oranlarının azalması, sevk edilemeyen ürün oranındaki düşüş ve buna bağlı olarak ürün raf ömürlerinin artması ve prosesteki KKN sayısının azalması olarak gösterilebilir.

Örnek olarak ayran proses hattını ele aldığımızda Çizelge 4.2’de yıllara göre ayran gıda güvenliği müşteri şikayet sayısı ve gıda güvenliği müşteri şikayet oranı (ppm) incelenecek olursa ayran proses hattındaki gelen gıda güvenliği müşteri şikayetleri incelendiğinde mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak gruplayabiliriz. Gelen şikayetlerin yıllar içinde alınan aksiyon planları ile önlendiği ve buna bağlı olarak belirgin bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Alınan Aksiyon planları ve etkisini alt başlıklarda görebiliriz.

a. Mikrobiyolojik gıda güvenliği şikayetlerine alınan aksiyon planları;

Gelen mikrobiyolojik gıda güvenliği şikayetleri üründe küflenme, ambalajda bombaj ve tad bozukluğu olarak tanımlanmıştır. İşletme içi gelen şikayetlere göre kontroller yapıldığında problemli olan noktalar tesbit edilmiş olup otomasyon sistemine bu iyileştirmeler dahil edilmiştir.

Ekipman temizliğinin etkin yapılamaması:

- Tüm objelerin otomatik temizlik sistemi olan CIP temizliğinde etkin temizlik yapılmayan hattı tesbit edebilmek için hat sonuna Endress+Hauser bulanıklık sensörü konmuş olup objelerin yıkanma esnasında ara durulanma ve son durulanmalarda ayran proses ve stok tanklarının tam olarak temizlenmediği görülmüştür. Tanklarının içine girilip görsel olarak incelendiğinde karıştırıcı kanatlarının alt kısımlarının kirli olduğu görülmüş olup tedarikçi kaynaklı dizayn hatası olduğu anlaşılmıştır. Tedarikçi ile ikli görüşmeler sonucunda tank

karıştırıcı kanatlarının altlarına etkin temizlik için dışarıdan tank içine girilecek şekilde CIP topu montajı yapılmış karıştırıcı kanatları CIP topunun objenin otomatik CIP sistemine dahil edilmiş olup CIP parametreleri değiştirilip güncellenmiştir. Bu uygulama tek tankta gerçekleştirildikten sonra tekrardan bulanıklık sensöründen alınan verilerle karşılaştırıldıktan sonra etkin temizlik yapıldığı anlaşılmıştır ve akabinde tüm proses ve stok tanklarında aynı uygulama yapılmıştır. Tedarikçi ile durum değerlendirmesi yapıldığında bir sonraki siparişlerde bu durumun ele alınıp uygulanması talep edilmiştir. Böylelikle tedarikçinin de kendi prosesinde gelişim sağlanması sağlanmıştır. Raf ömrü boyunca şikayetlerin tekrar edilme durumu incelendiğinde küflenme ve bombaş şikayetlerinde ciddi azalmalar gözlemlenmiştir. Alınan aksiyonun doğrulaması yapılarak iyi üretim uygulaması olduğu düşünülmüştür.

- CIP sisteminde kullanılan ilk durulama tankı, asit tankı, kostik tankı, son durulama tankı ve dezenfeksiyon tankları mevcuttur. Su tasarrufu için son durulama sularının yine otomasyon programına tanımlanması sonucu ilk durulama tanklarına alınıp cıp başlangıcında ilk durulama olarak kullanılmaktadır. Üretim programının yoğun olmasından dolayı operatörlerin ilk durulama tankının CIP ile kendi kendine yıkama işlemini ayda bir olacak şekilde yapılmaması kaynaklı ayran objelerinde yıkama sonrası mikrobiyolojik yük gözlemlenmiştir. Yapılan saha kontrolünde ilk durulama tankının temiz su ile olması gerekirken suda kirlilik tesbit edilmiştir. Buna bağlı olarak otomasyon scada programında tüm CIP tanklarının kendi kendine yıkama adımları öncelikli olarak 100 kullanımlık veya ayda bir olacak şekilde otomatik hale getirilmiş olup operatör kontrolünden çıkarılmıştır. Hatta eklenen bulanıklık sensörü ve iletkenlik sensörleri ile hat doğrulamaları yapılmış olup yıkama aşamalarında bulanıklık sensörü kirlilik yok ve iletkenlik sensörü kimyasal kalıntı yok parametreleri sağlandıktan sonra diğer adımlara geçmesi aşaması tanımlanmıştır. Buna bağlı olarak ayranları raf ömrü sonuna doğru bombaj yapması kaynaklı mikrobiyolojik problem çözümlenmiş olduğu görülmüştür.

- Ayran prosesinde kültür ilavesi adımı tank menhol kapağından manuel olarak yapılması ile ortam havası kaynaklı mikrobiyolojik bulaşma sonrası ürün raf ömrü sonuna doğru ürünlerde küflenme şikayetleri alınmıştır. Buna bağlı olarak bu probleme karşı alınan bir diğer önlemden kültür adımının otomatik olarak ayran sütünün inkübasyon tankına girmeden önce hatta inline olarak (sisteme montajı yapılan pozitif steri hava ortamında kültür enjeksiyon tankı) tanımlanan program ile kültür tankının içinden ayran sütünün 10 dk boyunca geçmesiyle kültürün otomatik olarak kapalı ortamda ayran sütüne karışması ve inkübasyonun çapraz bulaşma olmadan gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bunda aylar içinde şikayetlerin azalmasını sağladığı gözlemlenmiştir.
- CIP dönüş hatlarında kullandığımız bulanıklık sensörlerinden elde edilen veriler ile ara durulama ve son surulama sularının analiz ederek gönderilen kimyasalın temizlik etkinliğinin yetersiz olmasına istinaden etkin temizlik yapılamadığı ve buna istinaden ayıranda maya kaynaklı bulaşma riskini olmuş olabileceği ve ürünlerin raf ömründen önce bombaj ve şişme şikayetlerin alındığı tesbit edilmiştir. Bu durum tedarikçi ile paylaşılmış olup katkılı temizlik ürünlerinden vazgeçilerek ana temizlik ürünleri kostik ve nitrik asite geçilmesine karar verilmiştir. Uygulama sonrası tekrardan bulanıklık sensörleri ile ara ve son durulama sularından elde edilen veriler değerlendirilmiş olup alınan aksiyonun doğruluğu geçerli kılınmıştır. Yapılan üretimlere bağlı müşteri şikayetlerinde önemli derecede azalma gözlemlenmiştir.
- Yıkama sonrası kimyasal kalıntı kalma problemi hem inkübasyonun güvenli olmaması, faj riskini ortaya çıkarması ve ürünlerin tad, yapı ve mikrobiyolojik bozulmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. CIP sonrası etkin temizlik için kimyasalın obje içinde kalmadığından emin olmak için hat sonlarına Endress+Hauser iletkenlik ölçer sensörü monte edilmiştir. Böylece CIP son durulama etkinliği programa eklenen zaman parametreleri, iletkenlik ölçer ve bulanıklık sensörleri ile doğrulanmış ve geçerli kılınmıştır. Operatörlerin turnusol kağıdı ile manuel kalıntı kontrol işlemleri iptal edilmiş olup yapılan tüm işlemler

Endsütri 4.0 kapsamında sensörler üzerinden programlama ile çözümlenmiş ve geçerli kılınmıştır.

- Ayran prosesindeki tüm objelerden ürün başaltıldıktan sonra CIP ile temizlik yapılana kadar beklenen süreler bakılarak CIP temizlik süresi parametrelerinin kirlilik ve ürün yüzey yapışması arttığı için sürenin uzamasına bağlı olarak kimyasal sirkülasyon sürelerinin optimizasyonu yazılımla desteklenmiştir. Böylece farklı kirlilik derecelerinde farklı temizlik parametreleri uygulanmış olup temizliğin etkinliğinin geçerli kılması sağlanmıştır.
- Ayran prosesinde tüm objelerin temizlendikten sonra üretim başlangıç zamanına kadar geçen temiz kalma süresi yazılım ile izlenmekte olup 24 saati aşan durumlarda hattın tekrar kirliye düşmesi ve yeniden CIP işlemine başlatılması yazılım desteği ile scada da sağlanmıştır. Böylece hattın çalışmadığı durumlarda ortam havasından yada hat içi bekleyen temiz suyun kirlenme durumu ihtimaline karşı ürüne küf ve maya gibi mikrobiyolojik bulaşmanın önüne geçmesi sağlanmıştır.
- Bardak ayran dolum makinalarında ambalaj kaynaklı mikrobiyolojik bulaşmayı engellemek için dolum makinasında bardak alma istasyonundan sonra ambalaj dezenfeksiyonu için pulsed light sterilizasyon istasyonu eklenmiştir. Claranor firmasının geliştirdiği darbeli ışık çözümü, kimyasal ve su kullanmayan temiz teknoloji bir paketlenme sterilizasyon işlemidir. Geleneksel teknolojilere kıyasla düşük enerji tüketimine ve düşük karbon ayak izine sahiptir. Darbeli ışık teknolojisi, bir ksenon lamba tarafından üretilen yoğun beyaz ışık flaşlarının bakterisidal etkisine dayanmaktadır. Enerji bir kapasitörde toplanır ve yüksek voltaj sinyali bir ksenon lambasında bir ark kıvılcımı oluşturur. Bu ark, yoğun bir parlaklık parlaması başlatır. Flaş 300 mikrosaniye sürer. Flaş tüm beyaz ışık spektrumunu kapsar, ancak özellikle UV ışınları açısından zengindir. Uygulanan bu işlem sonucu küf ve bakterilerde 5 log'a kadar azalma ile yüksek düzeyde dekontaminasyon elde edilmesi sağlanmıştır. Böylece ambalajdan gelebilecek ve kontamine olabilecek mikrobiyolojik bozulmalar yüksek oranda problem olmanın önüne geçilmiş olduğu görülmüştür.

İşletme içi, dolum makinası ve ortam hava temizliğinin etkin yapılamaması:

- Ayran üretiminde ortam havası, proses tanklarının ve dolum sistemindeki ortam havasının küf ve maya olarak yapılan mikrobiyolojik ekimler sonucu tesbit edilmesine bağlı olarak ortam havası kaynaklı mikrobiyolojik bulaşma sonrası ürün raf ömrü sonuna doğru ürünlerde küflenme şikayetleri alınmıştır. Buna bağlı olarak bu probleme karşı alınan bir diğer önlemden ortam havasının temizliği için işletme içindeki klima santraline ilave olarak santralin otomasyon sistemine dahil edilmesi sağlanmıştır. Santraldeki hepa filtrelerin konulan Endress+Hauser basınç sensörleri ile basınç farkları kontrolü sağlanmış olup, santralin çalışıp çalışmama kontrolleri, hepa filtrelerin kirlilik durumu ve buna bağlı değişim durumları, ortam dezenfeksiyonunun yine otomasyonla sağlanması adımları program ile scadaya tanımlanmış olup operatör kontrolünün dışında tüm işlemlerin otomasyonla sağlanmıştır. Kirlilik oluşma durumunda tüm dolum sistemi ürün gönderme adımları durdurularak sistem normale döndürüldükten sonra devamlılığı sağlanmıştır. Yine aynı şekilde temizlenen ve dezenfeksiyonu yapılan ortam havası hem dolum makinalarında dolum ortamı için hemde tüm stok ve proses tanklarında hava ile itmelerde ana kaynak olarak kullanıldığı için önemlidir. Yine aynı anlayışla tüm dolum makinalarında dolum ünitelerinin üzerine havalandırma santralleri kurulmuş olup ortam havasının tekrardan hepa filtreler vasıtası ile temizlenerek makine içi dolum istasyonuna laminizatör ile laminar bir akış formunda pozitif bir basınç ile ürünü ortam havasından kaynaklı çapraz bulaşma riskine karşı korunması sağlanmıştır. Sağlanan temiz hava yine önce dolum makinası PLC programı ile kontrolü sağlanmakta ve programın işleyişi ana scada ve otomasyon programı ile aynı anda haberleşebilmektedir. Oluşan bir arıza durumunda dolum sistemi durdurulmakta ve konform olmayan ürünlerin bulunduğu hat boşaltılmaktadır. Burada sağlanan gıda güvenliği otomasyon sistemi ile ayranlardaki mikrobiyolojik bulaşma sonucu şişmesi, küflenmesi ve tad bozukluğu şikayetlerinde azalma gözlemlenmiştir.

- İşletmede tüm hava hatlarının temizlik ve sterilizasyonu sağlanmaktadır. Küf kaynaklı müşteri şikayetleri ele alındığında hava hatlarının zaman zaman sterilizasyondan çıktığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak otomasyon sisteminde süre ve ürün durumuna bağlı olarak kontrol parametreleri tanımlandı. Sterilizasyondan çıkma durumunda steril havanın beslediği objelerde dolum ve yeni ürün alımına izin verilmemesi programlanmıştır. Steril hava ünitesinin tekrardan sterilizasyonunun sağlanması için otomastik buhar ile tekrardan sterilizasyonun başlatılması programlanmıştır. Bu uygulamalar ile küf şikayetlerindeki azalmalara etkisi dolum sonrası alınan ürün numunelerinde gözlemlenmiştir.
- Dolum esnasında stok tankındaki steril hava basıncı IFM veya Endress+Hauser basınç sensörleri ile ölçülerek kademeli bir basınç artışı gözlemlenmediği durumda objede hava kaçağı olabileceği ihtimaline istinaden ve sonrasında ortam havasından küf ve maya kaynaklı çapraz kontaminasyon riskine karşı dolum sonrası obje ile ilgili bakım operasyonları sistem üzerinden online olarak başlatılır ve izlenir.
- Ayran küflenme şikayetlerinin incelendiğinde problemlerin biride son ürün ambalajlarının dolum makinasında PP ambalaj ile folyonun ısı ile tamamen etkin yapışmaması sonucu ambalajın açık kalması ve bu noktadan hava alarak ürünün raf ömrü boyunca küflenmesine sebep olmaktadır. Burada müşteri şikayetleri sonucu gelen ürün incelendiğinde alüminyum folyonun sıcaklık ve baskı ile yapışma noktaları incelenmiş ve baskılamanın eşit olmadığı anlaşılmıştır. Bunun için üretim boyunca ürünlerin yapıştırma performanslarını izlemek için vakum istasyonu makine içine ilave edilmiş olup tüm kapama sonrası bardaklar vakum testinden geçirilir ve hava kaçıran bardaklar kontrol istasyonuna yerleştirilen sensörler vasıtası ile makinanın PLC kontrolüne sinyal gönderir ve hat sonunda problemlili ürünlerin ayrılmasını sağlayarak konform ürünlerin paketlenmesini sağanmıştır. Böylece tm sevk edilen ürünlerde tam ve etkin kapama

sağlanmış ürünler sevk edilmesi ile küflenme şikayetlerinin azalması sağlanmıştır.

Pastörizasyon ve fermentasyon işleminin etkin yapılamaması:

- Ayran pastörizasyon sisteminde pastörizasyon bölümünde plakalardan geçen ürün sıcaklığını ölçen 2 adet IFM ve Endress+Hauser sıcaklık transmitörü konmuş olup otomasyon sisteminde yazılımla desteklenerek ölçüm doğruluğunun yapılması ve kalibrasyon zamanının sistemsel önerimi yapılması sağlanmaktadır. Aynı zamanda pastörizasyon işleminde sıcak su sistemi sıcaklığı ile pastörize ürün sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını sürekli ölçülmesi için yazılıma güvenlik parametresi de eklenmiştir. Böylece ürünün ısıtılmasındaki pastörizasyon etkinliği takip edilmiş olacaktır. Sıcaklık farkı arttıkça ürünün plakalara yapışmaya ballaması gerçekleşmekte ve objenin CIP zamanının geldiği anlaşılmaktadır. Böylece ürünün üretimde kalma zamanının kontrolü sağlanmış ve pastörizasyon etkinliği sağlanmış olmaktadır.
- Ayran inkübasyon sıcaklıkları, ayran soğuk hava deposu depolama sıcaklıkları, ayran seviyat soğuk zincir sıcaklık takipleri sürekli olarak online takip edilmektedir. Tüm programlar scadada otomasyon üretim sistemine, soğuk oda ve soğuk zincir depolama ve sevkiyat sistemleride sıcaklık sensörlerinin otomasyon sistemine online aktarımı sonucu ürünün üretimden son tüketiciye ulaşana kadar takip edilmesi ve +4 C üstü tolerans limitlerinin dışına çıkma durumunda tanımlanan program ile sistemin alarm üretmesi ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Fermente ürünler gıda güvenliğinde soğuk zincir takibi en önemli gereksinim olup çok sıkı takip edilmesi gerekmektedir.
- Ayran üretiminde ve proseste ekipman içinde ürün itmelerinde kullanılan temiz suyun proseslenmesi aşamasında suyun dezenfeksiyonunda ozon sistemine geçilmesi ve aktif oksijen miktarının ve suyun pH sınırının online olarak otomasyon sisteminde takip edilmesine geçilmiştir. Su kaynaklı olabilecek mikrobiyolojik kontaminasyon ile ürün fermentasyonunun güvenli bir şekilde

gerçekleşmesi sağlanmış olup ürün raf ömrü boyunca kimyasal ve mikrobiyolojik gıda güvenliği şikayetlerinin azalmasında etkin bir aksiyon alınmasını sağlamıştır.

İzlenebilirlik ve kök neden analizinin tam yapılamaması:

- Müşteri şikayetlerinin iyibir şekilde analiz edilmesini sağlamak için firma içinde otomasyon sisteminde, tüm ekipmanların Endüstri 4.0 alt yapısı ile desteklenerek kullanılan tüm programların birbiri ile konuşmasını sağlamıştır. Süt toplama merkezlerinden mühtahsil bazlı süt kalitesi kayıt sistemi ile sütün fabrikaya gelmesi sütün analizlerinin yapılması ve sütün toplama aşamasından son ürün olarak müşteriye servis edilene kadar geçen tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi ile kontrol altına alınmıştır. Hammadde, proses, yardımcı malzeme, dolum sistemi, stoklama sistemi, temizlik sistemi, bakım sistemi ve soğuk zincirde sevkiyat sistemi ürün üzerine vurulan barkod sistemi ile ürün geçmişi takip edilebilmektedir. Müşteri şikayetleri analizlerinde ürün izlenebilirlik sistemi geliştirilmiş olup yazılım ile üretim hikayesindeki tüm durumlar raporlanabilmektedir. Problemin mühtemel sebepleri raporlaması yapıldıktan sonra buna uygun aksiyon planları yukarıda baksi geçen iyileştirme adımlarının atılmasını sağlamıştır. Tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi gıda güvenliğini sağlamada en etkili uygulama olup akıllı yazılımlarla ürün takibi yapılabilmektedir. Müşteri memnuniyet düzeyi artırılması amaçlanmıştır. Ürün üzerine yerleştirilen karekod uygulamaları ile ürün tanımlamaları müşteri tarafından biliniyor olması işletmeye ve tüketilen ürüne olan güveni sağlamaktadır.

b. Kimyasal gıda güvenliği şikayetlerine alınan aksiyon planları;

- CIP ile temizlik sonrası kimyasal kalıntı kalma problemi hem inkübasyonun güvenli olmaması, faj riskini ortaya çıkarması ve ürünlerin tad, yapı ve mikrobiyolojik bozulmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. CIP sonrası etkin temizlik için kimyasalın obje içinde kalmadığından emin olmak için hat sonlarına Endress+Hauser iletkenlik ölçer sensörü monte edilmiştir. Böylece CIP son durulama

etkinliği programa eklenen zaman parametleri, iletkenlik ölçer ve bulanıklık sensörleri ile doğrulanmış ve geçerli kılınmıştır. Yapılan tüm işlemler Endüstri 4.0 kapsamında sensörler üzerinden veri aktarımı ile programa eklenen yazılımlar ile çözümlenmiş ve geçerli kılınmıştır.

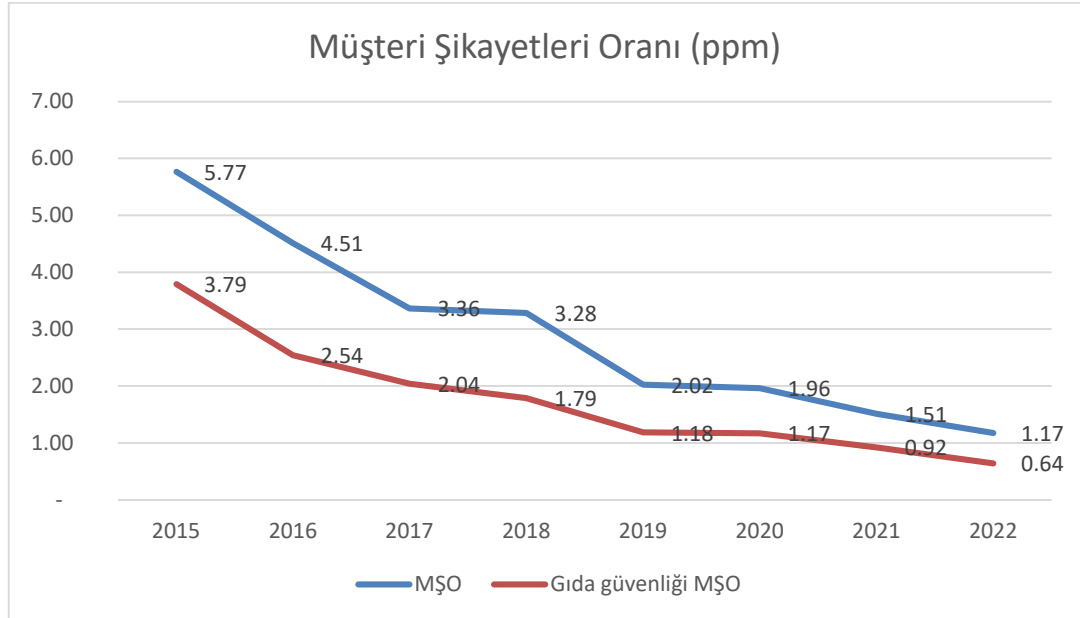
c. Fiziksel gıda güvenliği şikayetlerine alınan aksiyon planları;

- Ayran prosesinde şişe dolum hattında yabancı madde kaynaklı (cam) müşteri şikayetlerine karşı şişe ayran hattına optik okuyucu kontrol sistemi kurulması ile sistemde ürün içinde cam kaynaklı müşteri şikayetlerinin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Optik okuma sistemindeki sensörler problemlili ürünün hattan çıkarılmasını sağlayarak güvenli ürünün hatta ilerlemesini sağlamaktadır. Optik okuma sisteminin makine PLC programı ile haberleşmesi ve dolum makinasında ana scada programı ile haberleşmesi sağlanarak hattın performansı sürekli olarak izlenmesi sağlanmaktadır.
- Ayran prosesinde poşet bardak dolum hattında yabancı madde kaynaklı (metal) müşteri şikayetlerine karşı bardak ayran hattına X ray kontrol sistemi kurulması ile sistemde ürün içinde metal kaynaklı müşteri şikayetlerinin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. X ray sistemindeki sensörler problemlili ürünün hattan çıkarılmasını sağlayarak güvenli ürünün hatta ilerlemesini sağlamaktadır. X ray sistemindeki makine PLC programı ile haberleşmesi ve dolum makinasında ana scada programı ile haberleşmesi sağlanarak hattın performansı sürekli olarak izlenmesi sağlanmaktadır.
- Ayran prosesinde poşet bardak dolum hattında yabancı madde kaynaklı müşteri şikayetlerine karşı bardak ayran hattına UV, hidrojen peroksit ve kap aspiratörü kontrol sistemleri kurulması ile sistemde ürün içinde ambalaj malzemesi kaynaklı yabancı madde ve mikrobiyolojik problemleri engellenmesi düşünülmüş olup buna bağlı olarak müşteri şikayetlerinin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Tüm bu gıda güvenliği ek sistemindeki sensörler tanımlanan parametrelerin dışına çıkılması durumunda makineyi durdurmakta ve problemlili ürünün hattan çıkarılmasını sağlayarak güvenli ürünün hatta ilerlemesini

sağlamaktadır. Bu gıda güvenliği ek sistemler makine PLC programı ile haberleşmesi ve dolum makinasında ana scada programı ile haberleşmesi sağlanarak hattın performansı sürekli olarak izlenmesi sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak yabancı madde kaynaklı müşteri şikayetlerinin azaldığı yıllar itibari ile gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 : Üretim adetlerine göre müşteri şikayet oranı (ppm).

Yıllar	Müşteri Şikayetleri Oranı	Gıda Güvenliği Müşteri Şikayetleri Oranı	Açıklama
2015	5.77	3.79	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2016	4.51	2.54	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2017	3.36	2.04	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2018	3.28	1.79	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2019	2.02	1.18	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2020	1.96	1.17	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2021	1.51	0.92	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.
2022	1.17	0.64	Zehirlenme veya ölümcül bir vaka olmadı.



Şekil 4.18 : Yıllara göre MŞO-Gıda Güvenliği MŞO

Çizelge 4.2 : Yıllara göre ayran gıda güvenliği müşteri şikayetlerinin sayısı ve oranı (ppm)

Müşteri Şikayeti Çeşidi(ad-ppm)	Gıda Güvenliği Türü	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Küflenme	Mikrobiyolojik	39- 0.11	38- 0.08	38- 0.07	28- 0.05	27- 0.04	26- 0.05	25- 0.04	20- 0.04
Tad bozukluğu	Kimyasal	40- 0.11	31- 0.06	51- 0.1	29- 0.05	29- 0.04	35- 0.07	75- 0.11	26- 0.05
Bombaj	Mikrobiyolojik	90- 0.24	83- 0.17	82- 0.15	48- 0.09	47- 0.07	4.0- 0.01	2.0- 0.00	2.0- 0.00
Kapama problemi	Mikrobiyolojik	32- 0.09	34- 0.07	33- 0.06	21- 0.04	20- 0.03	13- 0.02	10- 0.01	2.0- 0.00
Yabancı madde	Fiziksel	9.0- 0.02	8.0- 0.02	7.0- 0.01	4.0- 0.01	4.0- 0.01	3.0- 0.01	2.0- 0.00	2.0- 0.00
Toplam şik. (adet)		210- 0.57	194- 0.41	211- 0.40	130- 0.24	127- 0.20	81- 0.15	114- 0.17	52- 0.09

Çizelge 4.3 : Yıllara göre iade oranı ve satışa sunulmayan ürün oranı.

Yıllar	İade oranı/üretim tonajı	Satışa sunulmayan ürün/üretim tonajı
2015	1.56%	0.250%
2016	1.55%	0.225%
2017	1.41%	0.220%
2018	1.39%	0.200%
2019	1.33%	0.195%
2020	1.33%	0.250%
2021	1.23%	0.175%
2022	0.99%	0.145%

Çizelge 4.5’de Gıda güvenliği KKN 2015 te 21 iken 2022 de 17 ye düşürülmüştür. Sistemdeki pastörizatörler geçmiş yılların trend azalışlarına göre parametre dışına çıkma durumunda sistem kendini korumaya alacak şekilde tasarlandığı için artık izleme adımından çıkarılmıştır.

Çizelge 4.4 : Yıllara göre KKN sayısı analizi.

Yıllar	KKN	OÖGP	Toplam
2015	21	20	41
2016	21	20	41
2017	20	20	40
2018	19	21	40
2019	18	22	40
2020	17	23	40
2021	17	23	40
2022	17	23	40

Çizelge 4.5 : Ürün raf ömrü analizi.

Yıllar	Sıvı Ürünler(Gün)	% Değişim
2015	21	-
2016	21	0%
2017	28	33.3%
2018	28	0.0%
2019	32	14.3%
2020	32	0.0%
2021	32	0.0%
2022	36	12.5%

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin gıda işleme sektörüyle ilgili bazı uygulama alanlarını sunmaktadır. Şüphesiz, teknolojik devrimin dördüncü dalgası sektör genelinde şimdiden yerini almıştır. Bu yeni çağda, sensörler, makineler, iş parçaları ve BT sistemleri, tek bir organizasyonun ötesinde değer zinciri boyunca birbirine bağlıdır. Siber-fiziksel sistemler, standart internet tabanlı protokolleri kullanarak birbirleriyle iletişim kurabilir ve karar verme süreçlerinin gerçekleştirilmesine yardımcı olmak için verileri analiz edebilmektedir. Görülen faydalar ise kaynak verimliliğindeki iyileşme, maliyetlerin düşürülmesi, pazara erişim, müşteri memnuniyeti, sistematik yönetim, gelişmiş gıda güvenliği ve şeffaflıktır.

Gıda sektöründeki bu üst düzey gelişmelere rağmen, küçük ve orta ölçekli şirketler arasında Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanabilirliğini araştırmak için araştırma ve çalışmaların devam edilmesi önerilmektedir. Yatırım maliyeti, bakım ve uygulanabilir kavramlar dikkat edilmesi gereken konular olacaktır. Diğer bir açık soru, veri yönetimi, altyapı, veri madenciliği, gizlilik, güvenlik ve kaos ile ilgili teknik hazırlık olacaktır. Artan bağlanabilirlik ve standart iletişim protokollerinin kullanımı ile endüstriyel sistemlerin siber güvenlik tehditlerinden korunma aşırı önem arz etmektedir. Sonuç olarak, güvenli iletişim, gelişmiş veri yönetimi ve etkili politika uygulaması için sürekli iyileştirmeler yapılması gerekecektir. Tüm bu süreçlerde tavsiyem etkileşimli ve kullanıcı dostu arayüzlerin geliştirilmesi olacaktır. Arayüzler, uygulama türüne ve kullanıcıların beklediği amaçlara göre uyarlanmalıdır. Belirleyici faktör, öğrenme kolaylığı, doğru iş yürütme ve düşünme yükünün ve hata yapma oranının azalması yanında hızlı ve esnek üretim artıları olacaktır.

Şirketler Endüstri 4.0'ın eksi ve artı yönlerini detaylıca inceledikten sonra bazıları hemen yatırım yapabilecekken, bazıları ise bekle ve gör yaklaşımını tercih etmektedirler. Bu karar, belirli teknolojilerin olgunluk seviyesinden ve gerekli iş gücü profilinden etkilenebilir. Bununla birlikte, kavranması gereken önemli bir gerçek ise, teknolojilerin benimsenmesinin, şirketin sorunlarının, gereksinimlerinin ve yeteneklerinin anlaşılmasına bağlı olacaktır. Ancak teknolojinin amacı, şirketin

ihtiyacını karşıladığında ve potansiyeline uygun olduğunda, şirket teknolojik avantajlardan uygun şekilde yararlanabilecek ve artan rekabet koşullarında kendine avantaj sağlayacaktır.

İncelenen firmada Endüstri 4.0 yaklaşımının benimsenmesi ve uygulanması ile gözlenen değişimler aşağıda özetlenmiştir:

- İzlenebilirlik altyapısı yenilenmesi ile ürün geçmişi, ürün etiketleme ve palet barkodlama sistemi ile entegre bir şekilde çok hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. İç denetim ve dış denetim geri çağırma tatbikatlarında 2 saat içinde geri çağırma yapılan tüm ürünleri ulaşılabilmekte ve ürün paleti üzerindeki barkod etiketi ile ürün depolama, dolum, proses, ön proses, hammadde ve girdi bilgilerine ulaşılabilir. İlgili ürün proses hikayesi sistemden çıkartılıp ürünün çiftlikten sofraya kadar hangi aşamada ve hangi etkenle olumsuz değişime uğradığı hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir.
- 2015 yılından başlayarak 2017 yılından itibaren Endüstri 4.0 uygulamasına geçilmesine takiben 2022 yılına kadar yapılan analizler sonucunda toplam müşteri şikayetleri oranı 5,77 ppm den 1,17 ppm'e gerilemiştir. Toplam gıda güvenliği müşteri şikayetleri oranı 3.79 ppm'den 0.64 ppm'e gerilemiştir. Bu süreçte hiçbir şekilde gıda zehirlenmesi ve ölüm vakası meydana gelmemiştir.
- İade ürün tonajının toplam ürün tonajına oranı 2015 yılında %1,56 iken 2022 yılında bu oran %0,99'a gerilemiştir. Buna bağlı olarak uygun olmayan ürün oranının 2015 yılında %0,25 iken 2022 yılında %0,145'e gerilemiştir.
- Gıda güvenliği ile ilgili olarak 2015'de üretim prosesinde 21 olan gıda güvenliği KKN sayısı 2022 yılında 17'ye düşürülmüştür. Buradaki iyileşme ise 3 adet pastörizatör ve soğuk depodaki sıcaklık takipleridir. Tüm prosesin kalite parametrelerin sıcaklık takipleri trend analizleri yapılarak kurulduğu günden bu yana alınan önlemler ve yazılan önleyici faaliyet yazılımları ile birlikte risk grubunun gıda güvenliği ekibi tarafından OÖGP olarak değiştirilmesi ile gerçekleşmiştir.
- Raf ömrü analizi sonuçlarını göre 2017 sonrası prosesin endüstri 4.0 uygulamaları ile daha kontrollü ve önleyici faaliyet içermesi ile birlikte sıvı ürünlerin raf ömürlerinin 21 günden 36 güne çıkarılması sağlanmıştır. Toplamda ise %71,4 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Yine buradaki iyileştirmeler müşteri şikayetleri başlığındaki alınan aksiyon planları sonucu

hem müşteri şikayetleri azaltılmış hem de ürün raf ömrü analizleri yapılarak ürünlere ek raf ömürleri verilmiştir. Buradaki iyileştirme ayrıca müşteri memnuniyetinide artırdığı gözlemlenmiştir.

- Endüstri 4.0 ın tüm gıda güvenliği etkilerinin yanında ilave olarak verimlilik performansına bakıldığında ise 1 ton üretim başına elektrik, gaz ve su tüketim miktarı ile işçilik saat harcamasında 2015 yılından 2022 yılına kadar önemli düzeyde iyileşmeler elde edilmiştir.

Endüstri 4.0 ile yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde verimlilik, gıda güvenliği üzerine etkisine ait bir çalışma bulunamadığı için elde edilen sonuçlar kıyaslanamamıştır. En son TÜSİAD ve BCG nin Mart 2016 Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olarak sanayi 4.0 raporunda **toplam maliyetlerde %4-7 oranında verimlilik artışı** öngörülmesine değinilmiştir. **Elde edilen sonuçlara göre toplam maliyetlerde bu oran yakalanmıştır.**

Sonuç olarak Endüstri 4.0 uygulamalarının gıda güvenliği ve verimlilik üzerinde etkili olduğu ve bu konuda yapılan çalışmaların daha da artırılarak (örn; tarım 4.0, otonom araçlar ile süt toplama, bulut teknolojisi vb.) gıda sanayi başta olmak üzere tüm işletmelerde uygulanması ve desteklenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alçın, S.** (2016). Üretim İçin Yeni Bir İzlek Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 8, 19-30.
- Altekruse, S., D. Street, S. Fein & A. Levy.** (1996). Consumer knowledge of foodborne microbial hazards and food handling practices. *Journal of Food Protection*, 59, 287-294.
- Artık, N., Şireli, U. T., Ormancı-Bilir, S. & Konar, N.** (2012). ISO 22000 HACCP ve Gıda Güvenliği Uygulamaları Eğitimi. TESK Eğitimi Antalya.
- Aslan, H. Ve Kocatürk, K.** (2016). Yeni Sanayi Devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası (Rapor no. 2017). Ankara: TÜBİTAK Kurumsal Raporu.
- Badrie N, Gobin A, Dokeran S, Duncan R.** (2006). Consumer Awareness And Perception To Food Safety Hazards in Trinidad, *West Indies. Food Control*, (17), 370-377.
- Balçık, G.** (2008). HACCP, Gıda Güvenliği ve Risk Yönetim Sistemi. *Su-mae Yunus Araştırma Bülteni*, (3), 8-10.
- Brettel M. Ve ark., (2014).** How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Information and Communication Engineering* (Vol. 8, pp: 1).
- Bulduk, S.** (2003). *Gıda ve Personel Hijyeni*, (179 s.). Ankara: Detay Yayıncılık.
- Bulut, E. & Akçacı, T.** (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında türkiye analizi. *Assam Uluslararası Hakemli Dergi*, 7, 50-72.
- Bulut depolama hizmetleri.** (2021). Şubat 13, 2001, <http://www.muhendisbeyinler.net/en-iyi-5-uccretsiz-bulut-depolama-hizmetleri-2021>
- Büyük veri nedir?**(2019). Mart 02, 2019, <http://ozgununlu.com/blog-detay/buyuk-veri-nedir-big-data>.
- Cerit, S.** (2022). *Dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) ve Türkiye ekonomisine yansımaları etkisi* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Delgado, E.** (2000). The Cristal Programme: HACCP Application For The Tourism Industry. *In Conference Proceedings, Food Safety In Travel And Tourism*, 78-94.
- Endüstri 4.0.** (t.y.). Erişim: 04 Nisan 2020, <https://vahaptecim.com.tr/endustri-4-0/>
- Erkmen O, Bozoglu TF.** (2008) *Food Safety*. Ankara: İlke Publishing Company.

- Yildiz, F. (2021).** Gıda Kaynaklı Hastalıklar ve Rahatsızlıklar. Retrieved June 15, 2021, from <https://www.researchgate.net>
- Fırat, Ümit., Seniye & O. Z. Fırat. (2017).** Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: Kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye. *Toprak İşveren Dergisi* 114 10-23.
- Giray H, Soysal A. (2007).** Türkiye’de gıda güvenliği ve mevzuatı. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni 6, 485-490-4.
- Gölzer, P., Fritzsche, A. (2017).** Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. *Production Planning and Control* 28 (16), 1332-1343.
- Griffith, C. (2000).** *Food Safety in Catering Establishments. In: Farber, J. M, Todd, E. C. (Eds.), Safe Handling of Foods.* Marcel Dekker, New York, 235-256.
- Hasnan, N., & Yusoff, Y. (2018).** Application Areas of Industry 4.0 Technologies in Food Processing Sector, 26-28.
- Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A., Rathod, N., Bader, F., Barba, F., Biancolillo, A., Cropotova, J., Galanakis, C., Jambrak, A., Lorenzo, A., Måge, I., Ozogul, F., Regenstien, J. (2022).** The Fourth Industrial Revolution in The Food Industry—Part I: Industry 4.0 Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2-12.
- Jin, C., Bouzembrak, Y., Zhou, J., Liang, Q., Bulk, L., Gavai, A., Heuvel, L., Hoenderdaal W., & Marvin, H. (2020).** Big Data in food safety- A review. *Current Opinion in Food Science*, 36: 24-32.
- Karagözlü, N. (2003).** Yeni Süt Ürünleri Geliştirme Proseslerinde HACCP ve Diğer Kalite Güvence Sistemlerinin Birlikte Kullanılabilirliği. *Süt Endüstrisinde Yeni Eğilimler Sempozyumu*, P1, 189-193.
- Laney D. (2001).** 3D Data Management: Controlling Data Volume, *Velocity and Variety*. Tech. rep. Meta Group.
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. (2013).** Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manuf. Lett*, 1 (1), 38–41.
- Luque, A., Estele Peralta, M., Heras, A. & Cordoba, A. (2017).** State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing Science*, 13, 1199-1205.
- Luque, A., Peralta, M. E., De Las Heras, A., & Córdoba, A. (2017).** State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing*, 13, 1199–1205.
- Endüstri 4.0. (t.y.).** Erişim: 04 Nisan 2020, [https ://vahaptecim.com.tr/endustri-4-0/](https://vahaptecim.com.tr/endustri-4-0/)
- Pamuk, N., Sinem,, & Soysal, M. (2018).** Yeni sanayi devrimi endüstri 4.0 üzerine bir inceleme. *Verimlilik Dergisi* 1 41-66.
- Poonpakdee, P., Koiwanit, J. & Yuangyai, C. (2017).** Decentralized Network Building Change in Large Manufacturing Companies Towards Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 110, s. 46-53

- Santos, M. Y., Oliveira e Sá, J., Andrade, C., Martinho, B., Galvão, J.** (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management* 37, (6), 750-760.
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y., Hong, G. S., & Chiu, A.** (2015). A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1, 308–319.
- TongKe, F.** (2013). Smart agriculture based on cloud computing and IOT. *Journal of Convergence Information Technology*, 8 (2).
- Turantaş F, Ünlütürk A.** (1998). Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları. İzmir: Mengi Tan Basımevi, 483-516.
- Türkcan, H.** (2022). *Endüstri 4.0 bileşenlerinin firma performansı ve rekabet avantajı ile ilişkisi* (Doktora tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.
- TÜSİAD & BCG,** (2016). *Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0*, TÜSİAD Yayınları.
- Ulusal Süt Konseyi.** (2022). *Dünya ve Türkiye'de Süt Sektör İstatistikleri Raporu*. Ankara: Ulusal Süt Konseyi
- Ungera, H., Börnera, F. & Müllera, E.** (2017). ContextRelated Information Provision İn Industry 4.0 Environments. *Procedia Manufacturing*, 11, 796-805.
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L.** (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17 (2), 261–274.
- Yan, J., Meng, Y., Lu, L., Li, L.** (2017). *Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment* (Challenges, Schemes and Applications for Predictive Maintenance). IEEE: Access, Article in Press.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M.** (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1 (1), 22-32.
- Url-1** <<https://www.sektorundergisi.com>>, erişim tarihi 08.01.2020.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fuat VATAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2002, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2018, Bursa Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Vatan, F. 2002.** Zeytinyağının sağlığımız açısından önemi. *Lisans Tezi*, BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa
- **Vatan, F. 2018.** Barkod teknolojisini kullanarak depo yönetim sistemi uygulaması. BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa