



**OTOMOTİV ÜRETİMİNDE
KAĞITSIZ İMALAT KONSEPTİ:
BİR SANAYİ 4.0 UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürhan GÜVENER

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Engin TAŞ

**İNTERNET ve BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

Haziran, 2018

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV ÜRETİMİNDE KAĞITSIZ İMALAT KONSEPTİ:
BİR SANAYİ 4.0 UYGULAMASI

Gürhan GÜVENER

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Engin TAŞ

İNTERNET ve BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI

Haziran, 2018

TEZ ONAY SAYFASI

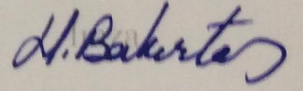
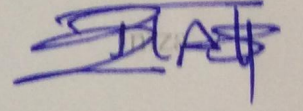
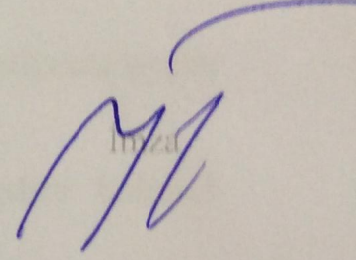
Gürhan GÜVENER tarafından hazırlanan “Otomotiv Üretiminde Kağıtsız İmalat Konsepti: Bir Sanayi 4.0 Uygulaması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 29/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Engin Taş

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Eyüp KIRIŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Engin TAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Hülya BAKIRTAŞ
Aksaray Üniversitesi,
İktisadi İdari Bilimler Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
.... / / 2018 tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

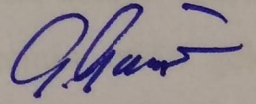
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/08/2018



Gürhan GÜVENER

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV ÜRETİMİNDE KAĞITSIZ İMALAT KONSEPTİ:
BİR SANAYİ 4.0 UYGULAMASI

Gürhan GÜVENER
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin TAŞ

İnternet teknolojilerinin gelişimiyle gerçek dünya ile sanal dünya giderek iç içe girmekte ve Internet of Things’i (IoT), yani “Nesnelerin İnterneti”ni oluşturmaktadır. Bu güçlü birleşim dünyanın birçok ülkesinde devlet politikası olarak ele alınan “4.0 Sanayi Devrimi” (Endustry 4.0) olarak da adlandırılmaktadır. Sanayi 4.0 hızla ilerlemekte olan bilişim ve iletişim teknolojilerinin imalat teknolojileri ile etkileşimini ve bu sayede üretim aşamalarında verimlilik, etkinlik, ekonomikliğı artırmayı ve dolayısıyla rekabet gücünü yükseltmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmada, büyük bir otomotiv fabrikasında dijitalleşmeye yönelik detaylı araştırma yapıp, üretim ortamında güncel bilişim ve imalat teknolojilerinin etkin şekilde kullanarak doğacak yeni fırsatlar analiz edilecektir. Bu bağlamda Türkiye’de bir otomotiv üretim merkezinin günlük imalat ve intralojistik süreçlerindeki kağıt baskılarını, sanayi 4.0 bileşenleri çerçevesinde minimize edebilecek ve hatta tam olarak kaldırmaya yönelik örnek bir konsept çalışılacaktır. Bu konsept çalışmasında RFID, E-Ink, Tablet, Google Glass vb. güncel bilişim yazılım ve teknolojileri temin edilip, mevcut otomotiv üretim ve iç lojistik süreçlerine dahil edilerek test edilecektir. Uygulamanın çalışanların üzerindeki etkisi, süreçlere getirdiğı stabilite; alan-zaman tasarrufu, hata minimizasyonuna katkısı ve maliyeti önceki durum/yeni durum karşılaştırılarak incelenecektir. Analiz fazında zaman etüdü, alan tasarruf-yatırım maliyet hesabı, hata-risk analizinden toparlanan veriler değerlendirilecektir. Pozitif olarak değerlendirilen teknoloji ve konsepti imalat sektöründe faaliyet gösteren büyük

ölçekli bir fabrikada pilot olarak uygulanıp, sonuçları paylaşılacaktır.

2018, xii + 99 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Sanayi 4.0, Nesnelerin İnterneti, Akıllı Fabrika, RFID, RTLS, Tag, Sanallaştırma, Mobilite, Büyük Veri, Bulut Teknolojisi, Endüstriyel PC, Kağıtsız İmalat



ABSTRACT
M.Sc Thesis

**PAPERLESS ASSEMBLY CONCEPT IN AUTOMOTIVE PRODUCTION:
A INDUSTRY 4.0 APPROACH**

Gürhan GÜVENER
Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Internet and Information Technologies Management
Supervisor: Asst. Prof. Engin TAŞ

The continues developement of Internet technologies leads to the merge of real world and virtual world and generates the basis of the Internet of Things. This powerful combination is already the govermental strategy of many countries as called Industry 4.0.

Industry 4.0, with interaction of fast developing IT technologies and production technologies aims to increase efficiency, effectiveness and economy in the production processes and reach competative advantages.

In this research, the opportunities which are arising by effective deployment of the latest IT and production technologies will be analized. In this context, a digitalization research “DIGI Walk” in the selected automotive production Plant will be conducted. According to the outputs, by using Industry 4.0 components, a consept will be develloped, for minimizing or even eliminating of paper use in the lojistics and shopfloor processes of the manufacturing center located in Turkey. In scope of the concept RFID, E-Ink, Tablets, Business Glasses or similar actual IT software/Hardware will be equired and integrated in the existing lojistics and production prosesses of the plant.

The effects of the application on the worker, stability on the processes, time/plain savings, contribution on failure minimizing and costs will be analized by comparing the

new status with the previous circumstances. In the analization phase data derived from time management, plain saving/investment and failure/risk assessment methods will be evaluated. For the concept and technology with positive evaluation, pilot implementation will be realized in the produktion plant and results will be shared.

2018, xii + 99 Pages

Key Words: Industry 4.0, Internet of Things, Smart Factory, RFID, Digitalization, Mobility, Big Data, Cloud Technology, Paperless Shopfloor



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu katkılarından dolayı tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin TAŞ ve Doç. Dr. Hülya BAKIRTAŞ'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Berkant KAYAN, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca manevi desteklerinden dolayı sevgili eşim Elif'e teşekkür ederim.

Gürhan GÜVENER
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	7
2.1 Sanayi 4.0.....	7
2.1.1 Sanayi 4.0'ın Tarihsel Gelişimi	8
2.1.2 Sanayi 4.0'ın Hedefleri	12
2.1.3 Sanayi 4.0'ın Bileşenleri.....	13
2.2 Akıllı Fabrika	16
2.3 Intralojistik	18
2.4 Kurumsal Kaynak Planlaması	19
2.5 Üretim İşlem Yönetimi	22
2.6 Üretim Yürütme Sistemi Kavramı	22
2.7 Kimliklendirme / Tanımlandırma Donanımları	24
2.7.1 RFID Teknolojisi	25
2.7.2 Beacon; Düşük Enerjili Bluetooth Low Energy (BLE)	29
2.7.3 E-Ink (e-Paper / e-Etiket)	32
2.8 Sistemsel Geribildirim / Onay Yaratmada Kullanılan Teknolojiler	33
2.8.1 Endüstriyel Tablet Bilgisayar (IPC)	34
2.8.2 Akıllı Telefonlar (Smart Phones).....	37
2.8.3 Tablet	38
2.9 Bilgi Görüntüleme	39
2.9.1 Akıllı Gözlük (Smart Glass / Business Glass)	39
2.9.2 Akıllı Saat (Smart Watch)	43
2.9.3 Işıklı Toplama Sistemleri (Pick-By-Light)	44
2.9.4 Büyük Ekran	45

3. MATERYAL ve METOT	47
3.1 DIGI WALK Analiz Süreci	47
3.2 Maliyet / Getiri Analizi	48
3.3 İmalatta Hedef Bölge Seçimi	49
3.4 Teknoloji Analizi	50
3.5 Koşullar	51
3.6 Kimliklendirme / Tanımlandırma Donanımlarının Pilot Bölge için Değerlendirilmesi	51
3.6.1 RFID Değerlendirmesi	51
3.6.2 E-Ink Değerlendirmesi	52
3.7 Sistemsel Geribildirim ve Onay Yaratmada Teknolojilerin Değerlendirmesi	52
3.7.1 Endüstriyel Tablet Bilgisayarların Değerlendirilmesi	53
3.7.2 Akıllı Telefonların Değerlendirilmesi	54
3.7.3 Tabletlerin Değerlendirilmesi	54
3.8 Bilgi Görüntülemeye Kullanılan Teknolojilerin Değerlendirilmesi	54
3.8.1 Akıllı Gözlüklerin Değerlendirilmesi	55
3.8.2 Akıllı Saatlerin Değerlendirilmesi	55
3.8.3 Işıklı Toplama Sistemlerinin Değerlendirilmesi	56
3.8.4 Büyük Ekran Değerlendirilmesi	56
3.9 Teknolojilerin Değerlendirilmesi	56
3.10 Pilot Bölge Uygulaması	58
3.10.1 Pilot Bölge	58
3.10.2 Güncel Durum Analizi	59
3.10.3 Hedef Konsept	59
3.10.4 Haritalandırma	61
3.10.5 Uygulama	65
4. BULGULAR	74
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	87
6. KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

SMA	Araca Özgü Montaj Emri (Selektiver Montage Auftrag)
BT	Bilgi Teknolojileri
CNC	Bilgisayarla Kontrol Edilen Üretim Tezgahı (Compterized Num. Control)
B2B	İşletmelerarası (Business to Business)
CPS	Siber Fiziksel Sistemler (Cyber Physical System)
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning)
FTE	Tam Zamanlı Çalışan (Full Time Equivalent)
GİTES	Girdi Tedarik Stratejisi
H	Saat/Zaman (Hour)
FRT	İlk Uygulama Kapasitesi (First Run Capability)
FTT	İlk Defasında Doğru (First Time True)
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
IT	Bilgi Teknolojileri (Information Technology)
ITI	Bilgi Teknolojileri Altyapısı (Information Technologies Infrastucture)
KPI	Anahtar Performans Göstergesi (Key Performance Indicator)
LGV	Lazer Yönlendirmeli Araç (Laser Guided Vehicles)
M2H	Makine-ile-İnsan (Machine to Human)
M2M	Makine-ile-Makine (Machine to Machine)
MES	Üretim Yürütme Sistemi (Manufacturing Execution System)
MIRR	Düzeltilmiş İç Getiri Oranı (Modified Internal Rate of Return)
MOM	İmalat Operasyon Yönetimi (Manufacturing Operation Management)
CRM	Müşteri İlişkileri Yönetimi (Customer Relationship Management)
RFID	Radio Frekansı ile Tanımlama (Radio-Frequency Identification)
RTLS	Gerçek Zamanlı Konum Belirleme (Real Time Location System)
SPS	İstatiksel Süreç Kontrolü (Istastistical Process Control)
SLA	Hizmet Düzeyi Sözleşmesi (Service Level Agreement)
REF	TÜSİAD-Sabancı Üniversitesi Rekabet Forumu
QSYS	Ürün Kalite Kontrol Sistemi (Qualitaets System)
PLM	Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sanayi'nin Tarihsel Gelişimi	9
Şekil 2.2 Sanayi 3.0.	10
Şekil 2.3 Sanayi 4.0	10
Şekil 2.4 En Yalın Olarak Sanayi 4.0 Kavramı.....	11
Şekil 2.5 Akıllı Fabrikanın 3 Ana Odağı.....	16
Şekil 2.6 Malzeme Akış Evreleri ve Intralojistik	18
Şekil 3.1 Uygulama Fabrikası Şase Bandı Krokisi	59
Şekil 3.2 Yakın Mesafe Tanımlama Sistemleri Karşılaştırması.....	60
Şekil 3.3 Konsept Çalışması.....	61
Şekil 3.4 Angle of Arrival Yöntemi.	62
Şekil 3.5 Angle of Arrival Yöntemi	62
Şekil 3.6 Time of Arrival Yöntemi	63
Şekil 3.7 Time of Arrival Yönteminde Konum Tespiti.....	64
Şekil 3.8 Time-of-Flight (ToF) Yöntemi	65
Şekil 3.9 Projenin IT Mimari Yapısı	66
Şekil 5.1 Türkiye'nin Küresel Değer Zincirindeki Konumu.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Kümülatif Tasarruf.....	86
Çizelge 4.2 Başa Baş Noktası	86
Çizelge 5.1 Türkiye Üretim Sektörü Dağılımı	90
Çizelge 5.2 Almanya'nın Sanayi 4.0 Dönüşümünün Türkiye'ye Muhtemel Etkisi.....	91



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Uygulama Lokasyonu	5
Resim 2.1 RFID Bileşenleri	27
Resim 2.2 Bir E-Ink Ekranı ve Elektrot Yapısı	32
Resim 2.3 OmniID V3 ve V4 Sanayi Tipi e-Etiket Çözümleri.....	33
Resim 2.4 Panasonic Toughpad FZ-G1	35
Resim 2.5 Sanayi Tipi Akıllı Telefonlar	38
Resim 2.6 Endüstriyel Tablet XPLORE Motion R12	39
Resim 2.7 Akıllı Gözlük Epson Moverio BT200.....	40
Resim 2.8 Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik.....	41
Resim 2.9 Akıllı Gözlüğün Çalışma Şekli	42
Resim 2.10 BMW de Test Edilen Akıllı Saat	43
Resim 2.11 Çok Fonksiyonlu Işıklı Toplama Sistemi	44
Resim 2.12 Işıklı Toplama Sistemi Kullanımı.....	45
Resim 2.13 İmalat Hattında Büyük Ekran Kullanımı	46
Resim 3.1 DIGI Walk Hedefleri	47
Resim 3.2 DIGI Walk Uygulama Fabrikası'ndan Potansiyellerine İlişkin Tablo	48
Resim 3.3 DIGI Walk Getiri / Maliyet Matrisi	48
Resim 3.4 Kağıt Ortamındaki Araca Özgü Veriler	67
Resim 3.5 .xml Formatındaki Araca Özgü Veriler	67
Resim 3.6 .xml Formatındaki Verilerin Kullanıcı Arayüzüne Eşleştirilmesi	68
Resim 3.7 İstasyonu Kapsayacak Şekilde Monte Edilmiş RTLS Anteni	69
Resim 3.8 Şaseye Yerleştirilmiş Tag	70
Resim 3.9 İmalat Hattı ve RTLS Antenleri Kapsamı Alanı.....	71
Resim 3.10 x, y, z Koordinat Düzlemi ve Pilot Hattındaki RLTS Antenleri.....	71
Resim 3.11 Test Araçlarının 3D Düzlemindeki Konum ve Hareketleri	72
Resim 3.12 Panasonic Toughpad'lere RTLS Yöntemiyle Aktarılan Araç Bilgileri.....	73

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1 İmalat Biriminin Basılı Belgelerle İlintili Vakit Kayıpları	2
Tablo 2 İmalat Biriminin Basılı Belgelerle İlintili Eleman İhtiyacı	3
Tablo 3 Kalite Biriminin Belgelerle İlintili Zaman Kayıpları	3
Tablo 4 Kağıt Kullanımının Fayda ve Kayıpları	4
Tablo 5 Sanayi 4.0'ın Uygulanmasıyla Elde Edilebilecek Bazı Faydalar	8
Tablo 6 Siber-Fiziksel Sistemlerin Siber / Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	12
Tablo 7 Bugünün Fabrikasıyla Sanayi 4.0 Fabrikasının Karşılaştırılması	18
Tablo 8 Uygulama Fabrikası SAP Modülleri	21
Tablo 9 RFID Frekans Aralıkları ve Maliyetleri.....	27
Tablo 10 RFID ve Barkod Karşılaştırması	29
Tablo 11 Beacon / RFID Karşılaştırması	31
Tablo 12 Pilot Bölge için RFID Değerlendirmesi	51
Tablo 13 Pilot Bölge için E-Ink Değerlendirmesi	52
Tablo 14 Pilot Bölge için Endüstriyel PC Değerlendirmesi	53
Tablo 15 Pilot Bölge için Akıllı Telefon Değerlendirmesi	54
Tablo 16 Pilot Bölge için Endüstriyel Tablet Değerlendirmesi.....	54
Tablo 17 Pilot Bölge için Akıllı Gözlük Değerlendirmesi	55
Tablo 18 Pilot Bölge için Akıllı Saat Değerlendirmesi	55
Tablo 19 Pilot Bölge için Pick-by-Light (PbL) Değerlendirmesi.....	56
Tablo 20 Pilot Bölge için Büyük Ekran Değerlendirmesi	56
Tablo 21 Teknoloji Değerlendirme Tablosu	57
Tablo 22 3B Düzleminde Pilot Bölge Ölçümleri	70
Tablo 23 İmalat Birimi Araç Bazlı Ölçümler	75
Tablo 24 İmalat Birimi Eleman İhtiyacı Hesabı.....	76
Tablo 25 Kalite Birimi Süreç Bazlı Ölçümler	76
Tablo 26 Kalite Birimi Eleman İhtiyacı	76
Tablo 27 2017-2021 Yılları Kümülatif Maliyet Hesabı	79
Tablo 28 2017-2021 İşletme Maliyeti Hesabı	81
Tablo 29 2017-2021 ITI (IT-Donanım) Yatırım Maliyeti.....	82
Tablo 30 Toplam Maliyet	82
Tablo 31 Nitel Getiri	84
Tablo 32 2017-2021 Nicel Getiri.....	85
Tablo 33 Sanayi Malı Satış Gelirlerindeki Değişim.....	90

1. GİRİŞ

Bilgi teknolojilerine yapılan büyük yatırımlar önemli gelişmeleri ve bu alanda yenilikleri de beraberinde getirmektedir. Bilgi Teknolojileri (BT) her geçen gün hayatımıza daha da entegre olarak, önemli ölçüde ülkeleri etkilemektedir. Son zamanlarda BT'nin etkileri çok yönlü olarak tartışılrsa da, geleceğimizi şekillendirmeye artarak devam edeceği söylenebilir. Özellikle de sanayi alanındaki BT gelişimleri herkesin dikkatini çekmektedir.

Üretim sektöründe aktif olan firmaların özellikle de lojistik ve imalat süreçlerindeki verim kayıpları oldukça yüksek ve iyileştirmeye en uygun alanlar olarak görülmektedir. Küreselleşmeyle beraber işletmelere ek olarak maliyet baskısı da yüklenmektedir. Bu zorlu şartlarda otomotif üreticileri rekabet güçlerini kaybetmemek üzere ürünlerini daha esnek, farklı ve müşteri istekleri doğrultusunda imal etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu yaklaşım ile ürün değişkenliği artmakta, buna bağlı olarak imalat ve lojistik karmaşıklığı da önemli ölçüde artmaktadır. Oluşan maliyetleri azaltmak için firmalar öncelikle iç süreçlerini iyileştirmek üzere birçok yöntem üzerinde sürekli olarak çalışmaktadırlar. Bu iyileştirme faaliyetleri çerçevesinde BT üzerinde daha çok durulmaya başlanmıştır.

Bu bağlamda Sanayi 4.0, akıllı fabrika, nesnelerin interneti, kestirimci (öngörülü) bakım, MES (Manufacturing Execution System), PLM (Product Lifecycle Management), akıllı üretim gibi otomasyona dayalı terminolojiler çok konuşulmakta ancak etkin kullanımı ile ilgili henüz edinilen tecrübe çok az ve kayda değer bilgi paylaşılamamaktadır. Gündemde olan Sanayi 4.0 fikri, elektrikli araçlar gibi tek başına kaynak yönetimini minimize edemeyeceği bilindik bir gerçektir. Ancak benzer şekilde trafik kontrolünün de “akıllı” düzenlenmesi veya firmaların lojistik ve tedarik zincirleri gibi yapı taşlarının veya ürünlerinin de biraraya gelmesiyle firmalar önemli kazançlar elde edilebilir.

Bu tez ile Sanayi 4.0 etrafında gelişen BT teknolojileri incelenecek ve ilgili teknolojiler otomotiv sektöründe faal olan bir fabrikanın lojistik ve imalat süreçlerine entegre edilmesinin tasarruflar üzerindeki etkisi ortaya konulacaktır.

Araştırmanın Problemi:

İşletmeler karlılığını ve verimini artırmak üzere süreçlerinde basitleştirmeye yönelik yatırımlar yapmaktadır. Otomotiv sanayisinin özellikle de imalat ve intra-(iç)-lojistik süreçlerindeki potansiyelleri, firmaları bu alanda sürekli verim arttırmaya yönelik çalışmalara sevk etmektedir. Günümüzdeki otomotiv imalat ve intralojistik akışları yoğun olarak kağıt basımı ile tetiklenen veya belge basımına bağlı süreçler ile sürdürülmektedir. Bunlara örnek olarak ambarlama belgeleri, imalat malzeme besleme belgeleri, araca özgü imalat listeleri ve ürün kalite kontrol (Check List) belgeleri verilebilir. Bu belgelerin basımı, taratılması, arşivlenmesi ve en sonunda imha edilmesi, bilgi teknolojileri donanımına yatırım gerekliliği, dağıtım (yürüme yolları) için zaman, yani personel ihtiyacı ve mavi yaka çalışanın bu belgeleri okuma ve anlamasının beraberinde getirdiği zaman kaybı şeklinde önemli boyuttaki verimsizlikler yüksek giderlere sebebiyet vermektedir. Uygulama Fabrikasında üsteki belirtilen kağıt ve belgelere dayalı verimsizlikler minimize edilmek istenmektedir. Kağıt ile desteklenen imalat süreçlerinde işletmelerin baskı maliyetleri artarken aynı zamanda firma için zaman kayıpları da ortaya çıkmaktadır. Bu yolla gerçekleştirilen üretimin çevre kirliliği üzerindeki etkisi de göz ardı edilmemelidir. Aşağıda bu tür bir üretim süreci sonucunda ortaya çıkan zaman kayıpları, baskı maliyetleri ve çevre kirliliği üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Kağıtlı Üretimin Oluşturduğu Zaman Kayıpları:

Kağıt ile desteklenen imalat süreçleri, Fabrikada getirdiği zaman kayıplarına neden olmaktadır. Bu kayıplar Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 1 İmalat Biriminin Belgelerle İltisli Zaman Kayıpları

Araç Tipi	Check Listesi içerik	Checklist Mühür Sayısı	Checklist Sayfa Sayısı	Mühür Zamanı (Sn./ Mühür Noktası)	Toplam Mühürleme Zamanı (h)	Ortalama Mühürleme Zamanı (h)
A	955	708	274	10	1,97	1,99
B	1004	779	286		2,16	
C	901	710	254		1,97	
D	930	691	260		1,92	
E	951	697	261		1,94	

Tüm araç tipleri için ortalama mühürleme zamanı 1,99 saat olarak hesaplanmıştır. Buna göre günlük 2 vardiyada 62 araç üretilmesi durumunda: $1,99 \text{ (ortalama mühürleme zamanı)} \times 62 \text{ (Araç)} / 7,5 \text{ (1 vardiya)} \times 2 = \mathbf{8,23 \text{ Eleman / Yıl}}$

Tablo 2 İmalat Biriminin Belgelerle İlintili Eleman İhtiyacı

		Eleman İhtiyacı
Güncel Durum	62 Araç için eleman ihtiyacı (2x7,5h) (Toplam 16.500 Adet)	8,23
Hedeflenen Durum	Mühürleme Zamanından %25 tasarruf (2x7,5h) (Toplam 16.500 Adet)	6,17
Eleman Tasarrufu		2,06

Tablo 3 Kalite Biriminin Belgelerle İlintili Zaman Kayıpları

İş Adımları	Zaman ölçümü	Toplam Zaman
1.İstasyon kontrolü	7,8	21,1
ZTV ID girişi	2,5	
ZTV giriş kontrolü	2,5	
Tarama	5	
Arşivleme/Kaydetme	3	
İmha etme	0,3	
Eleman İhtiyacı		
Güncel Durum	62 Araç için eleman ihtiyacı (2x7,5h / 16.500 Adet)	22,00

Kağıtla desteklenen imalat süreçlerinin çevreye olan etkisi:

Kağıt tüketimi ile sürdürülen süreçlerin bir başka boyutu ise çevredir. Bir ton kağıt için; 2,33 metreküp kabuksuz odun (verim %98), 4.100 KWh elektrik enerjisi, 32.000 litre su, 1.750 litre fuel-oil kullanılmakta, bu durumda 270 kg kirlilik atmosfere salınmakta ve 2,5 metreküp depolama alanı gerekmektedir. Bu veriler, rafinör mekanik kağıt hamuru için gerekli olanlardır. Kağıt kalitesinin artması oranında imalat için gereken enerji ve yan maddeler %50 oranında artmaktadır (Türkiye İsrafi Önleme Vakfı, 2014). Uygulama Fabrikasında imalat ve lojistik süreçlerinde günlük olarak basılan kağıt miktarı yaklaşık 19.000 adettir. 320 günlük üretim takvimine göre 6.080.000 adet A4

kağıt tüketilmektedir; 1 adet 80gr/m2 A4'ün ağırlığı 5 gr olarak dikkate alındığında yaklaşık 30 ton/yıl kağıt tüketimi oluşmaktadır.

Toplam Baskı Maliyetleri:

Baskı Maliyetleri/Adet : 0,015\$

Bakım/Onarım : 0,3 Tekniker/Yıl (1 Tekniker => 25.000\$)

Toplam baskı maliyeti/Yıl : 91.200\$ + 7.500 = **98.700\$**

Bu tez çalışması ile lojistik ve imalat süreçlerindeki kağıt kullanımından kaynaklanan verim kaybının, yerine ikame edebilecek güncel BT teknolojilerden faydalanarak tasarruf elde edilmesi hedeflenmektedir. Dikkat edilmesi gerekli olan bir husus ise, kağıt ile sürdürülen süreçlerin bazı avantajlarının da olduğudur. Bu avantajlar, BT teknolojilerinin getirileri ile dengelenmeli ve bu şekilde süreçlerde etkinlik, verimlilik ve ekonomiklik sağlanmalıdır. Tablo 4'te kağıt kullanımının fayda ve kayıpları gösterilmektedir.

Tablo 4 Kağıt Kullanımının Fayda ve Kayıpları

Fayda	Kayıp
- Hızlı ve kolay okunabilirlik - Kalem ile kolayca bilgi ekleme imkanı - Tanımlamak üzere ürüne kolayca tutturulabilir - Sağlam ve sürdürülebilir süreç - Düşük yatırım maliyeti	- Basıldıktan sonra değişiklik yapılmamakta - Basılan belgenin tekrar kullanımı yok - Sonsuz baskı için eski yazıcı teknolojisi gereksinimi (iğne vuruşlu yazıcı) - Kağıt sıkışması ve yazıcı şerit tükenme gibi tehlikeler - Kağıt yönetim (depo, temin, ...) maliyeti - Kağıt üretiminde çevreye verilen zarar

Araştırmanın Yöntemi:

Tezin üçüncü kısmında öncelikle 4. Sanayi Devrimi ile ilgili literatür taraması yapılacaktır. Sanayi 4.0'ın hedefleri, tarihçesi ve bu yapı ile ilgili güncel terminolojiler açıklanacaktır. Dördüncü kısımda fabrikada dijitalleşmeye yönelik, dış firma desteğiyle beraber “DIGI WALK” olarak adlandırılacak imalat akışı süreçlerinde detaylı bir dijitalleşmeye yönelik potansiyel analizi yapılacaktır. Hızlı ve kıyasla daha etkin olan potansiyeller tespit edilip, uygulamak üzere detaylıca incelenecektir. Beşinci kısımda endüstri 4.0 süreçlerini destekleyecek teknolojiler irdelenip, uygulanabilirliği mümkün olabilecek olanların maliyet, getirisi/götürüsü ve şartları dikkate alınarak lojistik/imalat şeklinde gruplandırılıp detaylandırılacaktır. Elde edilen sonuçlar standart işletme ve teknoloji kriterleri çerçevesinde gruplandırılıp, hedeflenen tasarrufu sağlayacak teknolojiye karar verilecektir. Altıncı kısımda karar verilen teknolojiler gerçek ortamda (pilot bölgeye) uygulanacaktır. Düzeltilmiş iç verim oranı hesabı ile uygulamanın etkinliği ölçülerek firmanın stratejisi doğrultusunda uygulama kararı alınacaktır. Yedinci bölümde elde edilen sonuçlar ve firmaya pilot olarak entegre edilen endüstri 4.0 süreçleri, geleceğe yönelik yatırım stratejisi ile beraber tavsiyede bulunulacaktır.

Uygulama Türkiye’de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren büyük bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Uygulama lokasyonu Resim 1.1 de gösterilmiştir.



Resim 1.1 Uygulama Lokasyonu

Fabrika (Resim 1.1) 1986 yılında 560.000 m² alana kurulmuş olup, yaklaşık 1800 çalışan istihdam etmektedir. Fabrika alanında % 33,4'lük bir pazar payına sahiptir. Bugün 7 tip araç portföyü olan fabrikanın yıllık üretim kapasitesi 14.500 adettir. Almanya'daki merkez fabrikası ile aynı kalitede araç üreten fabrika, 2001 yılında Orta ve Doğu Avrupa ülkelerine ihracatı başlatmıştır. Daha sonra Batı Avrupa pazarlarına da ürün satışına başlanmasıyla, uygulama fabrikasından yapılan ihracat ivme kazanarak, 58 ülkeye yapılan ürün ihracatı 28.000 adede ulaşmıştır. Diğer taraftan ürünlerin ve ürün kalitesinin eşitlenmesiyle fabrikanın yan sanayicileri Almanya'daki ürün fabrikalarına da parça verme olanağına kavuşmuşlardır. Bugüne kadar yaklaşık 230 Milyon € yatırım yapılan fabrika için 5 yıllık dönemde tamamlanacak 130 Milyon € tutarında yeni bir yatırım ise 2011 yılında başlatılmıştır. Bu yatırımlarla üretimde verimliliğin, esnekliğin ve kalitenin geliştirilmesi, üretimin daha çevre dostu hale gelmesi ve istihdamın artırılması hedeflenmektedir.

Çalışma, IT (Information Technologies) ve MEA (Manufacturing Engineering) birimleri tarafından yürütülecektir. IT birimi, fabrikanın iş analizi sorumluluğu ile beraber, IT sistem, uygulama ve donanım taleplerini karşılama, bakımı ve kullanıcı desteğini sağlamaktadır. MEA birimi ise imalat süreçlerini şekillendirme ve buna bağlı olarak tesis altyapısı, donanımı ve bakımını sürdürmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu kısımda araştırma için önem arz eden Sanayi 4.0 çerçevesindeki tanımlar, iş süreçlerini şekillendirebilecek teknolojiler ve gelecek senaryolarına ilişkin açıklamalara yer verilecektir.

2.1 Sanayi 4.0

Günümüzdeki Sanayi 4.0'ın gelişiminde rol oynayan 5 unsur vardır. Bunlar:

- a) Dijitalleşme
- b) Değer zincirindeki değişim
- c) Müşteri taleplerindeki özelleşme
- d) İş modellerindeki değişim
- e) Entegre sistemler

olarak ifade edilebilir. Dijitalleşme, oldukça hızlı adımlarla ilerlediği bir gerçektir. Üretilen ürünlerde artık donanımına kıyasla, yazılım payının daha hızlı büyüdüğü görülmektedir. Birçok ürüne çevresi ile iletişime geçebilmesi için kumanda (kontrol) ve iletişim modülleri entegre edilmektedir. Bu bağlamda dijitalleşme ile internete bağlı cihaz sayısı katlanarak artmaktadır. 2020 ye kadar çevrimiçi olan cihaz, makine ve teçhizat miktarı 50 milyarı geçeceği tahmin edilmektedir (Int.Kyn.1). Bu gelişimin merkezinde ise, çevrimiçi (bağlantılı) makinelerin oluşturduğu verilerin, üretim süreçlerine dahil ederek, anlamlı şekilde kullanımı yer almaktadır. Yeni teknik gelişmelerin sağladığı imkanlarla değer zincirinde belirgin değişim sağlanmaktadır. Örneğin 3D yazıcıların olgunluğa ulaşmasıyla pazarda yeni pay sahipleri oluşabilir ve varolan değer zincirini değişime uğratabilir. Tüketicilerin giderek daha bilinçli olmaları, kişiye özel ürünlerin üretimini tetiklemektedir. Tüketici ürün üzerinde sunulan imkanlar çevresinde kendi arzusu doğrultusunda kişisel konfigürasyonunu oluşturabilir. Bu teknik imkanlar ve tüketici eğilimleri piyasaya yeni katılımcıları dahil etmekle beraber, iş modellerine de değişiklik getirmektedir. Bu gelişmeler piyasadaki eski firmaların iş modellerini yeniden gözden geçirip, değişim yapmalarına sebebiyet vermektedir. Buna örnek olarak termostat üreticisi NAST firması, internet bağlantılı termostatlarını piyasaya sunarak, tüketici verilerini depolaması verilebilir. Firma topladığı verilerle,

kullanıcı davranışlarını analiz edip, tüketime tasarruf sağlayabilecek imkanlar sunmaktadır. Nast firmasının otomasyondan elde ettiği verilerle tüketicisine sağladığı bu imkanları klasik üretim yapan firmalar sağlayamamasının yanısıra, müşterilerine ihtiyaçları olan enerji hususunda danışmanlık hizmetleri de veremediği görülmektedir. Günümüzde teknolojik cihazlar genelde entegre sistemlere ihtiyaç duymaktalar. Entegre sistemler; mekanik, yazılım ve donanımın etkileşim halinde bulunması ile oluşur. Günümüzde mevcut olan cihazların karmaşık fonksiyonları ancak sensör ve yazılımın karşılıklı etkileşimleri sayesinde hayat bulmaktadır. Ürün ve makinelere giderek daha fazla fonksiyonların ekleniyor olması, daha fazla işlemci gücüne gereksinim doğurmakta, bu da dolayısıyla donanım ve yazılım ihtiyacını getirmektedir (Broy 2013). Sanayi 4.0'ın ilerleyen yıllarda uygulanması sonucunda üreticilerin elde edecekleri bazı faydalar vardır. Bunlar Tablo 5 de gösterilmektedir.

Tablo 5 Sanayi 4.0'ın Uygulanmasıyla Elde Edilebilecek Bazı Faydalar

<u>Maliyet</u>	<u>Etki</u>	<u>Potansiyel</u>
Stok maliyeti	Güvenlik Stokunda azalma	> %30 - %30
Üretim Maliyetleri	- OEE'de (Toplam Ekipman Etkinliği) artış - Personel etkinliğinde artış - Gerçek zamanlı imalat döngüleri	> %10 - %20
Lojistik maliyetleri	Otomasyonda artış (milk run, picking)	> %10 - %20
Kalite maliyetleri	Gerçek zamanlı kalite kontrol döngüleri	> %10 - %20
Bakım/Onarım Maliyetleri	- Yedek parça stok optimizasyonu - Duruma dayalı bakım	> -%10 - %20

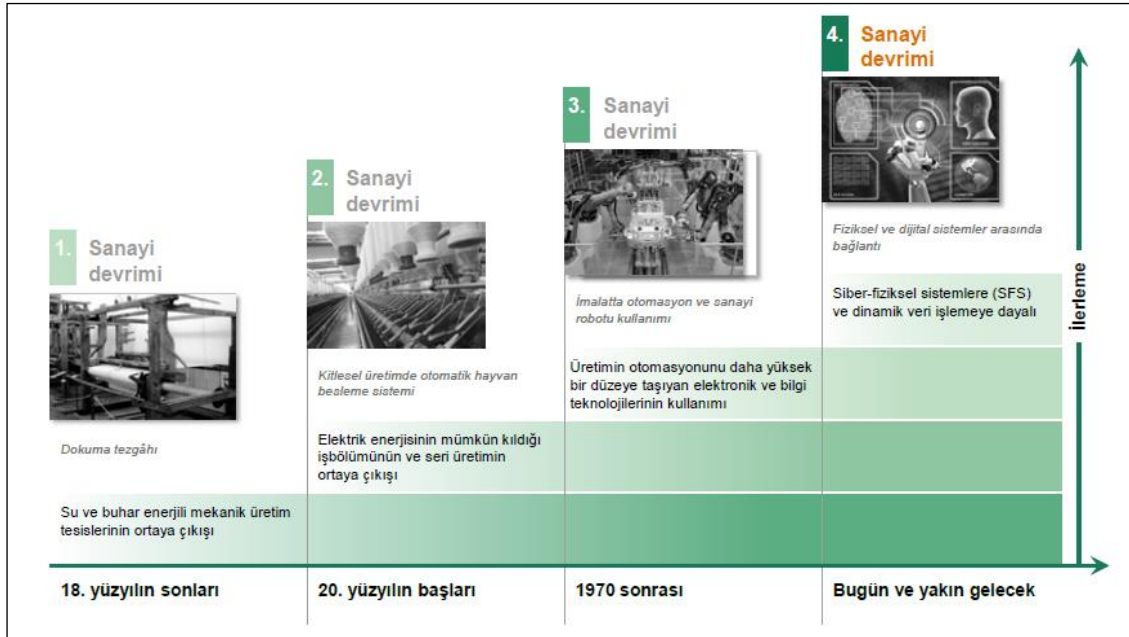
2.1.1 Sanayi 4.0'ın Tarihsel Gelişimi

Endüstri 4.0, 4. Endüstri Devrimi ya da 4. Sanayi Devrimi terimi ilk olarak 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı'nda kullanılmıştır. Almanya, internetin üretimde kullanılmasının yaratacağı yeniliklerin bir devrim niteliğinde olacağı vurgusu yaparak gelecek dönem senaryosunu Endüstri 4.0 başlığı altında tanımlamaktadır. Anglosakson ve bunun etkisinin olduğu AB'nin birçok ülkesinde, internet ve dijital yapılanma endüstriyel gelişmenin önemli bir aşaması olarak görülmektedir (Int.Kyn.2).

4. Sanayi Devrimi'nden önceki dönemlerde veriler, imalat süreçlerine girdi olarak kullanılmakta, burada işlenmekte ve sonraki süreçlere aktarılmaktadır. Ancak Sanayi 4.0'da ise, ilerleyen süreçlerde oluşan bilgiler, şu anki süreçleri yönlendirmek üzere etkin olarak kullanılmaktadır. Teknolojik ilerlemeler, sanayi devriminin başlangıcından bu yana, endüstriyel verimlilikte büyük artışa işaret eden üç ana aşamanın kat edilmesini mümkün kılmıştır. 18. yüzyılın sonlarında fabrikalarda buhar gücüyle çalışan makineler kullanılmaya başlanılmış, 20. yüzyılın başında elektrik enerjisi ile seri üretim mümkün olmuş, 1970'lerden itibaren ise elektronik ve bilgi teknolojileri (BT) ile sanayide otomasyon yaygınlaşmıştır. Günümüzde ise, siber-fiziksel sistemler ve dinamik veri işleme ile değer zincirlerinin uçtan uca bağlandığı, sanayi devriminin dördüncü evresini yaşamaktadır (The Boston Consulting Group, 2016). Tüm sanayi devrimlerinin üç ortak hedefi olduğu söylenebilir. Bunlar:

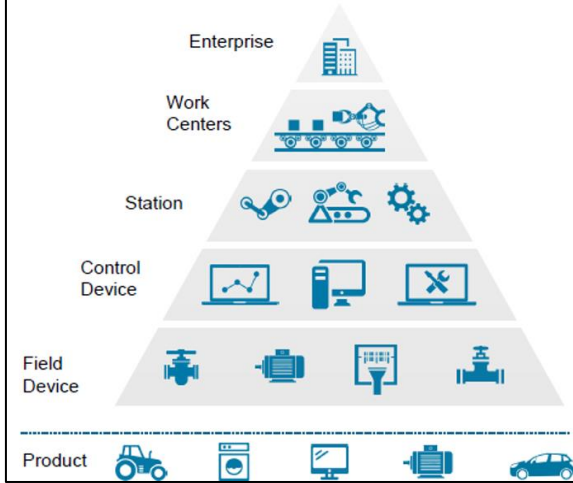
1. Sıfır hata
2. Daha sağlam, istikrarlı süreçler
3. Daha düşük maliyet

olarak ifade edilebilir. Sanayinin tarihsel gelişimi Şekil 2.1 de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Sanayi'nin Tarihsel Gelişimi (The Boston Consulting Group, Endüstri 4.0 Raporu)

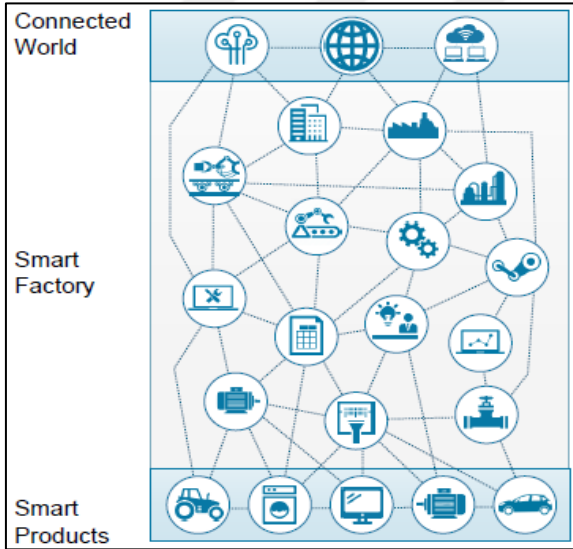
Şekil incelendiğinde Sanayi 3.0 ve Sanayi 4.0'ın yapı olarak farklılığı kolaylıkla ayırt edilebilir. Sanayi 3.0, geleneksel bir yapıya sahipken, Sanayi 4.0'da bu yapının öne çıkan bazı unsurlarla birlikte güncellendiği ifade edilebilir. Bu iki Sanayi devriminin yapısal özellikleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Sanayi 3.0 (Plattform Industrie 4.0)

Geleneksel yapı: Sanayi 3.0

- Merkezi kumanda
- Tesise bağlı & zorunlu bant akışı
- Fonksiyonlar tesise bağlı
- Hiyerarşi katmanları arası bağlantı
- Ürün etkileşimin dışında



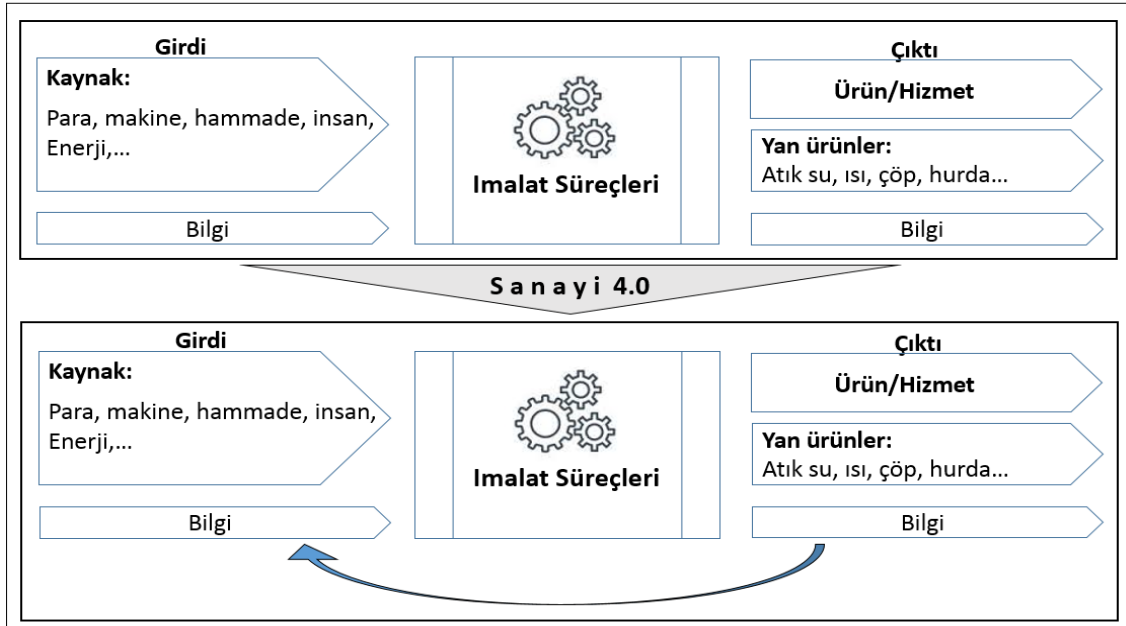
Şekil 2.3 Sanayi 4.0 (Plattform Industrie 4.0)

Güncel Yapı: Sanayi 4.0

- Esnek yapıda makine ve tesis
- Ağ içinde dağıtılmış fonksiyonlar
- Tüm birimler birbiriyle bağlantılı
- Ürün etkileşimin içinde

Endüstriyel üretimin, BT ve iletişim teknolojileri ile sıkı bir şekilde kenetlenmesi bu stratejinin esasını oluşturmaktadır. Temelinde ise akıllı ve dijital olarak birbiriyle bağlantılı olan sistemler yatmaktadır (Şekil 2.3). Bu şekilde olabildiğince kendi kendini organize ve koordine edebilen imalat ortamı hedeflenmektedir. Sanayi 4.0 da insanlar,

makineler, tesisatlar, lojistik ve ürünler birbiriyle doğrudan “konuşmakta” ve birbirlerini koordine etmektedir. Birimler arası bağlantırlık ile sadece bir imalat adımı değil, tüm değer zincirini optimize edilebilme fırsatı doğmaktadır. Bu bağlamda oluşturulan ağ ile ürünün tüm yaşam seyri kapsamaktadır: fikir, geliştirme, üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüm bağlantırlık, fabrika imalat ve lojistik süreçlerinin ötesinde, malzeme akışını optimize edebilmek, hataları olabildiğince önceden farkedebilmek veya değişen müşteri taleplerine karşı daha esnek olabilmek için dış etkenler ile de sağlanmaktadır. Endüstriyel üretimin fiziksel bileşenlerinin mantıklı şekilde birbiriyle dijital olarak bağlanması neticesinde CPS’ler (Siber Fiziksel Sistemler) meydana gelmektedir. Bunlar gelecekteki “Akıllı Fabrikalar”ın temelini oluşturmaktadır. Sanayi 4.0’ın en yalın hali Şekil 2.4’te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 En Yalın Olarak Sanayi 4.0 Kavramı (Güvener 2018)

18. yy itibariyle gerçekleşen sanayi akımları işletmelerin otomasyon yatırımlarına yön vererek bugünkü sanayi 4.0’ın da temellerini atmışlardır. Bu sanayi akımlarları şu şekilde özetlenebilir (Kaufmann 2015):

- i) Bölgesel akımlar : Ülkeler arasındaki sosyal etkileşim ve ticaret artışı
- ii) Ekonomik akımlar : Yeni güçlü ekonomiler ve artan küreselleşme
- iii) Teknolojik akımlar : Artan bağlantırlık ve platform teknolojilerinin gelişmesi
- iv) Meta akımlar : Kıtlaşan kaynaklar, çevre ve güvenlikle ilgili kaygılar

Bu akımlar, sensörlerin, üretim araçlarının ve bilgi teknolojilerinin birbirine artarak bağlandığı sistemlere zemin hazırlayarak, tek bir şirketin ötesine geçen endüstriyel değer zincirleri oluşturmaktadır. Siber-fiziksel adı verilen bu yeni bağlaşıklık sistemler, Standart internet tabanlı protokoller kullanarak birbirleriyle etkileşim kurabilmekte, hataları öngörmekte, parametreler tanımlamakta ve değişen şartlara uyum sağlamak için verileri analiz edebilmektedir. Sanayi 4.0 döneminde bu sistemler yaygınlaşarak, daha hızlı, esnek ve verimli süreçler oluşmasını sağlayarak ve daha yüksek kalitedeki malları, daha düşük maliyetle üretmeyi mümkün kılacaktır (Şekil 1.4). Oluşan yapısal değişiklikler sayesinde, üretimde verimlilik artarken sanayide büyüme hız kazanacak ve beraberinde iş gücü profilleri de değişecektir (The Boston Consulting Group, 2014).

Tablo 6 Siber-Fiziksel Sistemlerin Siber / Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması (Hu *et al.* 2016)

	Siber	Fiziksel
Uygun Düzenin Sağlanması Yöntemi	Seri	Gerçek Zamanlı
Konu Senkronizasyonu	Senkronize	Asenkron
Zaman Özellikleri	Kopuk	Devamlı
Yapı	Bilgisayar Sistemleri	Fiziksel Kanunlar

2.1.2 Sanayi 4.0'ın Hedefleri

Sanayi 4.0'ın kullanılması, üreticilerin bazı hedeflerine ulaşmasına ivme kazandıracaktır. Bu hedefler (Kaufmann 2015):

i) Yüksek rekabet gücü sağlama:

Makinenin internet ve güçlü ağlarla bezenmesi, işletmelerin daha verimli ve küresel anlamda daha da rekabetçi olması anlamına gelir.

ii) Esnek Üretim:

Küresel rekabette önemli faktörler arasında değişikliklere verilebilecek reaksiyon, adaptasyon önemli yer tutmaktadır. Endüstri 4.0 ile şeffaflık sağlanacak ve dolayısıyla esnek ve hızlı reaksiyon yeteneği kazanılacaktır. Üretim prosesleri daha yalın ve belli coğrafi ortamlara bağımlılığı/bağımsızlığı optimize edilmiş şekilde tasarlanacaktır.

iii) Özel / Kişiselleştirilmiş Üretim:

Eski sistemde üretim ve onun çeşitli aşamaları kesin çizgilerle belliyken gelecek dönemde enformasyon teknolojileri sayesinde, üretimden beklenen ani reaksiyonlar gösterilebilir hale gelecektir. Makinelerde uzun süren değişiklik programlarına esneklik ve entegre edilmiş yapılardan dolayı gerek kalmayacaktır. Bu yöntemle hem müşterinin spesifik istemlerine yanıt verilmiş olacak, hem de volüm farklılığı kalkarak, makine verimliliği artacaktır.

iv) İnovatif İş Modelleri:

Değişik akıllı sistemlerin birbirleri ile bağ kurması neticesinde oluşacak yeni akıl, yeni hizmet ve iş modelleri yaratacaktır. Objelerde toplanacak farklı veriler yine değişik ağlarda yeni modellerin üretilmesine olanak sağlayacaktır.

v) Yeni Çalışma Süresi-Şekli / Zamanlaması:

Yeni akıllı asistan sistemleri çalışanlara yeni olanaklar sunacaktır. Çalışma süreleri daha esnek ve belli bir lokasyondan bağımsız hale gelebilecektir. Demografik gelişmelere göre batı toplumlarında yaşlı insan sayısı artarken, buna bağlı olarak iş yaşam sürelerinin de bu rahatlıkta daha da uzayabileceği düşünülmektedir.

2.1.3 Sanayi 4.0'ın Bileşenleri

Sanayi 4.0'ı tetikleyen ve potansiyel iş modellerinin daha anlaşılır olmasını sağlayan 9 adet teknik bileşen söz konusudur. Bunlar (Kaufmann 2015):

- a) Akıllı makine, cihaz ve tesisler
- b) Makine ⇔ Makine iletişimi (M2M)
- c) Nesnelerin Interneti
- d) Büyük Veri
- e) Öğrenen Sistemler
- f) Zenginleştirilmiş Gerçeklik
- g) Bulut (Cloud)
- h) 3D Baskı
- i) Siber Güvenlik

Sanayi 4.0 in merkezinde akıllı makineler, robotlar ve tesisler vardır. Siber Fiziksel Sistemler'e (CPS) verilen açık kimlik, sensör ve yazılım sayesinde bu objeler "akıllı" olmakla beraber, sayısız uygulama imkanlarına ulaşmaktadır. Makinelerin kontrol veya entegre sistemleri ile veri üretilmekte ve makine-makine (Mashine-to-Mashine/M2M) iletişimi ile aralarında veri transferi gerçekleştirilmektedir. M2M, makineler veya bilişim sistemleri arası otomatik veri paylaşımı anlamına gelmektedir (Glanz and Büsgen 2013). Çeşitli sektörlerdeki üreticiler, operasyonlarında uzun zamandır robotlardan faydalanmaktadır. Dünyada gelişmiş robot teknolojisi daha otonom, esnek ve işbirliğine yatkın olmakla beraber, bu teknolojilere sahip olma maliyeti gün geçtikçe de azalmaktadır. Bugün birçok büyük üreticiler birbiriyle etkileşimi olan, insanlar ile yan yana güvenli bir şekilde çalışabilen ve öğrenip, yeteneklerini geliştirebilen robotlar ile üretim faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Makineler ve Robotlar "Nesnelerin İnterneti" ile kolaylıkla hem kontrol edebilmekte hemde idare edilebilmekte. Nesnelerin İnterneti, makine ve cihazların bağlı olduğu bir global ağ altyapısını ifade etmektedir. Bugünkü yapı genellikle, sınırlı yapay zekaya ve otomasyon kontrol mekanizmalarına sahip sensör ve saha cihazlarının, genel üretim kontrol sistemine bağlı olduğu dikey otomasyon piramitleri şeklinde kurgulanmıştır. Ancak nesnelerin interneti, daha fazla sayıda cihazın, hatta yarı mamüllerin bile, standart teknolojilerle birbirlerine bağlanarak tümleşik veri işlemeyen faydalanmasına izin vermektedir. Bu sayede sahadaki donanımlar hem birbirleriyle hem de gerekirse merkezi kontrol sistemleriyle iletişim kurabilmektedir. Ayrıca, analiz ve karar verme süreçlerinin tek elden yapılma şartını ortadan kaldırarak, gerçek zamanlı karar verme süreçlerini de mümkün kılmaktadır.

Makine, tesisler veya bağlantılı araçlara veri aktaran yüzlerce sensör kurulmuş olabilir. Sensörlerin veri aktarma sıklığına bağlı olarak (ör. saniye veya dakika) çok hızlı bir şekilde büyük miktarlarda veri oluşabilir. Depolanan büyük veri üzerine algoritmaların uygulanmasıyla hata kalıpları ve dolayısıyla ilerisi için tahminler oluşturulabilir, tesadüflere izin verilmez.

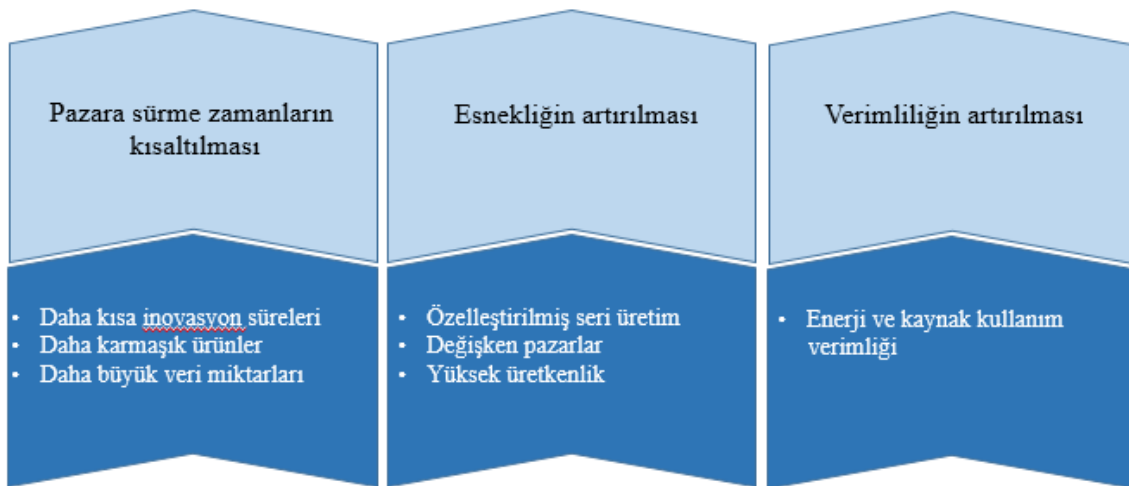
Büyük veri gruplarından faydalanan analiz yöntemleri neticesinde, üretimin kalitesi yükseltilebilir, enerji tasarrufu sağlanabilir ve ekipman bakımı kolaylaştırılabilir. Sanayi 4.0 bağlamında baktığımızda, üretim sistemlerinin yanı sıra, kurumsal ve müşteri bazlı yönetim sistemleri gibi birçok farklı kaynaktan elde edilen verilerin toplanmasının ve kapsamlı biçimde değerlendirilmesinin, gerçek zamanlı karar verme süreçlerinde standart hale geleceği söylenebilir. Akıllı veri (Smart Data) olarak ta adlandırılan bu analiz sonuçları, günümüzde otomotiv sektöründe etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda araçla ilgili çeşitli verilerin (geliştirme, imalat, fiyat, satış, malzeme, ...) anlamlı şekilde bir araya getirilerek örneğin ek bir araç konfigürasyonunun müşteriye uygun bir fiyata sunup sunulamayacağı kararı için uygun bir zemin sağlanabilmektedir. Zenginleştirilmiş gerçeklik, gerçek dünyadaki çevrenin, sanal veriler ile zenginleştirilip ilişkilendirilerek görüntülenmesidir (Kloos 2011). En bilindik hali veri gözlükleridir (Business Glasses). İhtiyaç olunan veriler gözlüğe yansıtılarak gerçek çevre ile ilişkilendirilip görüntülenmektedir. Genelde gözlüğe entegre edilmiş bir kamera sayesinde bakış yönüne göre veriler gerçek ortam ile birleştirilmektedir. Zenginleştirilmiş gerçeklikten yararlanan sistemler, depoda parça seçimi ve mobil cihazlara tamirat talimatları göndermek gibi çeşitli hizmetlere destek olmaktadır. Bu sistemler henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen, gelecekte şirketlerin karar verme ve operasyon süreçlerini iyileştirmek ve çalışanlarına gerçek zamanlı bilgi sağlamak amacıyla zenginleştirilmiş gerçeklikten daha fazla yararlanacağı söylenebilir (Kaufmann 2015). Günümüz teknolojisinde ki mevcut cihazlarda kullanıcılar her geçen gün daha fazla kişisel veri saklamak istediği için yedekleme/saklama kapasitesi büyük sorunlara sebep olmaktadır. Bununla birlikte cihazların özellikleri, kapasiteleri gittikçe artıyor. Bilgisayar, dizüstü ve taşınabilir akıllı cihazların teknoloji ve kapasitesinin artmasıyla orantılı olarak fiyatlar da yükselmektedir. Tüm bu sorunlara çözüm olarak ortaya çıkan bulut (Cloud) teknolojisi, internet üzerinden, erişimde bulunulan yazılım uygulamaları, veri depolama hizmeti ve işlem kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. En düşük kapasiteli cihazla bile istenilen yerden istenildiği zaman her tür bilgiye, kişisel veriye ulaşmaya olanak sağlamaktadır. Şirketler, bazı kurumsal ve analitik uygulamalar için hali hazırda bulut tabanlı yazılımlar kullanmaktadır. Ancak önümüzdeki dönemde, tesisler ve şirketler arasında ürünlerle ilgili daha fazla verinin paylaşılması gerekecektir. Aynı zamanda bulut teknolojilerinin performansının artması sayesinde tepki süresi

birkaç milisaniyeye düşecektir. Bunun sonucu olarak, bulut platformlarda yer alan makinelere ait veriler ve işlevler artacak ve üretim sistemlerine veriye dayalı daha fazla hizmet sunulacaktır. Günümüzde, imalat yürütme sistemi üreten şirketler şimdiden benzer bulut tabanlı çözümler sunmaya başlamıştır. Özetle Sanayi 4.0, önceki dönemlere göre 3 ana farkı beraberinde getirmektedir:

- | | | |
|---------------------------|----|--------------------------------------|
| 1. Veri | => | Büyük Veri |
| 2. Geçmiş verinin analizi | => | Büyük verinin gerçek zamanlı analizi |
| 3. Kapalı devreler | => | Çevrimiçi / Connected |

2.2 Akıllı Fabrika (Smart Factory)

Sanal ve fiziksel dünyaların siber-fiziksel sistemler vasıtasıyla birleşmesi ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan teknik süreçlerin ve iş süreçlerinin bir araya getirilmesi "Akıllı Fabrika" olarak tanımlanmaktadır. Siber-fiziksel sistemlerin üretim sistemlerine yerleştirilmesi Akıllı Fabrikanın oluşmasını sağlamaktadır. Akıllı Fabrika ürünleri, kaynakları ve süreçleri siber-fiziksel sistemler ile karakterize edilmektedir. Klasik üretim sistemleri ile karşılaştırıldığında önemli gerçek zamanlı kalite, zaman, kaynak ve maliyet avantajları sağlar (Deloitte 2017). Akıllı Fabrikanın üç ana odağı vardır. Bunlar Şekil 2.5 de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Akıllı Fabrikanın 3 Ana Odağı (Martigan et. al. 2017)

Akıllı Fabrika, sürdürülebilir ve hizmet odaklı iş uygulamalarına göre tasarlanır. Bunlar uyarlanabilirlik, esneklik, kendini uyarılma ve öğrenme özellikleri, hata toleransı ve risk yönetimi üzerinde yoğunlaşır. Akıllı Fabrika yüksek otomasyon seviyesine sahiptir. Bu, üretim süreçlerini büyük ölçüde otomatik olarak denetleyen, sanal bir fiziksel sistem tabanlı üretim sistemleri ağıyla mümkün olmaktadır. Üretim avantajları yalnızca bir defalık üretim koşullarıyla sınırlı değildir, aynı zamanda birden fazla operatöre ait uyarlanabilir ve kendi kendini organize eden üretim birimlerinin global bir ağına göre optimize edilebilir. Bu, hem yenilikçilik, hem de maliyet ve zaman tasarrufu açısından bir üretim devrimini ve ağ kapasitesi yeni ve daha fazla pazar fırsatları yaratan “aşağıdan yukarıya” üretim değer yaratma modelinin yaratılmasını temsil eder. Akıllı Fabrika üretimi, konvansiyonel ve üretimden çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Bunlar genel olarak (Broy 2013):

a) Optimize edilmiş üretim süreçleri:

Akıllı Fabrika üniteleri, faaliyetleri, yapılandırma seçenekleri ve üretim koşullarını alanlarını belirleyebilir ve tanımlayabilir, bağımsız ve kablosuz olarak diğer birimlerle iletişim kurabilir; Hesap ürün özelliklerini, maliyetleri, lojistik, güvenlik, güvenilirlik, zaman ve sürdürülebilirlik hususlarını etkileyen ideal üretim sisteminin akıllı derlemesi yoluyla bireysel müşteri ürün imalatını optimize eder.

b) Kaynak verimli üretim:

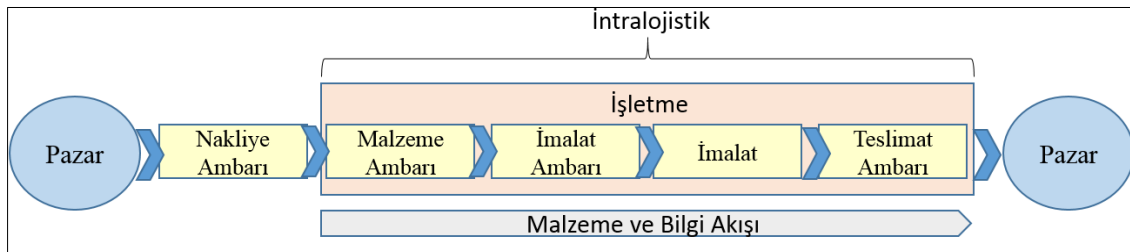
Makinenin insan çalışma döngüsüne uyum sağlaması için insan işgücüne uyarılma yapılmasıdır. Akıllı Fabrikalar, günümüz fabrikalarından sahip olduğu özellikler ve teknolojiler açısından farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma Tablo 7 de gösterilmektedir.

Tablo 7 Bugünün Fabrikasıyla Sanayi 4.0 Fabrikasının Karşılaştırılması (Lee 2015)

	Veri Kaynağı	Bugünün Fabrikası		Sanayi 4.0	
		Özellikler	Teknolojiler	Özellikler	Teknolojiler
<i>Bileşen</i>	Sensor	Hassas	Akıllı sensorlar ve hata algılayıcılar	Öz farkındalık Kendiliğinden tahmin	Bozulma izleme ve ürün yaşam süresi tahmini
<i>Makina</i>	Kontrolör	Üretilebilirlik ve Performans	Durum tabanlı izleme ve teşhis	Öz farkındalık Kendiliğinden tahmin Öz değerlendirme	Sağlıklı yaşam süresi izlemesi
<i>Üretim Sistemi</i>	Ağ bağlantılı sistem	Üretkenlik ve Toplam Ekipman Etkinliği (OEE)	Yalın operasyonlar: İş ve atık azaltımı	Kendiliğinden yapılanma Kendini koruma Kendiliğinden organizasyon	Sorunsuz üretkenlik

2.3 Intralojistik

Ana hatlarıyla Intralojistik malzeme ve bilgi akışının planlama, kontrol, şekillendirme ve yönetimini ele almakla beraber başlıca 3 temel üzerine kurulmuştur: Teknoloji, Bilgi Yönetimi ve İşletme Bilimi. Hedeflenen ise doğru malzemenin, doğru miktarda, doğru kalitede, doğru zamanda, doğru yerde en ucuz şekilde olmasını sağlamaktır. Kapsamı alanına komisyonlama, işletme içi malzeme taşıması ve akışı girmektedir. Intralojistik ambar, komisyonlama, taşıma, paketleme gibi teknik ve bilgi faktörlerinin etkileşimini tanımlar. Bu bağlamda, intralojistik tedarik zincirinin merkezini oluşturduğu söylenebilir. Tedarik zinciri altında tedarikçiden müşteriye kadar olan süreç zinciri tanımlanır (Logistics Journal, 2011).



Şekil 2.6 Malzeme Akış Evreleri ve Intralojistik

Intralojistik süreçlerinde malzeme akışının yanı sıra bilgi akışı da önemli rol oynamaktadır (Şekil 2.6). Bu bağlamda “Bilgi Lojistiği” (Information Logistics) terimi gündeme gelmiştir ve kavram şu şekilde de açıklanabilir: Doğru bilgilerin, doğru zamanda, doğru yerde olmasının güvence altına alınarak, malzeme ve malzeme ilintili bilgilerin senkron tutulması ve lojistik süreç planlama optimizasyonunun sağlanması (Heinrich 2016). Malzeme akışını her zaman bilgi akışı da eşlik etmektedir. Çoğunlukla fiziksel malzeme akışından önce veri akışı gerçekleşir. Bu veriler örneğin tedarikçilere iletilecek malzeme ihtiyaç bilgilerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan temel verileri oluşturur. Bilgi aynı zamanda malzemenin montaj tarifini imalatçıya aktarmak amacıyla, fiziksel malzeme akışına paralel olarak da akabilir. Seri üretimde, süreçlerin sorunsuz olabilmesi için her iki akışın da birbirinden kopması mümkün görünmemektedir (Heinrich 2016).

2.4 Kurumsal Kaynak Planlaması

Kurumsal kaynak planlaması **Enterprise Resource Planning (ERP)** ya da işletme kaynak planlaması, işletmelerde mal ve hizmet üretimi için gereken işgücü, makine, malzeme gibi kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan bütünsel yönetim sistemlerine verilen genel addır. Kurumsal kaynak planlaması sistemleri, bir işletmenin tüm veri ve işlemlerini bir araya getirmeye veya bir araya getirilmesine yardımcı olmaya çalışan ve genelde kullanımı kolay olan sistemlerdir. Klasik bir ERP yazılımı işlem yapabilmek için bilgisayarın çeşitli yazılım ve donanımlarını kullanır. ERP sistemleri temel olarak değişik verilerin saklanabildiği bütünsel bir veritabanı kullanırlar (Mauterer 2002).

Kurumsal kaynak planlaması anlam olarak, işletmenin tüm kaynaklarının birleştirilip, verimli olarak kullanılması için tasarlanmış sistemlerdir. ERP kavramı ilk olarak üretim alanında kullanılmaya başlansa da; günümüzde ERP sistemleri çok daha geniş bir alanda kullanılmaktadır. ERP sistemleri, bir işletmenin iş alanına ya da ismine bakmadan, işletmenin tüm temel işlemlerini kendi yapısı altında toplayabilir. İşletmeler, kâr amacı olmayan kuruluşlar, vakıflar, hükümetler veya diğer varlıklar ERP sistemlerini kullanabilirler (Mauterer 2002).

ERP sistemleri iki veya daha fazla yazılımı bir araya getirerek bir yazılım paketi halinde de sunulabilir. Bu gibi sistemlere ERP yazılım paketleri denir. Teknik olarak ise ERP yazılım paketleri hem maaş bordro akışlarını hem de muhasebe işlevlerini bünyesinde barındırır. Buna rağmen, ERP yazılım paketi tanımı daha çok büyük ve geniş uygulamalar için kullanılmaktadır. Bir ERP sistemi kullanıcının, iki veya daha fazla bağımsız yazılımın arayüzü ile karşılaşmasını engeller ve ek avantajlar sağlar. Yazılımların standartlaşmasını, birçok yazılım yerine tek bir yazılım kullanılmasını, tüm verilerin genellikle tek bir veritabanında saklanmasını ve buna bağlı olarak, kolay ve yüksek rapor almanın yanısıra, durum değerlendirme gücü sağlar (Maurer 2002).

Bir ERP yazılımı bünyesinde genelde bağımsız olarak çalışan üretim, finans, müşteri ilişkileri yönetimi, insan kaynakları, stok yönetimi gibi çeşitli uygulamalar bulunabilir.

ERP sistemlerindeki en önemli gereklilik bir işletmenin tüm bakış açılarındaki her verinin, birleştirilmesi olduğu söylenebilir. ERP sistemleri bunu sağlamak için, işletmenin çeşitli iş faaliyetlerini ele alan birçok yazılım modülünü tek bir veritabanı altında çalıştırmaktadır. Özellikle, bazı işletmeler bir ERP sisteminin yalnızca bazı uygulamalarını seçip, bunları diğer ERP sistemleri veya bağımsız başka yazılımlar ile desteklemektedir. Böylece işletme, ihtiyaç duyduğu ERP arayüzünü kendi oluşturmuş olmaktadır. Gerçekte işletmenin tüm ihtiyaçlarını tam olarak karşılayan bir ERP sisteminden bahsetmek çok zordur. ERP sistemlerini satın alarak, bünyelerinde uygulamak isteyen büyük işletmelerin özel ihtiyaçları vardır ve bazı özel ihtiyaçlar şu an hiçbir ERP sistemi üreticisi tarafından karşılanamamaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için güçlü bir kişiselleştirme işlemi oluşturma ve değişik üreticilerden farklı modüller satın almanın yanı sıra, işletme bu modüller üzerinde tekrar mühendislik çalışması yapması gerekmektedir. Günümüzde ideal olarak, üretim alanında faaliyet gösteren bir işletme, alanıyla ilgili tüm konularda aynı ERP sistemini kullanmaktadır. Tek bir veritabanı, aşağıdaki alanlarında dahil olduğu çeşitli yazılım modüllerini bünyesinde barındırabilir (Maurer 2002):

- Üretim
- Tedarik Zinciri Yönetimi
- Mali Yönetim

- Proje Yönetimi
- İnsan Kaynakları Yönetimi
- Müşteri İlişkileri Yönetimi

ERP Sistemleri, SAP, ORACLE, Sage, SSA Global (Baan) ve Microsoft gibi firmalar tarafından geliştirilip pazarlanmaktadır. Tablo 8 uygulama fabrikasında kullanılan SAP'nin tipik modüler ERP sistemi yapısını göstermektedir.

Tablo 8 Uygulama Fabrikasının SAP Modülleri

Ana Modül	Alt Modül	Desteklenen Süreç
Lojistik	Satış ve Dağıtım (SAP SD)	Satış, Dağıtım
	Malzeme Yönetimi (SAP MM)	Stok Yönetimi, Satınalma, Stok Değerlendirme
	Üretim Planlama (SAP PP)	Üretim hataları, iş istasyonları, üretim süreleri, kapasiteler, Planlama raporları, hat yoğunlukları
	Kalite Yönetimi (SAP QM)	Mal girişi, mal çıkışı, üretim öncesi, üretim esnası ve üretim sonrası gibi ana süreçler kalite bakımından kontrol altına alınır
	Bakım-Onarım Yönetimi (SAP PM)	Ekipman, tesis veya teknik birimin kaydı, arıza iş emri, planlı bakım iş emirleri , planlı bakımlar, yedek parça stoklama, analiz, raporlama
	Müşteri Servisi (SAP CS)	Müşteri tesis bakım onarım planlama
Muhasebe	Mali Muhasebe (SAP FI)	Tüm mali, muhasebesel ihtiyaçlar, gerçek zamanlı mali durum
	Maliyet Muhasebesi (CO)	Maliyet muhasebesi ve kontrol, Karlılık
	Duran Varlık (AA)	Tüm duran varlıklarla ilgili işlemler ve raporlamalar
	Proje yönetimi (PS)	Proje planlama, yürütme, faaliyetleri diğer modüllerle entegre
Personel	İnsan kaynakları	Personel Temin, Personel Planlama, Personel Eğitimi

Firmaya özel geliştirilmiş yazılıma kıyasla, SAP gibi firmaların ERP Sistemleri standart süreçleri desteklemektedir. Firmaya has süreç farklılıkları ise “özelleştirme” (customizing) esnekliğiyle desteklenebilmektedir ve bu sayede sistemde örneğin bazı fonksiyonlar kapatılabilir veya açılabilir, seçenekler dahil edilebilir veya kaldırılabilir.

2.5 Üretim İşlem Yönetimi

Üretim İşlem Yönetimi (Manufacturing Operations Management/MOM) imalat işlemleri için tam görünürlük sağlayan ve bu sayede de istikrarlı bir şekilde üretim performansının arttırılabileceği bütünsel bir çözümdür. Bir üretim operasyonu yönetim sistemi, kalite yönetimi, R&D yönetimi, ileri planlama ve programla ve MES (Manufacturing Execution System) gibi sistemlerin bütününe geliştirmeye yönelik bir yapıdır. Üretim alanlarının dijitalleşmesi, üretim performansını optimize etmek için verimlilik, esneklik ve pazara sürüm süresi gibi etkenleri doğrudan geliştirmektedir. Bu yönde teknolojiyi tam anlamıyla kullanan üreticiler, pazardaki ani değişikliklere ve yıkıcı yeniliklere daha hızlı cevap verebilmektedirler (Türkiye Endüstri 4.0 Platformu). MOM yazılımı, dijital sistemleri tek elden yönetmek için tasarlanmıştır. MOM'un uygulama alanları farklılaşmaktadır. Bu alanlar:

- İleri Düzey Planlama ve Programlama
- İnsan-Makine Arayüzü
- Varlık Yönetimi
- Uyum Yönetimi
- İmalat Yürütme Sistemleri
- Performans Analizi
- Üretim Yönetimi
- Kalite Yönetimi
- R&D Yönetimi

olarak belirtilebilir (Broy 2013) .

2.6 Üretim Yürütme Sistemi Kavramı

Manufacturing Execution System yani üretim yürütme sistemi, MES olarak ingilizce kelimelerin baş harflerinin kısaltılmasıyla daha yaygın kullanılmaktadır. Bu yapı fabrika düzeyinde yönetme ve izleme süreçlerini kontrol eder. MES, gerçek zamanlı olarak robot, makine monitörleri ve işçilerden dakikalık olarak tüm üretim bilgilerini

almaktadır. Üretim yönetme sistemleri kendi kendini kontrol eden bir yapıda olmasına rağmen, artık kurumsal kaynak planlama (ERP) yazılımlarına entegre ediliyor. Bir üretim yürütme sisteminin amacı verimliliği arttırmak, ürün üretim sürecinin süresini azaltmaktır. MES ve ERP yazılımlarının entegre edilmesi ile birlikte, fabrika yöneticileri zamanında, uygun maliyetli ve kaliteli bir şekilde teslimatının sağlanmasını proaktif bir şekilde kontrolünü sağlayabilir (Parashar and Singh 2017).

Üretim yürütme sistemleri veya üretim işlem yönetimi olarak adlandırılan tesis uygulamaları birbirini destekleyen çeşitli fonksiyonları içermektedir. MES çekirdek, MOM platformudur ve tipik olarak üretim yürütme, uygulama ve uyum kalitesinin en az bir kısmını içerir. Kalite planlama, zamanlama ve bakım tipik olarak MES'in kısmı değildir ama üretim işlemleri içerisinde yer almaktadır.

a) Kalite Planlama:

Gelişmiş ürün kalite planlaması (APQP), müteahhitlerin kaliteyi program tasarımı, ürün ve süreç içerisine inşa ettiğinden emin olmak için resmi ve belgelenmiş bir girişimdir. Tanım, doğrulama ve onaylamanın resmi adımları belirlenir ve yazılımda raporlanır.

b) Üretim Planlaması:

Her bir üretim tesisi için gerçekçi ve uygulanabilir planlar yaratmak için şirketler tipik olarak, makine ve kaynağın, insanlar da dahil, takım ve malzemelerin sınırlı kapasitesini dikkate alan, ayrıntılı bir plan oluşturabilen yazılıma ihtiyaç duyarlar.

c) Üretim Uygulaması:

Bu işlevler -tipik olarak çekirdek MES olarak tanımlanan- üretim işlemleri için görünürlük, takip ve izleme ve üretim operasyonlarını sağlar. Bu sistemler aynı zamanda malzemeler ve işleri sevk eder, kaynakları tahsis eder, verileri toplar, işlem adımlarını ve operatör sertifikası uygulatır, çalışma talimatlarını teslim eder, etiketleri yazdırır ve kağıtsız tesis yerleri sağlar.

d) Kalite Uygulaması:

Üretim boyunca, bu işlevler kalite düzeyinin istatistiksel süreç kontrolü (SPC) sayesinde, durum yönetimini, düzeltici ve önleyici faaliyetleri (CAPAs), kapsama, giriş kalite kontrolü, örnekleme ve test ile kabul edilebilir olduğundan emin olur. Aynı zamanda temel neden analizinin yanı sıra Altı Sigma çalışmalarını desteklemek için analitik işlevleri içerir.

e) Uyum Yönetimi:

Çok seviyeli elektronik imzalar, izlenebilirlik ve süreç güçlendirmeleri materyallerin standart üretim prosedürlerine uygun bir şekilde, düzenleyici ve müşteriye memnun ettiğinden emin olur. Otomatik olarak kaydedilen kayıtlar ile raporlama ve denetimleri kolaylaştırır.

f) Donanım Bakımı:

Ekipman takibi kullanımı, tipik olarak MES'in doğasında vardır. Ek olarak ekipmanları güncel ve çalışır durumda tutmak için ilave önleyici ve düzeltici faaliyetler içerir. Geniş bir MOM tanımı içinde, malzeme ve yedek parça yönetimi gibi tüm bakım faaliyetleri dahil edilebilir.

g) Üretim İstihbaratı:

Genel tesis anahtar performans göstergelerinin yanı sıra hat, operatör veya ürün tarafından sağlanan performans ve durum için performans tabloları tesis içerisine kurumsal bir görünüm sağlar. İmalat denetim yolunu, temel-neden analizini, olağan dışı izleme ve alarm sistemini birden fazla tesis üzerinde birleştirmeyi mümkün kılar.

2.7 Kimliklendirme / Tanımlama Donanımları

İmalat ortamındaki süreçlerden elde edilen verilerin kimliklendirilmesi/tanımlanmasını sağlayarak, bu verileri bir sonraki adımları tetiklemek üzere son kullanıcıya aktarılması için gerekli olan donanımlardır. Bu donanımlar bulundukları ortam şartlarına uygun, ergonomik ve tasarruflu olması kurulacak sürecin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliğine katkı sağlayacaktır.

2.7.1 RFID Teknolojisi

Radyo Frekansı ile Tanıma (Radio Frequency Identification-RFID) teknolojisi, canlı ve cansız her türlü nesnenin dokunmadan belirli bir mesafeden tanınmasında ve izlenmesinde kullanılır. RFID teknolojileri giderek artan bir oranda dünya genelinde ve ülkemizde yaygınlaşmakta ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Bunlar; otomotiv, akaryakıt, lojistik, perakendecilik, tarım, sağlık, ilaç, tekstil, finans, bankacılık, enerji, kamu, üretim, güvenlik, turizmdir.

RFID teknolojileri operasyonel maliyetlerini oldukça azaltmakta, iş akışlarını hızlandırmakta, verimliliği ve karlılığı artırmaktadır.

RFID teknolojisi 4 temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar (Hansen, 2007):

- 1- RFID Etiket (çip ve anten'den oluşur)
- 2- RFID Yazıcı
- 3- RFID Okuyucu
- 4- Programlama Aracı

RFID Etiketler:

RFID etiket (tag), tanınmak istenen nesnelerin (ürün, paket, taşıt, insan, hayvan vd.) üzerine veya içine doğrudan yerleştirilir. RFID etiketin içindeki çipe kaydedilmiş bilgileri okumak için gerekli iletişim, okuyucu ile etiket içinde bulunan anten aracılığıyla radyo frekans (RF) sinyalleriyle sağlanır. RFID etiket, okuma alanına girdiğinde okuyucu tarafından algılanır ve çipinin kendi koduyla birlikte içinde kayıtlı bilgileri anteni vasıtasıyla okuyucuya kablosuz ve temassız olarak gönderir.

Enerjiyi alma yöntemine bağlı olarak, etiketler aktif, pasif ve yarı pasif olmak üzere üçe ayrılır. Aktif RFID etiketlerde, iletişim ve işlem için enerji kaynağı bulunurken, pasif RFID etiketler gerekli enerjiyi okuyucudan alırlar. Okuyucunun çiple haberleşmesini RFID etikette bulunan anten sağlar. RFID etiketler fiziksel olarak birçok şekilde tasarlanabilmektedir. Plastik ve kağıt etiketler ihtiyaca göre değişik şekil, büyüklük ve ambalajlarla imal edilmektedir (Hansen 2007).

RFID çiplerin kendilerinin tekil bir kimlik kodu vardır (unique ID code) ve içine tanınmak istenen nesnelerle ilgili her türlü bilgi kaydedilebilir. RFID çiplerin bellek kapasiteleri uygulamaya/ihtiyaca göre belirlenebilmektedir. Nesnelerin ismi, ürün kodu vb. bilgiler en fazla 1K seviyesinde bellek kapasitesiyle çözülebilmektedir. Yüksek bellek kapasitesi, nesne hakkında çok fazla bilgi yüklenmek veya uygulamaya bağlı olarak nesneleri izleme veya takip bilgilerinin sürekli kaydedilmek istendiğinde gerekli olmaktadır.

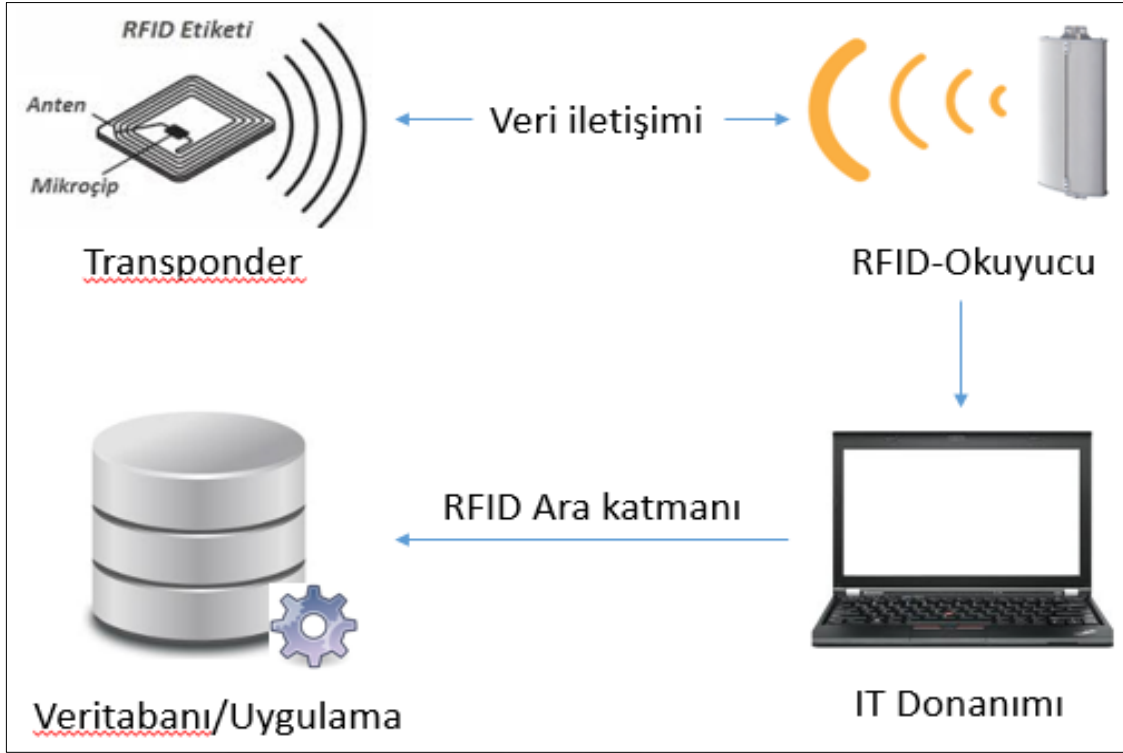
RFID çiplerin kopyalanması oldukça zordur. Her çipin üretici tarafından belirlenmiş bir tekil (unique ID number) kimlik numarası/kodu vardır. RFID etiketlere birden fazla koruma seviyesi koyulabilmektedir. Güvenlik teknolojileri kullanılarak çip içindeki bilgilere erişim engellenebilmekte, çip kilitlenebilmekte veya kullanılamaz hale getirilebilmektedir (Hansen 2007).

RFID Okuyucular:

RFID okuyucular elle taşınabilir, araca monteli ve sabit olmak üzere 3 çeşittir. Etiketlerin kodlarının ve içinde kayıtlı bilgilerin okunup sisteme iletilmesi görevini görürler. Okuyucular da çiplerin sahip oldukları standartlara (ISO 14443, ISO 15693 gibi) göre çalışmaktadır. RFID okuyucunun okuma kapasitesi; çipin frekansına, gücüne, RFID etiketin aktif veya pasif olmasına, antenin hassasiyetine, ortamda sıvı veya metal olup olmamasına gibi birçok etkene bağlıdır. Okunup yazılabilen etiketlerde okuma kapasitesi genelde yazma kapasitesinden daha yüksektir. Aktif RFID çipler de pasif RFID çiplere kıyasla daha geniş kapsama alanına sahiptir (Möslein 2010).

RFID Yazıcılar:

RFID yazıcıların da okuyucular gibi sabit ve taşınabilir modelleri bulunmaktadır. RFID yazıcılar, etiketlerin içindeki çiplere bilgi kaydedilmesinde, bilgilerin okunmasında ve güncellenmesinde kullanılırlar. Masaüstü, dizüstü ve el bilgisayarlarına kablolu veya kablosuz bağlanabilmektedirler. RFID etiketin içindeki çipe bilgi kaydetmenin yanında, etiketi de basan RFID yazıcılar da bulunmaktadır (Möslein 2010). RFID bileşenleri Resim 2.1 de görselleştirilmiştir.



Resim 2.1 RFID Bileşenleri (Möslein 2010)

RFID etiketleri farklı frekans aralıklarında çalışabilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan etiketlerin frekansları daha çok HF (High Frequency) aralığındadır. Bir etiketin maliyeti sadece aktif ya da pasif olmasına göre değil, çalıştığı frekansa göre de değişmektedir (Tablo 9).

Tablo 9 RFID Frekans Aralıkları ve Maliyetleri

	Low Frequency	High Frequency	Ultra High Frequency	Microwave
Frekans	30-300 KHz	3-30 MHz	30-300 MHz	1GHz +
Okuma Mesafesi	1cm - 5cm	1cm-40cm	1cm-5m	15 m kadar
Okuma Hızı	düşük	orta	yüksek	çok yüksek
Yazma	Hayır	Evet	Evet	Evet
Fiyat				
Okuma Cihazı	orta	orta	yüksek	yüksek
TAG	düşük	düşük	orta	yüksek
Özellikler	Metal yüzeyden okunabilir	Dielektrik ile okunabilir	Metall Yüzeylerden yansıma	Metall Yüzeylerden yansıma

Transponder Tipleri:

Transponder'in sadece bir kere yazılan (read only) olduğu gibi, birçok kez yazılıp silinebilen çeşitleri de mevcuttur (Heiserich *et al.* 2011):

R/O = read only; yalnız bir sefere mahsus yazılır ve sonsuza kadar öyle kalır. 64 bit.

R/W = read write; 100.000 kez silinip tekrar programlanabilir. 64 veya 80 bit.

M/P = read write ve lock olabilir; 17 sayfa 100.000 kez programlanabilir. 1360 bit.

SAMT/M = M/P gibidir ancak selektif programlanabilir bir yapı. 1360 bit.

RFID okuma cihazları kullanım alanlarına göre farklı tiplerde olabilir. Tip farklılığı anten tipinden belirlenir. Kapı girişı okuyucuları, çoklu okuyucular, raf okuyucuları, tünel okuyucular, idari hataları minimize etmek, barkodlama ile ilgili işçilik maliyetlerinin önüne geçmek, yönetim için suistimalleri engellemek, sevkiyat hatalarını önlemek veya güvenilir stok sevipleri takibi gibi farklı süreçlerde kullanılan tipleri mevcuttur.

Lojistik, üretim, sağlık, otomotiv, perakende gibi birçok sektörde kullanım alanı bulunan RFID teknolojisi, hayatın içerisinde fazlasıyla yer almaktadır.

- Kağıt ve kalem kullanımına son veren RFID, otomatik işleyen, hatasız veri toplama, gerçek zamanlı ve doğru stok takibi, operasyon verimliliği ve maliyetlerde iyileşme, hırsızlık, kaçak ve kayıpların önlenmesi, gelişmiş sipariş ve stok planlaması, bitmiş ürün ve yarı mamül stoğu (WIP) stoğu takibi konularında etkilidir.
- RFID teknolojileri, yatırımın geri dönüşünü hızlandırmak, müşteri memnuniyetini artırmak, marka bütünlüğünü güçlendirmek, iş ortaklarıyla yakın ve hızlı ilişkiler oluşturmak gibi konularda şirketlere avantajlar sağlıyor.
- Önümüzdeki birkaç yıl içinde RFID kullanımı, giderek düşen etiket maliyetleri ile orantılı olarak çok artacaktır.
- Kamu'da RFID kullanımı her geçen gün artmaktadır. Kamu binalarına giriş/çıkış, araç takibi, para ve pasaport içine yerleştirilen etiketler bu uygulamaların bazılarıdır.
- Park yerlerinin yönetimi, otellerde parasız ödeme sistemi, otel oda kapılarının yetki verilmiş kartlar tarafından açılması RFID kullanımının diğer birkaç örneğini oluşturmaktadır.

Ekonomiklik hesaplamalarda RFID teknolojisinin en büyük rakibi optik barkoddur. Tablo 10 da her iki yöntemin karşılaştırması bulunmaktadır.

Tablo 10 RFID ve Barkod Karşılaştırması (Gillert 2007)

RFID	Barkod
RFID görüş alanında olmadan da okunabilir	RFID ye göre ucuz
Çoklu (Pulk) okuma	Su veya metal yüzeylerden etkilenmemekte
Yer belirleme imkanı	Yüksek standartlaşma ve yaygınlık
Kire karşı dayanıklılık	Anten ihtiyacı yoktur
RFID Tagler veri ile tekrar tekrar yazılabilir	Uzak mesafelerden okunması çok zor
Uzak mesafeden okuyabilme imkanı	

2.7.2 Beacon; Düşük Enerjili Bluetooth Low Energy (BLE)

Beacon, Bluetooth radyo vericilerine verilen genel isimdir. Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE, BLE ya da Bluetooth Smart) temassız olarak, uzaktan bilgi alışverişine olanak sağlayan özel bir Bluetooth protokolüdür (Int.Kyn.2). 'Bluetooth Special Interest Group'un çalışmaları ile geliştirilen, sağlık hizmetleri, spor, güvenlik, bilgilenme, eğlence vb. sektörlerine yönelik geliştirilmiş olan BLE; klasik Bluetooth teknolojisinin üzerine daha az güç tüketimi ve tek taraflı iletişimi öne çıkaracak şekilde geliştirilmiştir. Bluetooth Smart ve Bluetooth Smart Ready olarak markalaştırılmış iki farklı isme sahiptir. Bluetooth Smart; sadece BLE cihazlar ile etkileşime geçebilirken, Bluetooth Smart Ready hem BLE hem de klasik Bluetooth cihazlar ile etkileşime geçebilmektedir. BLE protokolü, destekleyen işletim sistemlerine sahip cihazlarda, özel bir yüklemeye gerek duyulmaksızın hazır halde gelmektedir. Tüm yazılım geliştiricileri için kolayca uyum sağlanabilecek sistemlerdir. Şu anda milyarlarca cihaz piyasa içerisinde bulunmaktadır. Beacon görülebilir sinyal yaymak yerine, düzenli olarak yaklaşık olarak saniyenin onda biri aralıklarla harfler ve sayılardan oluşmuş radyo sinyalleri yayınlar. Bu çalışma mantığı ile sık sık bir deniz fenerine benzetilmektedir. Sürekli bir sinyal yerine kesik kesik sinyal yayınlayarak yerini bildirmektedir. Yakındaki Bluetooth özellikli bir cihaz, bu sinyali alabilir, özel bir uygulama ile onun sinyalini tanıyıp, cihazı

bulutta depolanan bir eylem veya içerik parçasına bağlar ve kullanıcının görüntülemesini sağlar. Bluetooth donanımına sahip bir cihaz, bir kez menzile girdikten sonra Beacon'u görebilir ve buna göre faaliyete geçebilir. Bir Beacon etrafındaki cihazlardan habersizdir ve onlara bağlanmaz. Herhangi bir veri taşımaz ve çekmez. Genellikle internet bağlantıları da yoktur (Gillert 2007).

Beacon Kullanım Alanları:

Beacon'un bazı kullanım alanları vardır. Bunlar (Hansen 2007):

- a) İzleme: İmalat ve taşıma Beacon'un pratik kullanım alanlarıdır. Yöneticiler tarafından ürünlerin fabrika içerisinde tam olarak nerede oldukları ve ne zaman teslim edildikleri bilgisi talep edilir. Beacon ağı sayesinde tam olarak istedikleri verilere ulaşabilecekleri gibi bu bilgilerin arşivine de ulaşabilirler.
- b) Navigasyon: Google Maps ve diğer harita sağlayıcıları dış alanlar için hizmet vermektedir. Beacon ile kapalı alanlarda gidilmek istenen yer için net talimatlar alınabilir.
- c) Etkileşim: Beacon'lar verilecek tepkileri otomatikleştirebilir ve olayları tetikleyebilir. Mekanlar kişiye özel hediyelerinin takibini yapabilir veya İmalatta x-istasyonundan geçen ürün ile o istasyona ait imalat talimatları mobil cihazlarda görüntülenebilir.
- d) Güvenlik: Hastaların yanlış kanatlara girdiğinde veya fabrika çalışanlarını tehlikeli değişiklikler yaptığında, Beacon'lar otomatik olarak bir güvenlik sorunu bildirimi gönderebilir (uygulama kullanıcılarına veya mülk sahiplerine).
- e) Analiz: Beacon'lar müşterilerin nereye gittiklerini veya üretim bandında en çok hangi bölgede problem ortaya çıktığına dair bilgileri toplayabilir. Online platform aracılığı ile kullanıcıların Beacon'lar ile nasıl etkileşime girdiklerine dair bu bilgiler saklanıp erişime sunulabilir. Tablo 11 de Beacon ve RFID teknolojileri karşılaştırılmıştır.

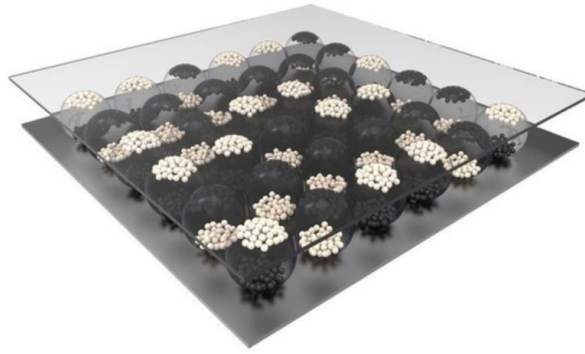
Tablo 11 Beacon / RFID Karşılaştırması (Niederreuther 2016)

	RFID	Beacon
Erişilebilirlik	Tag, okuyucu, kontrolör, yazılım gibi bileşenler nedeniyle erişim hususunda kolay olmayan bir yapı	Akıllı telefonlar dahi alıcı olabilmekle beraber, iç mekan yer belirleme hususunda oldukça kolay erişilebilirlik sağlar
Etki alanı	Frenkanza bağlı farklılık gösterebilir. 10cm den 100m ye kadar	Genellikle 1m den 70m ye kadar
Doğruluk	Frekans, anten ve okuyucuya bağlı değişkenlik gösterir	Radio vericisi olarak, su, metal, insan vücudu, have gibi çevrenin etkisi altına kalmakla doğruluk hususunda zayıf
Güvenlik	Klon tagler, yetkisiz okuyucu gibi donanımlar ile verileri okunabilir	Zayıf güvenlik özellikli Beaconların ID'leri (UUID) dışarıdan erişilip, değiştirilebilir.
Maliyet	Maliyeti çözüm bileşenlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir (düşük/yüksek frekans, Okuyucu vs.)	Genelde 10\$ ile 70\$ arası değişkenlik gösterir. Maliyeti lisans, yazılım, Bluetooth okuma özellikli cihaz temini ile bağlantılıdır.
Akıllı Tel. ile Uyum	Akıllı Tel. standart özelliğinde RFID okuma fonksiyonu yoktur.	Bluetooth okuma özellikli olan tüm cihazlar ile uyumludur. Akıllı Tel. özelliklerinde Bluetooth mevcuttur.

2.7.3 E-Ink (e-Paper / e-Etiket)

E-Ink veya e-Etiket bilinen teknoloji, bir başka deyişle “dijital etiket” olarak da tanımlanabilir. Bu cihazlar bilindik kağıt baskıların faydalarını, dijital teknolojinin getirdiği faydalarla bütünleştirmektedir (Niederreuther 2016).

Bir E-Ink ekranda, siyah ve beyaz pigmentlerle dolu milyonlarca küçük kapsülü askıya almak için temiz bir akışkan maddeden yararlanılmaktadır. Beyaz pigment pozitif yüklüken siyah pigment de negatif yüklü, ve bu sıvı katman da iki ayrı alana bölünmüş olan iki elektrot katmanı arasında sıkışmıştır. Her bir bölgenin ekrandaki karşılığı bir “piksel” (kindleturkiye 2016). E-Ink’ler söz konusu elektrotların işleyiş biçimi sayesinde yalnızca sayfa çevrilirken bir enerjiye ihtiyaç duyuyor. Bu bağlamda enerji tüketimi çok düşük boyutlardadır. Sayfa değişim sıklığına göre tam olarak şarj edilmiş aküler veya dolu piller 1 yıl ile 4 yıl arasında enerjilerini tüketmektedirler. İmalat ortamında ise bu özellik, akü veya batarya değişim veya şarj işinin seyrek olarak yapılacağından önemli bir avantaj sunmaktadır.



Resim 2.2 Bir E-Ink Ekranı ve Elektrot Yapısı (Int.Kyn.3)

Birkaç renk görüntüleyebilecek renkli E-Ink ekranlar da teknik olarak mevcut olsa da henüz tüketici elektroniği pazarında yaygın olarak yer bulunmamaktalar.

Bir E-Ink ekranı kullanan ilk cihaz 2004’te yalnızca Japonya’da satışa çıkan Sony’nin Librie adlı modeliydi. Yüksek ücreti ve e-book’ların 30 günlük ömrü olmasına neden olan dosya formatı nedeniyle geniş bir ilgi görmeyi başaramayan bu modelin ardından

2007 yılında Amazon'un piyasaya sürdüğü Kindle'la birlikte tablo biraz daha değişmeye başladı. E-Ink asıl patlamasını gerçekleştirdiği Kindle'lar tıpkı Librie'de olduğu gibi dört ayrı gri tonlama düzeyini gösterebilen 800 x 600 piksellik bir ekrana sahipti. Renk karışıklığı çok etkileyici olmasa da, kullanıcıların bütün dijital kütüphanelerini yanlarında taşımalarına olanak tanınmaktadır. Üçüncü nesil Paperwhite ve Voyage modelleriyle birlikte en yeni Kindle'ların artık Apple'ın Retina ekranlarıyla yarışan çok daha yüksek bir ekran çözünürlükleri, geliştirilmiş bir renk karışıklığı, arkadan aydınlatma özelliği ve 16 gri ton düzeyleri vardır (Resim 2.3).



Resim 2.3 OmniID V3 ve V4 Sanayi Tipi e-Etiket Çözümleri (Int.Kyn.4)

2.8 Sistemsel Geribildirim / Onay Yaratmada Kullanılan Teknolojiler

Intralojistik süreçlerinin temelinde malzeme/sepet hareketleri yatmaktadır. Bir malzeme hareket emri, örneğin ERP sisteminin imalat modulünden otomatik yaratılır ve iş emri işlem tamamlandığında manuel olarak sistemden kapatılabilir. İşlem sonunda sistemsel geribildirim verilmesi zaruridir ve ancak bu şekilde ilgili stok miktarları güncel tutulabilir.

2.8.1 Endüstriyel Tablet Bilgisayar (IPC)

Tablet bilgisayar, zorlu çalışma koşulları ve saha şartları göz önünde bulundurularak üretilmiş, özel tasarım bir tablet bilgisayardır. Teknolojinin hızla gelişmesi ve endüstriye ayak uydurması sayesinde, bilgisayar tüm sektörlerin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Endüstrideki çalışma ortamları, bilgisayar gibi hassas aletlerin çalışmasına uygun değildir. Toz, sıvı, ısı gibi dış etmenlerin belirli seviyelerin altında ya da üstünde olması bu aletlerin çalışma performansını düşürmekte ve kullanım ömrünü kısaltmaktadır.

Industrial Personal Computer kelimelerinin baş harflerinden oluşan IPC, ülkemizde Endüstriyel Kişisel Bilgisayar veya Endüstriyel PC olarak çevrilmekte ve kullanılmaktadır. Endüstriyel PC dendiğinde masa üzerindeki bilgisayardan veya çantadaki laptop'tan bahsedilmemektedir. Endüstriyel PC'ler ağır şartlarda çalışmak üzere tasarlanmış, ekipmanın karşılaşılabileceği zorlu sıcaklık, vibrasyon ve şok testlerinden geçirilmiş, bilindik bilgisayarlardan ziyade daha spesifik özellik ve korumaları olan cihazlardır. Bileşenleri standart ve uzun ömürlüdür. Bir IPC (endüstriyel PC) ile masaüstü bilgisayarın aslında teknik özelliklerinin çoğu temelde aynıdır. Mikroişlemci ve RAM tipi, depolama ortamı, arabirim bağlantı noktaları, performans, vb. Ancak, endüstriyel PC'lerin en önemli özelliği üretim yapılan tesisler gibi zor çevresel ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış olmasıdır (Broy 2013).

Endüstriyel Bilgisayarların Kullanım Alanları:

Her türlü uygulamada kullanılmakla birlikte üzere en çok aşağıdaki uygulamalarda kullanılmaktadır (Broy 2013).

- Veri toplama için değerlendirme, istatistiksel süreç kontrolü ve otomatik makine ekipmanları kontrol uygulamaları
- Veri toplama uygulamaları için tek başına veya ağ denetleyicisi
- Proses donanımları, hareket kontrolü
- Üretim, hücre denetleyicileri
- Genel otomasyon ve fabrika uygulamaları

IPC'ler büyük (ve artan) miktarlardaki üretim verileri ile uğraşırken esas olan performans ve güvenilirliği de mükemmel bir uyum içinde yönetirler. İşlemci performansı artıp göreceli maliyetler düşmeye devam ederken, endüstriyel PC'ler büyük karmaşık veri setlerini işleme ve depolama yeteneğine sahiptir. Depolama seçenekleri ve düşen maliyetler, IPC'lerin zorlu ortamlarda bile güvenilir şekilde veri depolamasını sağlamaktadır. Kanuni mevzuatların belirttiği üretim verilerinin hassas ve doğru bir şekilde loglanması IPC yetenekleri için çok uygundur. Entegre ekranlar üretim katındaki operatörlere veri görselliğini sunar. Pazar araştırmaları, geçen yıl sevk edilen tüm IPC'lerin ağ destekli olduğunu ve yüksek oranda fabrika üretim katında kullanıldığını göstermektedir. IPC içindeki veriler, yerel olarak sorgulanabilir ve erişilebilir. Bu şekilde potansiyel problemler hızla tanımlanır ve üretimi durdurmaya gerek kalmadan üretimin sürekliliğini sağlayacak şekilde önlemler hızla alınabilir (Broy 2013).

IPC'ler IP tabanlı iletişim teknolojilerini kullanarak mevcut ağlara kolayca entegre edilebilir. Bu yetenek üretim verilerinin mühendis ve başkalarıyla paylaşılmasına olanak sağlar. Sistemin uzaktan izlenebilmesi lokal mühendis sayısını azaltıp, makine performansının gerçek zamanlı izlenmesi, hataların azaltılması ve alarmlara hızlı tepki verilmesini sağlayarak kaynak ve zaman tasarrufunda da çok önemli bir oyuncudur.



Resim 2.4 Panasonic Toughpad FZ-G1 (Int.Kyn.5)

Fiziksel Dayanıklılık:

Endüstriyel PC'ler, zorlu imalat şartlarında istikrarlı çalışabilmesi için, normal PC'lere göre farkları vardır. Bunlar (Niederreuther 2016):

- Sıcaklık: Normal bilgisayarlar 35°C sıcaklık seviyesinde dayanıklılık gösterirken, endüstriyel bilgisayarlar 45-50°C'lere kadar ortam sıcaklığına sahip ortamlarda çalışabilmektedir.
- Sıvı / Toz Koruması: Panel PC'ler için dış ön yüzeyde IP66 ya da en az IP65 koruma sınıfı, box tipi pano içi kullanılacak PC'ler için ise IP21 koruma sınıfı sunulmalıdır. Endüstriyel bilgisayarların bazı modelleri fansız olup, bazıları dış zaman kasaya, genellikle toz ve benzer diğer kirleri tutmak için monte edilmiş özel filtreler ile toz koruması sağlanan soğutma fanları ile sağlanır.
- Şok Darbe / Titreşim Koruması: Disk sürücüler, şok emiciler ile yastıklama ve mekanik yalıtım sağlanarak monte edilmiştir.
- Nem oranı: Üretim ve makine ortamlarında (zımpara makineleri, işleme merkezleri, transfer hatları, tornalar vb.) sık sık kullanılan sıvı kirletici maddeler/soğutucular tesisteki bilgisayarı olumsuz yönde etkiler. Endüstriyel PC ile yüksek bağıl nem değerlere ulaşabilir.
- Besleme Ünitesi: Pik, dalgalanmalı, geçişli gerilimler ve AC güç kaynaklarının yarattığı gürültü çok yaygın fabrika ortamlarında oldukça sık rastlanılan bir durumdur. Bilgisayarların enerji beslemesi, her koşul altında ve her zaman temiz, değişken olmayan DC gerilimler ile sağlanmalıdır.
- Elektromanyetik Uyumluluk: Uygun topraklama, koruyucu ve uygun yalıtım ve uluslararası kabul görmüş elektrik standartlarına uygunluk elektrik tasarımı temin edilmelidir.
- Genişletilebilirlik ve Uzun Ömür: Bir IPC konfigrasyonu, standart PC konfigrasyonuna göre, sağlamış olduğu genişletebilir yuvalar ile daha farklı kullanım alanları sağlar. Ayrıca tasarımlarında daha dayanıklı (örneğin vernikli anakartlar, titreşimden yalıtılmış hafıza birimleri, MLC (Multi Layer Cell) teknolojisi kullanılmış SSD (Solid State diskler) kullanıldığından çalışma ömürleri uzundur.

- Sertifikasyonlar: Endüstriyel bilgisayarlar, özellikle ortamdaki elektriksel gürültülerden daha az etkileneceğinin garantisi olan sertifikasyonlar CE sertifikasyonuna ek olarak sunulmalıdır.
- Test Raporları: Bir bilgisayarın endüstriyel olduğunun ispatlayan en önemli belge, imalatçının sunacağı test raporlarıdır. Her imalatçı, ürünü için ısı, titreşim, yaşlandırma, su ve toz geçirmezlik testleri yapmalıdır.

Bağlantı ve Güvenlik:

Endüstriyel ağların büyümesi ve (SCADA ve enerji yönetimi dahil) diğer iş sistemleri ile entegre olması ile artan güvenlik tehdidi sonucunda bileşenlerin bağlantı ve güvenliği endüstriyel otomasyon için kritik bir konu olmuştur. Bir güvenlik ihlali fikri mülkiyet kaybına, tesisin durmasına, sabotaj, veri işleme ve sistem fonksiyonlarının izinsiz kullanıma yol açabilir. IPC'ler ağ doğrulamasına katkıda bulunarak endüstriyel (otomasyon) güvenliğin önemli bir parçasını oluştururlar. Kullanılmayan arayüzleri ve bağlantı noktalarını devre dışı bırakma, kötü amaçlı yazılımları arama, sınırlı kullanıcı hakları, düzenli güvenlik yazılım kontrolleri ve güncellemeleri gibi özelliklerin kullanılması ile, IPC'ler otomasyon sistemlerini güvence altına alınmasında çok önemli roller alabilir.

2.8.2 Akıllı Telefonlar (Smart Phones)

Akıllı telefonlar daha çok son kullanıcı tarafından iletişim ve internet erişimi için kullanılır. Genellikle UMTS, LTE ve WLAN altyapılarını kullanarak internete erişirler. Üzerine kurulabilen uygulamalar ile el terminali veya PC'si olarak kullanılabilirler.

Dahili kamera özellikleri ile 1D/2D veya QR-Barkodu okuyabilir, entegre sensörleri ile basınç, ısı, hareket, mesafe vb. ölçülebilir. Akıllı telefonlar 150€ itibariyle temin edilebilir. Bu özelliklerine karşılık düşme, çarpma gibi durumlara çok hassas ve sağlam bir kuruyucu kılıf olmadan sanayide kullanılabilirliği sınırlıdır. Buna rağmen akıllı telefonlara bazı sanayi uygulamaları ör. Shopfloor (Atelye Yönetimi), İmalat zaman yönetimi gibi uygulamalar hazırlanmış ve kullanılmaktadır (Niederreuther 2016).



Resim 2.5 Sanayi Tipi Akıllı Telefonlar (Int.Kyn.6)

2.8.3 Tablet

Bir tablet, klavyesi olmayan fakat büyük bir ekrana sahip bir dizüstü bilgisayara benzer bir mobil cihazdır. Dokunmatik ekranda klavye sanal olarak belirir ve bir girdi ile işlem gerçekleşir ve görüntü sağlanır. Endüstri tipi tabletler çevresel kire, düşüşe veya şoka karşı özel koruma ile sunulmaktadır. Bir tablet, örneğin WLAN, UMTS, USB, Bluetooth gibi çeşitli ara yüzlerle sistemlere bağlanabilir ve genellikle bir RFID okuyucu ile barkodları da okuyabilen bir kameraya sahiptir. Tablet, ör. taşıma siparişlerini görüntülemek ve kabul etmek için uygundur. Ancak girdi sağlamak üzere de fonksiyonları vardır. Girişleri sanal klavyeden veya kameradan yapmak mümkün olup uzun menzilli bir barkod tarayıcı da bağlıysa, daha uzak olan barkodlar da okunabilir. Uygun bir endüstriyel tablete örnek olarak XPLORE firmasından'dan R12, Resim 2.6 da gösterilmektedir:



Resim 2.6 Endüstriyel Tablet XPLORE Motion R12 (Int.Kyn.7)

2.9 Bilgi Görüntüleme

Önceki kısımda tanıtılan donanımlar ağırlıklı olarak veri işleme süreçlerinde kullanımı uyundur. Bu kısımda ise ağırlıklı olarak bilgi görüntüleme donanımlarına yer verilmiştir.

2.9.1 Akıllı Gözlük (Smart Glass / Business Glass)

2007 yılında cep telefonlarının hızla hayatımıza girmesinin ardından en çok bilinen akıllı gözlüklerden birisi olan ve bu cihazların popülerlik kazanmasında önemli pay sahibi olan ürün Google firması tarafından üretilen “Google Glass” adı verilen akıllı gözlüklerdir.

Bu gözlüklerle cep telefonunun yaptığı her şeyi ve daha fazlası hedefleniyordu. 2013’te Örnek olarak sunulan gözlük, 2014 Mayıs’ta ise genel olarak 1500\$’a satılmaya başlanmış, fakat gözlüğün vaat ettiği sonuçları vermemesi ve fiyatının pahalı olması sonunun çabuk gelmesine neden olmuştur. 2015’te gözlüğü geliştirme aşamasında olduğu için laboratuvarlarına geri alan Google az sayıda gözlük satışı gerçekleştirmiştir. 2013 yılında yapılan bir araştırma Amerikalıların % 90’ını Google gözlüklerinin fiyatlarını düşürse dahi kullanmayacaklarını söylemişlerdir (Montgomery 2015). Genel

olarak estetik olmaması, kullanımının güçlüğü ve sorunlu olması sebep gösterilmiştir. Google'ın yeni nesil akıllı gözlüklerini 2015'de çıkarması beklenirken SONY bir atak yaparak Akıllı Gözlüklerini piyasaya sürmüştür. SONY kendini zarif, hafif bir tasarım olarak göstermesine rağmen Twitter kullanıcıları ürünün estetik ve güzel olmadığını belirtmiştir.

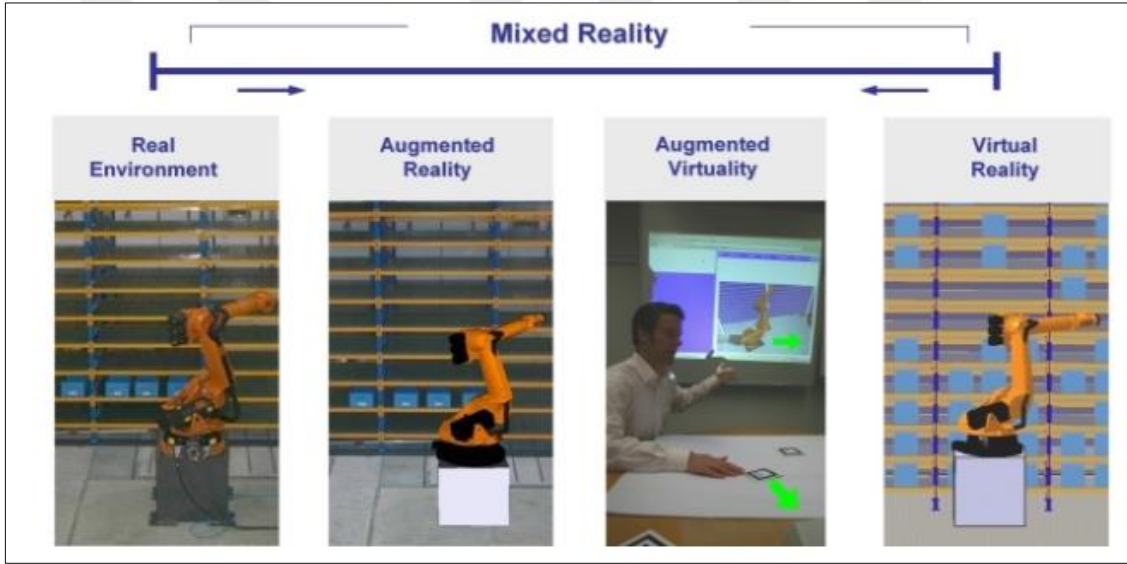
Sony ve Google markalarının yanında fiyatı 299\$ olan sadece video ve fotoğraf çekebilen Epiphany Eyewear ile bluetooth ile akıllı telefonu gözlük ekranına getiren Glassup, fiyatı 3000\$ olan üç boyutlu çekim yapabildiği gibi hologromik görüntü sağlayan ayrıca intelcore i5 prosesörüne sahip Meta1 gibi markalarda bulunmaktadır. Bunların yanında Oakley Airwave, Optinvent Ora-Sar ve ION Glasses, Vuzix, Recon gibi pek çok firmada sektör içindedir. Genel görüşlerden akıllı gözlüklerin daha henüz hazır olmadığı anlaşılsada uzmanlar tarafından üzerinde yıllardır çalışmalar yapılan akıllı gözlükler insanlar tarafından ilgiyle takip edilmekte ve çok büyük bir potansiyeli barındırmaktadır.



Resim 2.7 Akıllı Gözlük Epson Moverio BT200 (Int.Kyn.8)

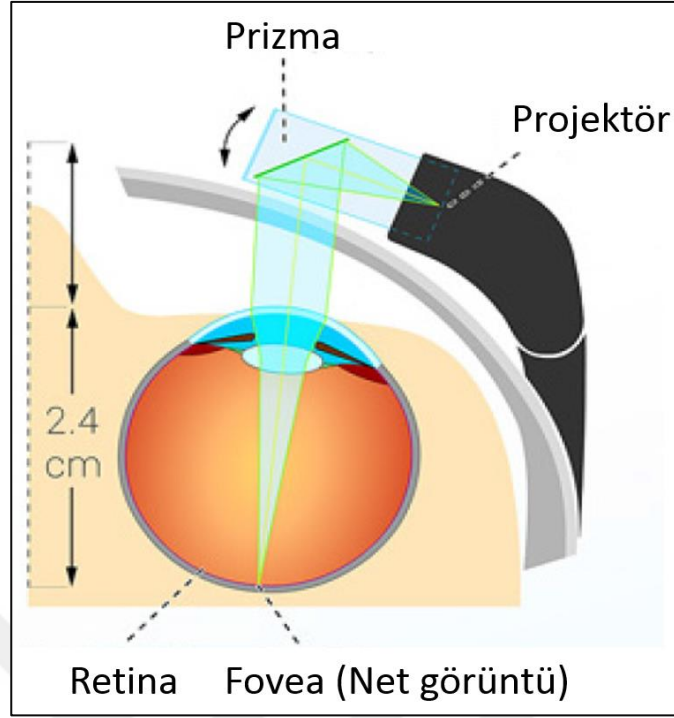
Akıllı gözlük kullanıma örnek olarak “Artırılmış Gerçeklik” verilebilir.

Artırılmış gerçeklik (AR) ses, video, grafik veya GPS verileri gibi bilgisayar tarafından üretilip duyuşal girdi ile artırılıp canlandırılan elemanların fiziksel, gerçek dünya ortamıyla birleştirmesiyle oluşturulan yeni bir algı ortamının canlı doğrudan ya da dolaylı bir görünümüdür. Artırılmış gerçeklikle insan duyusuna hitap edecek ve hislerini hareket geçirecek girdiler bilgisayar tarafından modifiye edilip zenginleştirilir ve ortaya çıkan yeni gerçeklik kullanıcının algısına sunulur. Zenginleştirme gerçek zamanlı gerçekleşir ve çevredeki ögeler ile etkileşim içindedir (Resim 2.8). Artırılmış Gerçeklik ile kullanıcı gerçeklik ortamını oluşturan bilgiler ve diğer ögelerle etkileşime girebilir. Bulunulan çevreyle ilgili yapay bilgi ve ögeler gerçek dünyayla bağdaşabilir (Endustri 4.0 Platformu, 2017) .



Resim 2.8 Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik

Google Glass küçük bir projektör ile çalışmaktadır. Projektörün ürettiği resim, prizma üzerinden dijital bilgi ile beraber direk retinaya yansıtılmaktadır. Görüntünün netliği prismanın göze olan mesafesi ile direk orantılıdır. Resim 2.9 Google Glass'ın çalışma prensibini görsel olarak aktarmaktadır.



Resim 2.9 Akıllı Gözlüğün Çalışma Şekli (Int.Kyn.9)

Yakın zamana kadar akıllı gözlüklerin akıllı telefonların yerini alacağı belirtilmiş olsa da bu beklentiye ve çabaya rağmen gözlük kesinlikle istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Gelişen akıllı telefonlar sundukları geniş imkanlar ile bu giyilebilir ürün / ürünleri bir kenara itebilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde dahi Google Glass bazı teknoloji liderleri haricinde son kullanıcıyı etkileyebilecek bir seviyeye gelememiştir. Bunda hem fiyatın, hem sunulan özelliklerin hem de pil süresinin etkisi olmuştur. Pil için çok fazla yeri olmayan Google Glass, kağıt üzerinde bir gün batarya süresi sağlayabildi. Yoğun kullanımda bu 5-6 saati geçemedi. Bu böyle olunca da insanlar telefonlarına geri döndü. Ancak akıllı gözlük modelleri çok daha büyük sorunlar yaşadı. Akıllı telefonlarda yaşanmayan güvenlik ve gizlilik problemleri gözlüklerde sıkıntılar çıkarttı. Örneğin Google Glass, üzerinde yer alan kamera ile ortamı sürekli olarak kaydedebiliyordu. Kayda başladığı zaman bunu karşı tarafa herhangi bir bildirim ışığıyla aktarmayan gözlük, sinemalarda filmleri kaydetmekten ve insanları gözetlemeye kadar birçok sorun yaşadı. Bunun sonucunda birçok yerde yasaklanan cihaz, resmi kurumlarla da sıkıntılar yaşadı. Göze takılan ve gözün önüne sürekli bilgiler getiren bir ürün, otomobil ile motosiklet kullanırken haklı olarak çok tehlikeli bulundu (Bilton 2015). 2018 yılına sayılı günler kala satın alıp günlük olarak kullanabilecek bir akıllı gözlük modeli

bulunmuyor. Akıllı gözlük kavramının gelecekte karşımıza sadece Apple ya da Magic Leap gibi devler sayesinde “AR altyapısıyla” birlikte geleceği düşünülüyor. Ancak bu gözlükler Glass gibi her zaman kullanmaya değil eğlenceye yönelik olacak. Yani baktığımız zaman akıllı telefonları bitirecek bir gözlük uzak vadede dahi çok mümkün görünmüyor.

2.9.2 Akıllı Saat (Smart Watch)

İlk akıllı saat 1998 yılında Samsung tarafından üretildi ancak popülerliği son birkaç yılda gelişmiştir. Akıllı Saat dokunmatik ekrana sahip olup, bir akıllı telefona ile iletişim kurarak bilgi, veri ve uygulamalara erişim sağlar. Bir akıllı saat teoride imalat ortamında veri görüntüleme ve sistemsel geribildirim verme amacıyla kullanılabilir. Ancak diğer donanımlara göre kıyasla oldukça küçük olan ekran boyutları nedeniyle kullanımı kısıtlı olacaktır. Akıllı saatler genellikle titreşim özelliği yanı sıra bluetooth, NFC, WiFi ve LTE gibi ara yüzlere sahiptir ve bir el terminali veya akıllı saaten bağımsız kullanılabilirler. BMW 2015 yılında imalat hattında alışılmadık özellikli bir aracın yaklaştığını işçilere önceden haberdar etmek üzere akıllı saatleri test etmiştir (Resim 2.10).

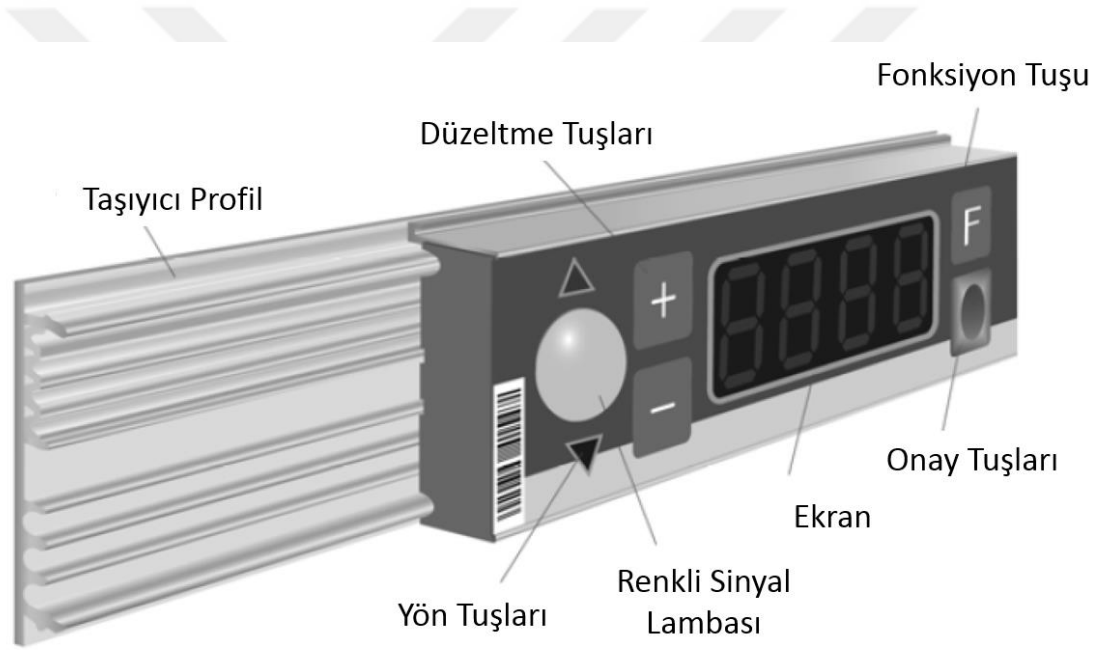


Resim 2.10 BMW de Test Edilen Akıllı Saat (Int.Kyn.10)

Akıllı saatlerin küçük veri giriş ekranları bu işlevi kısıtlamış olması nedeniyle, sinyal alıp görselleştirmek dışında sanayide kullanım alanı dardır. Bugünkü fiyatları 500\$ civarındadır.

2.9.3 Işıklı Toplama Sistemleri (Pick-By-Light)

Işıklı veri toplama sistemleri çözümleri bir montaj işleminde operatörlere sıradaki parça ve işlemi görsel olarak yönlendirme sunar. Doğru veya yanlış gibi aksiyonlar, ışıklar veya opsiyonel olarak sesli ikazlar ile gösterilir. Tamamlanan işler otomatik veya manuel olarak sistemin üzerindeki tuşlar vasıtasıyla onaylanabilir (Niederreuther 2016).



Resim 2.11 Çok Fonksiyonlu Işıklı Toplama Sistemi

Işığa Bakarak Toplama (Resim 2.11) sistemleri her bir toplama gözünde ışık sisteminin veya LED sisteminin olduğu durumdur. Sistem bir sonraki toplama noktasındaki ışığı yakar ve ekranında toplanacak adeti ekranda gösterir. Işıklı veri toplama sistemleri envanter doğruluğunu artırmakta aynı zamanda verimliliği de artırmaktadır. Her bir toplama lokasyonuna ışık sisteminin kurulması gerekmesine rağmen, büyük miktarlarda ve adetlerde toplama yapılan sistemlerde maliyetler karşılanabilir olmaktadır. Bir ışıklı veri toplama sisteminde, sipariş sayısı veya barkodla ilişkilendirilmiş sipariş sayısı taşıma kartonları veya çantaları taranır, sonra ürünün nerelerden toplanacağına işaret

eden her bir bölümdeki ışıklar aydınlanır. Her bir ışık oradan alınması gereken ürünün miktarını gösterir. Işıklı veri toplama sistemi toplanacak miktarla beraber, ayarlandığı takdirde parça mı kutu mu toplanacağını gösterebilir. Çalışan istenen miktardaki ürünü istenen yerden toplayınca bunu doğrulamak için ışıklı düğmeye basar. Böylece ana sistem de haberdar edilmiş olur. Aşağıda bunun nasıl yapıldığı gösterilmektedir.



Resim 2.12 Işıklı Toplama Sistemi Kullanımı (www.sap.de)

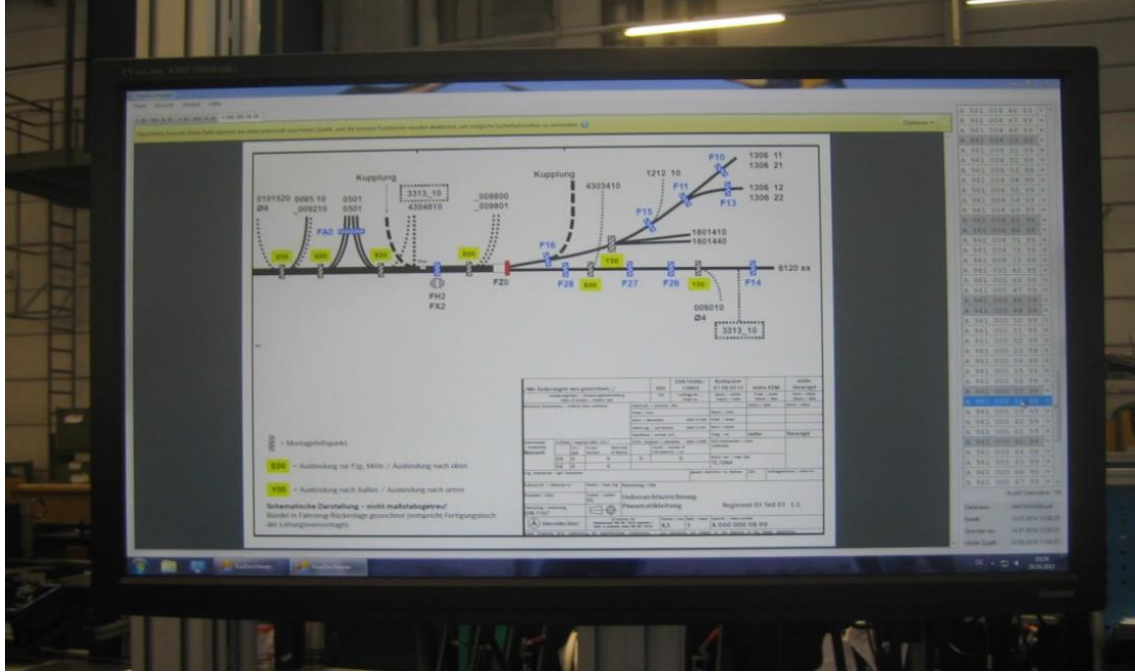
Işıklı toplama sisteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Kağıtsız, elleri kullanmadan, kullanıma elverişli teknoloji
- Kolay kullanım
- Doğruluk
- Verimlilik ve üretkenlik
- Kolay kurulum

2.9.4 Büyük Ekran

Büyük ekran sanayi ortamına dayanıklı, yüksek bir konumda sabitlenebilen düz ekran televizyon olarak tanımlanabilir. Görüntü ya entegre bir PC veya kablo bağlantısı ile

merkezi bir bilgisayar vasıtasıyla aktarılmaktadır. Bu tür ekranlar 7 gün x 24 saat çalışır kalabilecek şekilde tasarlanmıştır. İş emirlerini imalat hattında operatöre iletmek üzere kullanılabilir. 46'' lık bir NEC yaklaşık 1.300€ dur. Resim 2.13 te imalat ortamında kullanılan bir büyük ekran gösterilmiştir.



Resim 2.13 İmalat Hattında Büyük Ekran Kullanımı

3. MATERİYAL ve METOT

Dijitalleşme süreci Aksaray Fabrikası'nda da önemli yer tutmaktadır. Bu bağlamda strateji geliştirmek amacıyla öncelikle bir potansiyel analiz yapılmıştır. “DIGI Walk” olarak da adlandırılan bu çalışma ile 6 ana hedef doğrultusunda Resim 3.1 deki gibi hareket edilmiştir.



Resim 3.1 DIGI Walk Hedefleri

3.1 DIGI WALK Analiz Süreci

Üretimde dijitalleşme üzerinde uzmanlaşmış uluslararası aktif olan bir dış firma ile Uygulama Fabrikasında bir hafta süresince tüm üretim süreçleri yerinde incelenip getiri potansiyeli olan kapsamlar tespit edilmiştir. Tespit edilen iyileştirme önerileri sorumlu birimlerce isabetli olarak değerlendirilmiş ve üst yönetime sunmak üzere bir getiri/maliyet matrisi oluşturulmuştur (Resim 3.2).

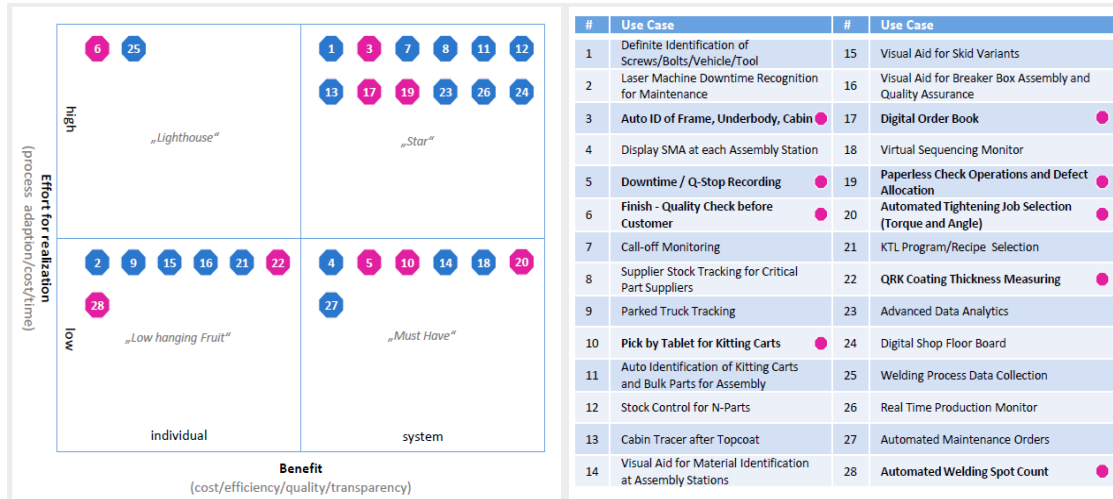
Dijitalleşme Seviyesi	Kısa Tanım	Potansiyel
Boyahane	Yüksek Otomasyon / Sistem ve veriler mevcut / Süreç - ürün hata korelasyonu yok	Data Analitiği: Süreç datası ve ürün hatalarına
İç Süsleme	Görsel yardımcı yok / Manuel hata ve parça tespiti	Manuel süreçler için görsel yardımcılar / Dijital sipariş / İzlenebilirlik
Üst Yapı	Parça ve hata takibi manuel / Görsel eksiklikler	Manuel süreçler için görsel yardımcılar / Dijital sipariş / İzlenebilirlik
Lojistik	Görsel destekli parça seçimi/Malzeme bilgileri kağıt üstünde/İstasyon bazlı malzeme ihtiyaçları için entegre sistem yok	Malzeme takibi ve bilgisi için Tablet / Tüm malzemeler için entegre sistem
Ek İşçilik	Görsel destekli parça seçimi/Hata ve parça tanımlaması manuel / İzlenebilirlik yetersiz	Manuel süreçler için görsel yardımcılar / Dijital sipariş / İzlenebilirlik

Resim 3.2 DIGI Walk Uygulama Fabrikası’ndan Potansiyellerine İlişkin Tablo

3.2 Maliyet / Getiri Matrisi

Toplam 28 adet dijitalleşmeye yönelik iyileştirme potansiyelli hedef, 4 ana kritere göre bir matris (Resim 3.3.) üzerinde sınıflandırılmıştır:

- yüksek maliyet /düşük getiri
- yüksek maliyet / yüksek getiri
- düşük maliyet / düşük getiri
- düşük maliyet / yüksek getiri



Resim 3.3 DIGI Walk Getiri / Maliyet Matrisi

3.3 İmalatta Hedef Bölge Seçimi

Resim 3.2 deki değerlendirmelere istinaden fabrikadaki imalat birimlerinin dijitalleşme seviyeleri kırmızı (zayıf), yeşil (güçlü) olarak işaretlenmiştir. Bu bağlamda ilgili imalat birimleri dijitalleşme seviyelerinin birbirlerinden farklı ve genel olarak da zayıf olarak derecelendirildiği görülmektedir.

Potansiyel bölge seçimi için öncelikle ilgili birim süreçlerinin karmaşıklığı ve çeşitliliğinin yüksek olmasına önem verilmiştir. Süreçlerdeki zorluk ve çeşitlilik seviyesi, uygulanacak olan çözüm etkisinin daha geniş çaplı olarak değerlendirme imkanı sağlayacaktır. Hem dijitalleşme seviyesi hem de süreç zorluğu seviyesinin yanı sıra, ilgili birimin BT-altyapısının (IT-Infrastructure), yani network kablolu ve Wi-Fi ağının mevcudiyeti, uygulama süresini ve maliyetini pozitif etkileyeceğinden karar açısından ayrıca önemli olacaktır. Üsteki kriterlere istinaden, Şase bandı öngörülen süreç çeşitliliğini ve zorluğunu beraberinde getirmesi ve mevcut kurulu BT-altyapısıyla diğer birimlere göre pilot uygulamaya daha elverişli olduğu görülmektedir. BT-altyapısının mevcudiyeti devreye alınması planlanan donanımın kurulumu ve bunların network ağına erişiminin sağlanması hususunda zaman ve maliyet açısından önemli ölçüde fayda sağlayacaktır. Bu şartlar dikkate alındığında şasi imalat bandı biriminin uygulanacak çözümler için pilot bölge olarak çok uygun olduğu görülmektedir.

“Digi Walk” çalışması neticesinde oluşturulan maliyet ve getiri matrisi ele alınarak, hangi potansiyellerin firmanın dijitalleşme projesi çerçevesinde ayırdığı kaynaklara (bütçe, kapasite ve zaman) göre uygun olacağı kararına ilişkin verilmiştir.

Firma yönetiminin, öncelikli olarak hızlı devreye alınabilecek, etkili ve ekonomik çözümlere hedeflemesi doğrultusunda matrisin (Resim 3.3) sağ alt köşesine, yani düşük maliyet/yüksek getiri sınıfındaki fırsatlara yoğunlaşılacaktır. Matrisin bu köşesindeki potansiyeller “Must Have” olarak sınıflandırılmış olup, bir başka tabirle, bir meyve ağacındaki kolay erişilebilen meyveler olarak da görülebilir.

Bu çerçevede tespit edilen ve üzerine yoğunlaşılması hedeflenen potansiyeller şu şekilde sıralanabilir:

#	Potansiyel Uygulama
4	İstasyon bazlı imalat emirlerinin görüntülenmesi
10	Tablet ile seçim (“Pick by Tablet”)
14	Görsel malzeme tanımlama
18	Görsel bant alış sıralaması
19	Kağıtsız kalite kontrol listesi

Fabrikanın stratejik hedefi doğrultusunda, seçilen uygulamaların ortak özelliği kağıtlı imalatı veya ilgili süreci, BT donanımıyla ortadan kaldırmasıdır. Kağıtsız süreçleri hayata geçirmek için ön koşul, firmanın bir ERP sisteminin ve bu sistemden çıkan verilerin anlaşılır formatta görselleştiren BT donanımlarına sahip olmasıdır.

Yatırım maliyeti, firmanın bugün üretim için gerekli olan verileri işleyip, işçileri yönlendirmek üzere kağıt ortamına aktaran bir ERP sistemine sahip olması nedeniyle, ağırlıklı olarak oluşan verilerin uygun (görsel) formatta BT donanımlarına aktaran bir arayüz ile ilgili donanım temini ve kurulumu olacaktır.

3.4 Teknoloji Analizi

Bu kısımda güncel BT teknolojileri, ürün lokalizasyonu ve görselleştirme süreçleri çerçevesinde beş farklı kritere göre değerlendirilecektir: Maliyet, sanayi uygunluğu, olgunluğu, getirisi ve süreç kısıtlaması.

Maliyet kriteri ekonomiklik hesabında gerekli olacaktır. Sanayi uygunluğu kriteri ilgili teknolojinin fabrika ortamında kullanılabilirliğini değerlendirmek için gerekli olacaktır. Olgunluk kriteri ise teknoloji işletiminin ne kadar sağlam (stabil) olduğunu belirlemek için ve getiri kriteri de teknolojinin hedeflenen süreç optimizasyonunda sağlayacağı faydayı belirtmek üzere gerekli olacaktır. Süreç kısıtlaması kriteri ise, teknolojinin devreye alınması için hangi koşulların sağlanması ve buna bağlı devreye alınacak teknoloji ile süreçte hangi kısıtlamaların beraberinde geleceğini tanımlamaktadır. Son olarak tüm teknolojiler karşılaştırılıp değerlendirilecektir.

3.5 Koşullar

Uygulama fabrikasında gerçekleştirilen Digi Walk ile elde edilen potansiyel iyileştirmeleri gerçekleştirebilmek için öncelikle üretilen ürünün sistem vasıtasıyla tanımlanması, imalat süreçlerindeki lokalizasyonu ve ilgili verilerin görselleştirilmesi gerekmektedir. Elde edilen verilerin uygulama fabrikasındaki ERP sistemi ile entegre edilmesi, fabrikanın Malzeme ihtiyaç planlama (MRP) süreçlerine de pozitif etki yapacaktır. Sanayi 4.0 stratejisine istinaden M2M konseptine uygun olarak imalat bandında aracın yeri tam olarak lokalize edilip, araca özgü spesifik bilgilerin güncel IT teknolojileri vasıtasıyla bandın ileriki istasyonlarındaki makine/tesislere iletilerek bu cihazlara hazırlıklı olmaları sağlanacak.

3.6 Kimliklendirme / Tanımlandırma Donanımlarının Pilot Bölge için Değerlendirilmesi

Bu kısımda, daha önce tanımlanan teknolojilerin uygulama fabrikasındaki pilot bölgesi için maliyet, kullanım, olgunluk, fayda ve süreç kısıtlamaları çerçevesinde değerlendirilmiştir.

3.6.1 RFID Değerlendirmesi

Uygulama fabrikasının pilot bölgesinde RFID teknolojisi uygulanıp, çeşitli kriterlere göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme Tablo 12 de gösterilmektedir.

Tablo 12 Pilot Bölge için RFID Değerlendirmesi

Maliyet	RFID altyapısı gerekli, Aktif tagler pahalı, pasif ucuz
Endüstriyel kullanımı	Yüksek frekanslı taglar İmalat şartlarında kullanımı uygun
Olgunluk	Geliştirme potansiyeli var. Metal yüzeylerde sorunlu
Beklenen fayda	Otomatik veri okuma, toplu veri iletimi
Süreç kısıtlamaları	Ürünler tag takılmalı; aktif tag'ler tekrar kullanmak üzere taşınmalı

3.6.2 E-Ink Değerlendirmesi

Bu çalışma çerçevesinde incelen E-Ink, OMNI-ID firmasının V4 ürünüdür. Ekran boyutları 85,2 mm x 64 mm ve firmaya göre fiziksel yapısı itibariyle endüstriyel kullanıma uygundur. Cihaz Toz, su, ısı gibi çevresel etkenlere karşı korunaklı olduğu IP66 standardı ile belgelidir. Ürünün fiyatı yaklaşık 100€, lisans ve anten fiyatları 15.000€ civarındadır. Dijital etiketler sadece 433MHz frekansı sağlayan özel cihazlar ile yazılabiliyor. Bu cihazlar LAN kablolu olması sayesinde fabrika ağına bağlanabilmektedir. ERP sisteminden çekilen veriler (ör. Üretim No) bu cihazlara iletilir ve buradan da kablosuz olarak etiketlere transfer edilir. Etiketlerin kendi aydınlatması olmadığından ortamın aydınlık olması etiketin okunabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Pil ömrü veri alışveriş sıklığına göre 1 ile 4 yıl arası değişmektedir. Tablo 13 de Pilot Bölge için E-Ink değerlendirmesi yapılmıştır.

Tablo 13 Pilot Bölge için E-Ink Değerlendirmesi

Maliyet	Düşük/Orta (Boyut ve özelliklerine bağlı)
Endüstriyel kullanımı	İmalat şartlarında kullanımı uygun
Olgunluk	Gelişime müsait. Tag veri girişi ancak harici cihazla gerçekleşebiliyor
Beklenen fayda	Görsel olarak okunabilir (insan tarafından). Makine tarafından RFID entegrasyonu ile okunabilir
Süreç kısıtlamaları	Metal yüzeyler (Bina, Araç)

3.7 Sistemsel Geribildirim ve Onay Yaratmada Kullanılan Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Bu kısımda, daha önce tanımlanan sistemsel geribildirim ve onay yaratma teknolojilerinin uygulama fabrikasındaki pilot bölgesi için maliyet, kullanım, olgunluk, fayda ve süreç kısıtlamaları çerçevesinde değerlendirilmiştir.

3.7.1 Endüstriyel Tablet Bilgisayarların Değerlendirilmesi

Oldukça dayanıklı endüstriyel tablet olan Panasonic Toughpad FZ-G1 (Resim 2.4) endüstriyel alanlarda kullanıma uygun Windows işletim sistemli bir ürün olarak dikkati çekmektedir. 10 parmak algılayabilen dokunmatik ekranı ihtiyaç dahilinde özel tablet kalem ile de kullanılabilir. İmalat sistemleri ve servis uygulamalarını sorunsuz bir şekilde çalıştırabilen yüksek verimli Toughpad FZ-G1 endüstriyel tablet dokümanları da yüksek çözünürlüklü olarak açabilen, kullanıcıya büyük kullanım kolaylıkları sunan bir cihazdır. Üzerindeki birden fazla bağlantı imkanı ile içerisindeki verileri kolayca bilgisayara ya da bilgisayardan data aktarmayı mümkün kılmaktadır. İmalat ortamında sıklıkla karşılaşılan ısı, nem veya toz gibi çevresel etkenlere Toughpad sıkı testlerden geçmiş ve bu bağlamda sertifikalandırılmış bir üründür. Neredeyse tüm elektronik ürünler dayanıklılık ve sağlamlık özelliklerinin artırılmasıyla beraber, kaba bir görüntüye bürünüyor. Toughpad FZ-G1 endüstriyel tablet ergonomik tasarımı ile bu kuralı yıkmış görünmektedir. Bir diğer imalat kriteri olan mobil cihazlardaki şarj ömrü kullanıma bağlı olarak Toughpad'te imalatçının verdiği değerler 14 saat olarak oldukça başarılıdır. Maximum vardiya sürelerinin 9,5 saat olarak dikkate alındığında cihaz tek bir şarj ile bir vardiyayı idare edebilecektir. Uygulama fabrikasında hedeflenen süreci sağlayabilmek için cihazda ayrıca barkod, RFID, Bluetooth, yazıcı, USB portlarına da ihtiyaç olacaktır. Toughpad ayarlanabilen port sayesinde profesyonel kullanıcılara kompakt, tam dayanıklı ve hafif bir biçimde bir üründe ihtiyaç duyacakları uyumlu port seçenekleri sağlamaktadır.

Tablo 14 Pilot Bölge için Endüstriyel PC Değerlendirmesi

Maliyet	Yüksek (yaklaşık 3000\$)
Endüstriyel kullanımı	İmalat şartlarında kullanımı uygun
Olgunluk Seviyesi	Yüksek
Beklenen fayda	RFID/WiFi, Barkod vb. entegrasyonu, hafiflik, dayanıklılık.
Süreç kısıtlamaları	Cihaz kullanımı için eller serbest olmalı

3.7.2 Akıllı Telefonların Değerlendirilmesi

Bu kısımda, daha önce tanımlanan akıllı telefonların uygulama fabrikasındaki pilot bölgesi için maliyet, kullanım, olgunluk, fayda ve süreç kısıtlamaları çerçevesinde Tablo 15 de değerlendirilmiştir.

Tablo 15 Pilot Bölge için Akıllı Telefon Değerlendirmesi

Maliyet	düşük (> 150€)
Endüstriyel kullanımı	İmalat şartlarında kısıtlı kullanım
Olgunluk Seviyesi	Yüksek
Beklenen fayda	WiFi, Barkod okuyucu, hafiflik
Süreç kısıtlamaları	Cihaz kullanımı için eller serbest olmalı

3.7.3 Tabletlerin Değerlendirilmesi

Bu kısımda, daha önce tanımlanan ilgili tablet teknolojilerin uygulama fabrikasındaki pilot bölgesi için maliyet, kullanım, olgunluk, fayda ve süreç kısıtlamaları çerçevesinde Tablo 16 da değerlendirilmiştir.

Tablo 16 Pilot Bölge için Endüstriyel Tablet Değerlendirmesi

Maliyet	Yüksek (3000\$)
Endüstriyel kullanımı	İmalat şartlarına uygun
Olgunluk Seviyesi	Yüksek
Beklenen fayda	WiFi, Barkod okuyucu, hafiflik, sistem erişimi ve geri bildirim mümkün
Süreç kısıtlamaları	Cihaz kullanımı için eller serbest olmalı

3.8 Bilgi Görüntülemeye Kullanılan Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Bu kısımda, daha önce tanımlanan ilgili teknolojilerin uygulama fabrikasındaki pilot bölgesi için maliyet, kullanım, olgunluk, fayda ve süreç kısıtlamaları çerçevesinde değerlendirilmiştir.

3.8.1 Akıllı Gözlüklerin Değerlendirilmesi

Akıllı gözlüklerin değerlendirilmesi Tablo 17 de verilmiştir.

Tablo 17 Pilot Bölge için Akıllı Gözlük Değerlendirmesi

Maliyet	uygun (>700\$)
Endüstriyel kullanımı	Zayıf
Olgunluk Seviyesi	Düşük
Beklenen fayda	WiFi, Barkod okuyucu, hafiflik, sistem erişimi ve geri bildirim mümkün
Süreç kısıtlamaları	Yok. Ancak bazı kullanıcılarda baş ağrısı yaptığı bilinmektedir.

3.8.2 Akıllı Saatlerin Değerlendirilmesi

Akıllı saatlerin değerlendirilmesi Tablo 18 de gösterilmiştir.

Tablo 18 Pilot Bölge için Akıllı Saat Değerlendirmesi

Maliyet	Uygun (>500\$)
Endüstriyel kullanımı	Kısıtlı
Olgunluk Seviyesi	Sanayi ortamı için düşük
Beklenen fayda	WiFi, hafiflik, sinyal verebilme
Süreç kısıtlamaları	Dar ve küçük ekranı nedeniyle oldukça kısıtlı veri görselleştirme imkanı

3.8.3 Işıklı Toplama Sistemlerinin Değerlendirilmesi

Işıklı toplama sistemlerinin değerlendirilmesi Tablo 19 da gösterilmiştir.

Tablo 19 Pilot Bölge için Pick-by-Light (PbL) Değerlendirmesi

Maliyet	Orta (regal sayısı ile orantı)
Endüstriyel kullanımı	Uygun
Olgunluk Seviyesi	Yüksek
Beklenen fayda	Işık ile operatöre malzeme kullanım bilgisinin iletilmesi
Süreç kısıtlamaları	Regaller PbL altyapısı ile donatılması gerekmekte. Aynı anda sadece tek komisyoncu (operatör) desteklenmekte

3.8.4 Büyük Ekran Değerlendirilmesi

Büyük ekran değerlendirmesi Tablo 20 de gösterilmiştir.

Tablo 20 Pilot Bölge için Büyük Ekran Değerlendirmesi

Maliyet	Düşük
Endüstriyel kullanımı	Uygun
Olgunluk Seviyesi	Yüksek
Beklenen fayda	Operatöre malzeme kullanım bilgisinin iletilmesi
Süreç kısıtlamaları	Sabit kurulum gerekliliğinden dolayı kısıtlı bir bölgede kullanılabilir

3.9 Teknolojilerin Değerlendirmesi

Tablo 21 de üstte tanıtılmış olan tüm teknolojiler listelenip karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalar mevcut durum, yani “kağıt” a göre yapılmış olup, “-”, “+”, “o”, “+” veya “++” olarak işaretlenmiştir. Diğerlerine göre kıyasla çok üstün olan teknoloji ‘++’

olarak, ya da diğerlerine kıyasla çok zayıf olan teknoloji ise “-” olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 21 Teknoloji Değerlendirme Tablosu

Teknoloji	Maliyet	Endüstriyel Kullanım	Olgunluk Seviyesi	Beklenen Fayda	Süreç Kısıtlamaları
KİMLİKLENDİRME / TANIMLAMA					
RFID	-	+	+	++	0
eINK	-	0	0	+	0
Beacon	-	+	0	++	0
SİSTEMSEL GERİBİLDİRİM YARATMA					
Endüstriyel PC	-	++	++	++	+
Akıllı Telefon	++	-	++	+	+
Tablet	+	-	++	+	+
BİLGİ GÖRÜNTÜLEME					
Akıllı Gözlük	+	--	-	+	+
Akıllı Saat	+	-	-	0	+
Pick-by-Light	-	+	+	++	+
Büyük ekran	+	++	+	++	+

3.10 Pilot Bölge Uygulaması

Bu kısım, 4.3 te tanımlanmış ve kararlaştırılmış pilot bölge olan şase bandında önceki kısımda analiz edilip, tavsiye edilen teknolojilerin “Digi-Walk” ile tespit edilen kayıpları minimize etmek üzere uygulanmasına yönelik olacaktır.

a) Pilot Bölge: Şase Bandı

b) Tespit edilen kayıplara yönelik potansiyeller:

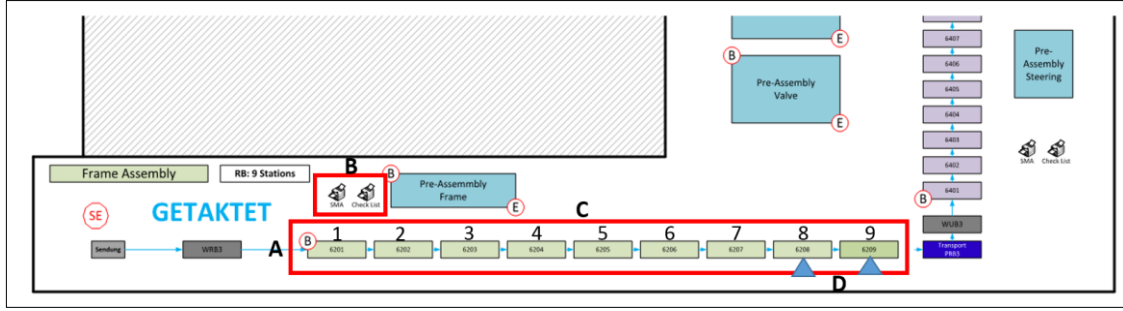
- 4 İstasyon bazlı imalat emirlerinin görüntülenmesi
- 10 Tablet ile toplama (Pick by Tablet)
- 14 Görsel malzeme tanımlama
- 18 Görsel bant alış sıralaması
- 19 Kağıtsız kalite kontrol listesi

c) Teknoloji tavsiyesi:

- 1 Kimliklendirme: RFID
- 2 Sistemsel geri bildirim: Endüstriyel PC
- 3 Bilgi görüntüleme: Büyük Ekran ve Endüstriyel PC

3.10.1 Pilot Bölge

Şase imalat hattı, imalat süreçlerinin başlangıç noktasıdır. Bu hat pilot bölge kararı için önem arz eden ölçülebilir iş adımları, sınırlı sayıda istasyon, Wi/Fi altyapısı, endüstriyel makine varlığı (sıkma cihazları) ve yoğun kağıt kullanımı gibi kriterleri sağlamaktadır. 9 istasyondan oluşması nedeniyle aynı anda 9 araç şasesi imal edilmektedir. Hattın 4,3m üstünde metal enine taşıyıcılar mevcut olup, RF anteni kurulumu için Wi/Fi’nin yanı sıra kablolu LAN network altyapısı için müsait bir ortam sağlamaktadır. Band uzunluğu 110m ve her istasyon farklı uzunluğa sahiptir. 2 adet sistem yazıcısı vasıtasıyla, araç başı montaj emirleri ve çeklisteler basılmaktadır. Şase bandının son iki istasyonunda manuel tork değerleri tanımlanmasıyla, sıkılan değerleri elektronik ortamda kalite sistemi veritabanına aktaran sıkma tertibatı mevcuttur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Uygulama Fabrikası Şase Bandı Krokisi

- A- Hat başlangıcı
- B- Yazıcı sayısı: 2 (Checkliste / Montaj Emri)
- C- İstasyon sayısı: 9
 - 1. Checkliste sayısı: 1 x 9 araç => 9 adet
 - 2. Montaj emri sayısı: 2 (sağ & sol) x 9 araç => 18
- D- 2 adet sıkma tertibatı

3.10.2 Güncel Durum Analizi

Süreç bir katma değer üretmek için gerçekleştirilen birbiri ile ilişkili aktivite ve işlemler dizisidir. İş analizi, belirli bir işin en küçük parçalarıyla ayrıntılı olarak tanımlanıp incelenmesi sürecidir. İşletmenin bünyesinde yer alan ve birbirinden farklı tüm işlerle ilgili bilgilerin toplanması, değerlendirilmesi ve örgütlendirilmesidir (Geylan 1996).

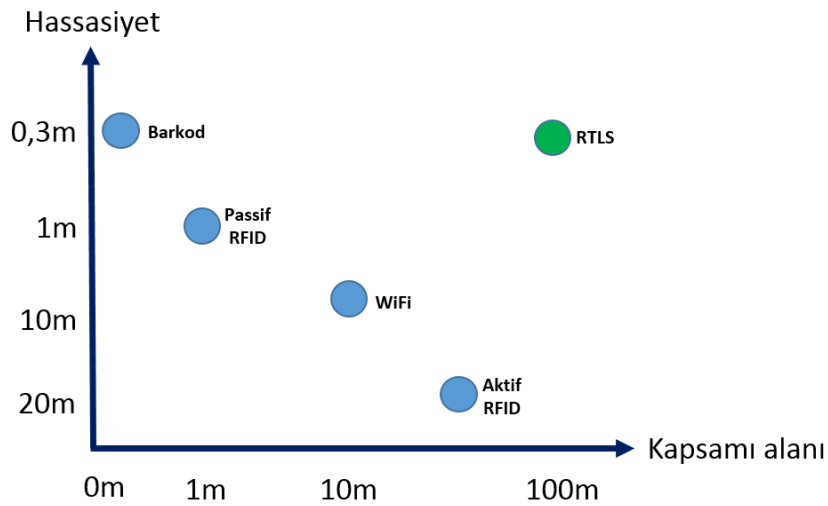
Güncel durum analizi, hedeflenen yeni durumu değerlendirebilmek için gereklidir. Bu bağlamda önceki sürecin, özellikle iş adımlarındaki zaman ölçümleri ile yeni sürecin zaman ölçümleri karşılaştırılacaktır. Bu tezin hedefi doğrultusunda, kağıt destekli süreçlerden oluşan zamanlar (kayıplar) dikkate alınacaktır.

3.10.3 Hedef Konsept

Endüstri 4.0'in merkezinde karmaşık yapıları dinamik şekilde yönetebilmek için insan makine ve teçhizatların gerçek zamanlı yatay ve dikey olarak birbiri ile bağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda pilot bölgesi olarak belirlenen şase bandında kağıtsız bir

imalat hattı tasarlayabilmek için öncelikle üretilen mamülün hat üzerindeki gerçek zamanlı konum bilgilerine ulaşmak gerekmektedir. Bu bilgi ile fabrikanın ERP sisteminden bir arayüz ile imalat hattı üzerinde sıradaki aracın montaj bilgilerine önceden ulaşılabilir ve bu veriler ile hat üzerindeki süreçler optimize edilebilir veya istenilen formatta son kullanıcı cihazlarına ve teçhizatlara iletilebilir. Operatorlere iletilen araca özgü bu bilgilerle, gerekli iş adımları kayıp zaman oluşturulmadan gerçekleştirilebilir. Montaj hattı planlamasında şeffaflık da sağlayacak olan bu yaklaşım, firmaya önümüzdeki zamanlarda karşılaşıacağı daha karmaşık imalat süreç ihtiyaçlarına, müşteriye özgü ürünler taleplerine ve imalat esnekliğini de büyük ölçüde karşılıyor veya temelini sağlıyor olacaktır. Bir önceki kısımda değerlendirilen donanımların yanı sıra, bu altyapı RFID teknolojisinin son versionu olan RTLS (Real Time Location System / gerçek zamanlı konum takip sistemi) kurularak sağlanacaktır (Şekil 3.2).

RTLS, gerçek zaman özellikli bir yazılımı, transponder gibi sensörük iletişim donanımlarıyla birleştirilerek sürekli olarak kişi veya nesnelerin gerçek zamanlı konum takibi sağlamaktadır. Hassasiyeti bugünkü teknoloji ile $< 30\text{cm}$ altında ve kapsamı alanı da çevresel koşullara bağlı olarak $< 100\text{m}$ ye kadar çıkabilir



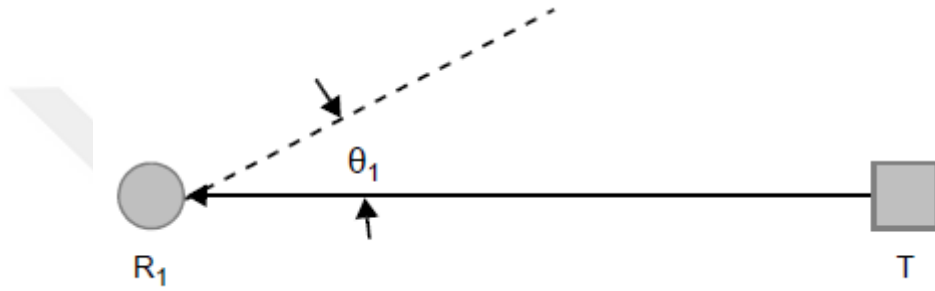
Şekil 3.2 Yakın Mesafe Tanımlama Sistemleri Karşılaştırması (Garzen 2016)

Şekil 3.3 de konsept çalışması görsel olarak verilmiştir. Gerçek zamanlı konumlandırma sistemlerinde konumlandırılacak her nesneye bir mobil transponder takılır (1). Sabit

teknolojiye göre, uzaklık tayini ve açı tayini metotlarının hem tekil kullanımı hem de kombine kullanımı lokasyon tayininde kullanılabilir:

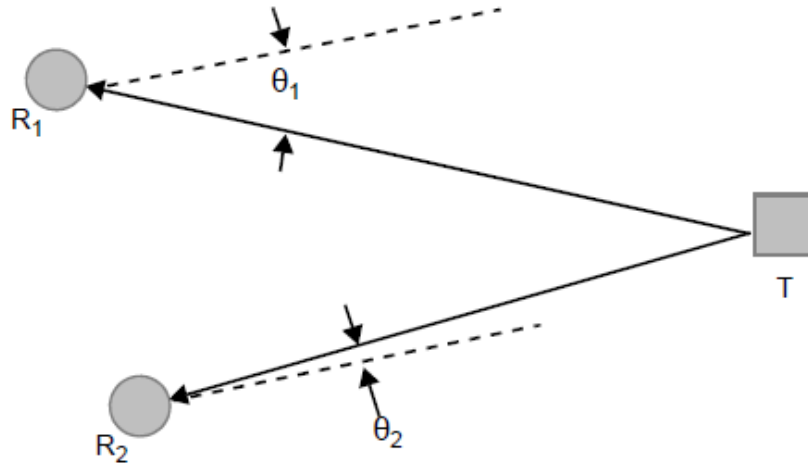
a) Angle of Arrival (AoA):

AoA yönteminde, bilinen yerlerdeki iki okuyucunun konumlarını kullanarak sinyal ileten bir etiketin konumu her iki okuyucuya da basit “üçgenleştirme” yöntemiyle belirlenebilir. Her okuyucu tarafından, aynı etiketten alınan sinyalin geliş açısı hesaplanarak, bir algoritma eşliğinde etiketin konumunu belirlenir.



Şekil 3.4 Angle of Arrival Yöntemi

Aşağıdaki çizimde iki okuyucu, R_1 ve R_2 , T etiketinin konumunu belirleme mantığı resmedilmiştir.

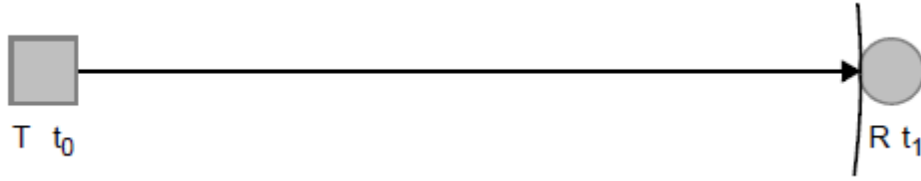


Şekil 3.5 Angle of Arrival Yöntemi

Bu yöntemi kullanarak ölçüm yapmak genellikle 4 ve 12 anten dizinim ihtiyacı nedeniyle karmaşık bir set gerektirir. Bu yöntemin bu yöntemin doğruluğu, kullanılan anten dizilerinin sayısı ile artar. Maliyete ek olarak, elde edilen açı ölçümleri, antenlere farklı dizinimlerden gelen birden çok sinyale (multipath propagasyon) karşı oldukça hassastır. Bu durumla duvar ve metal yüzeyleri olan kapalı alanlarda sıklıkla karşılaşılır. Ek olarak, AoA yönteminde kolaylıkla farklı bir lokasyondan müdahale edilebilirliği nedeniyle güvenlik zafiyetleri göstermektedir (Nanotron Technologies GmbH, 2015).

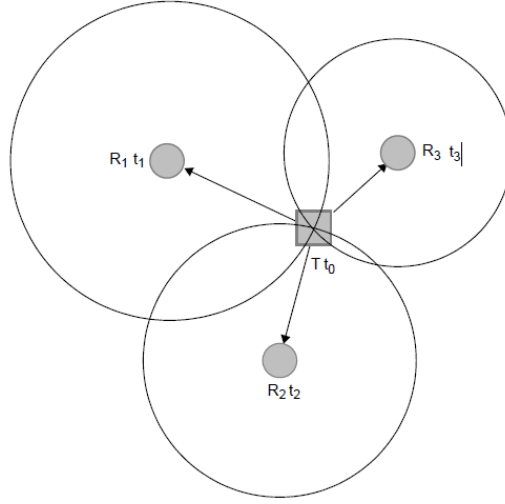
b) Time of Arrival (ToA):

Bu yöntem, “Varış Zamanı” veya ToA, bir transmitter (tag) ve bir veya birden fazla receiver (okuyucu) arasındaki radyo sinyalinin gecikmesi (propagasyon) ölçümüne dayanan bir yöntemdir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Time of Arrival Yöntemi

$t_i - t_0$ olarak hesaplanan propagasyon gecikmesi, bir kaynak istasyondan (TX) çıkan bir sinyalin hedef istasyonuna (RX) varışı farkıdır. Bir başka deyişle, tagden çıkan bir sinyalin, bir okuyucuya ulaşana dek harcadığı zaman olarak da belirtilebilir. TOA ile Konum tespitinde, Propagasyon hızının sinyal propagasyon zamanıyla çarpımı ($t_i - t_0$) sonucunda, propagasyon gecikmesi, tag ile okuyucu arası mesafeye değerine dönüştürülebilir. Bir 2D düzlemindeki etiket konumunu belirlemek için, ToA yöntemi için en az üç okuyucu gereklidir. 3D düzleminde ise bir etiketin konumu belirlemek için en az 4 okuyucu gereklidir. Bir 2D düzleminde, bir etiketin konumu, dairelerin kesişim noktası olarak görülebilirken, 3D alanındaki etiketin konumu kürelerin birleşimi olarak görülebilir (Şekil 3.7).



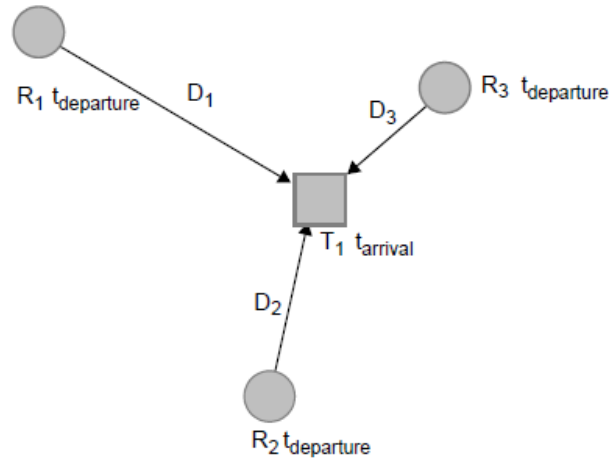
Şekil 3.7 Time of Arrival Yönteminde Konum Tespiti

$R_1, R_2, R_3 \Rightarrow$ Okuyucu; $T=$ Tag; $t_0 \Rightarrow$ Sinyal çıkış; $t_1, t_2, t_3 \Rightarrow$ Sinyal varış

TOA yöntemi ile $t_i - t_0$ 'ın ölçülmesinde makul bir tutarlılığa ulaşmak için etiket ve okuyucunun saatleri senkronize edilmelidir. Bir etiket ve bir okuyucu arasındaki mesafe bu yöntemle belirlenebilir, ancak bu önemli bir maliyet kalemi daha oluşturmaktadır. Mesafe ölçümünde Nanosaniyelik ölçeğe kadar hassaslık sağlayabilmek için, ayrıca yüksek maliyetli ayrıntılı bir saat senkronizasyon sisteminin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu yöntemle ek olarak 2D ve 3D düzlemlerinde en az 3 okuyucu gerektiğinden hem maliyet hem de karmaşıklık artmaktadır.

c) Time-of-Flight (ToF):

ToF yöntemi, standart bir sinyalin tahmini propagasyon hızını temel alarak, bir etiket ile bir okuyucu arasındaki iletimi için geçen süreyi ölçerek konumlama yapar. Bu yöntem tam olarak zaman ölçümüne dayandığından, zaman ölçüm hassasiyeti önceki yöntemlerden çok daha önemli hale gelir. Hassas zaman ölçerli okuyucular (R), ve Tagler (T) birbirlerine çıkış zamanı belli olan sinyal gönderir. Sinyal çıkış zamanı t_1 , propagasyon hızı kullanılarak, varış zamanı olan t_2 ile karşılaştırılır ve mesafe (D) ufak bir sapma ile hesaplanır. 3 okuyucu ile bu algoritma, tag konumunu 3D düzleminde tespit edebilir. Şekil 3.8 bu yapıyı görselleştirmektedir (Int.Kyn.11).



Şekil 3.8 Time-of-Flight (ToF) Yöntemi

TOF yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli avantajı ek donanım ihtiyacının az olmasında yatmaktadır. Bunun yanı sıra bu yöntemin metal ve duvar kısımları olan kapalı alanlarda sapma payının çok küçük olduğu bilinmekle beraber, RTLS teknolojisinde de güvenli bir yöntemdir (Nanotron Technologies GmbH, 2015). Pilot bölgenin metal ve duvar yüzeylere sahip kapalı bir alanda olması ve ek olarak maliyet, hassasiyet ve güvenlik unsurlarının diğer alternatif yöntemlere göre daha üstün olması nedeniyle TOF yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.10.5 Uygulama

Pilot uygulama için TOF yöntemi 4 aşamada uygulanacaktır:

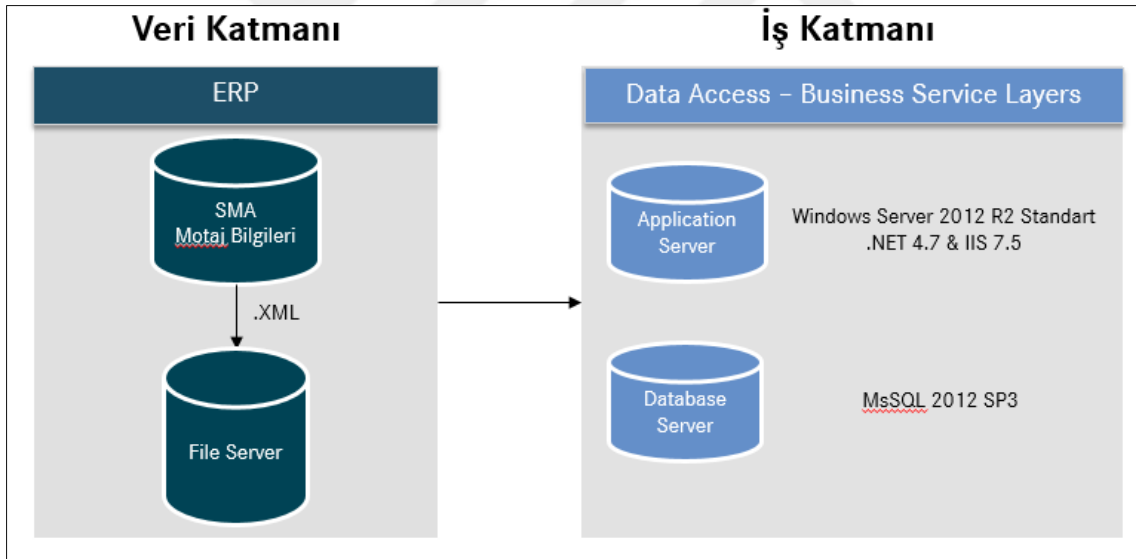
- a) Sunucu kurulumu (IT Architecture)
- b) Antenlerin kurulumu
- c) Sanal haritalandırma
- d) Test

a) Sunucu Kurulumu:

Projenin IT mimari bileşenleri birbiriyle ilişkili 2 ayrı katman olarak kurulacaktır. Veri katmanında ERP Sistemi bulunmakla beraber ve buradan imalat hattında üretilecek araca ait spesifik bilgiler, [“üretim no.” (unique ID) + “malzeme no” + “müşteri kodu”

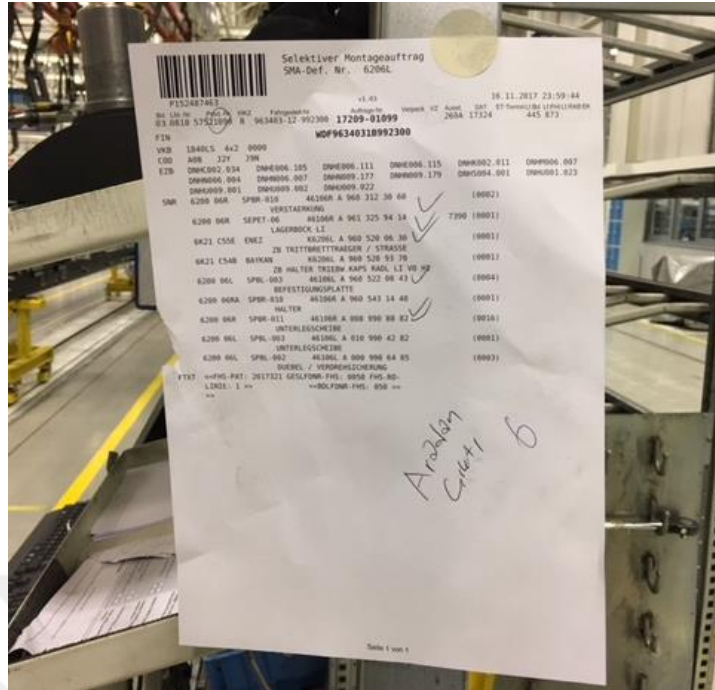
+ “istasyon no”] .xml veri formatında veri sunucusuna (File Server) günlük olarak transfer edilecektir. “Extensible Markup Language” (Genişletilebilir İşaretleme Dili, kısaca XML), hem insanlar hem bilgi işlem sistemleri tarafından kolayca okunabilecek dokümanlar oluşturmaya yarayan bir işaretleme dili ve tanımlanmış bir standart olması nedeniyle veri saklamanın yanında farklı sistemler arasında veri alışverişi yapmaya yarayan bir ara format görevi de görmesi (Wikipedia) araca özgü verilerin bu formatta işlenmesi uygun olacaktır.

İş katmanında veri tabanı olarak MsSQL kullanılarak günlük imalat yükünü içeren .xml dosyaları depolanacaktır. Uygulama sunucusundan yazılım, imalattan gelen “üretim no” ile eşleştirilmiş Tag ID sinyalleri, veri tabanındaki veriler ile eşleştirilerek, ilgili “üretim no” ya ait “malzeme no” + “müşteri kodu” + “istasyon no” bilgilerini son kullanıcı cihazlarının erişimine hazırlar. Mimari yapı Şekil 3.9 da görselleştirilmiştir.



Şekil 3.9 Projenin IT Mimari Yapısı

Güncel olarak kağıt ortamında sağlanan araca özgü verilerin (Resim 3.4), kullanıcı alışkanlıklarından dolayı mobil PC de de şeklen aynen hazırlanması gerekmektedir. Bir önceki aşamada eşleştirilmiş .xml verileri Mobil PC de görüntülenecek şekilde görselleştirilmelidir. Bu adım Resim 3.5 de görselleştirilmiştir.



Resim 3.4 Kağıt Ortamındaki Araca Özgü Veriler

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<AUFTRAG xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" FGST_END_NR="188316" FBM="96440312" AUSSTATTUNG="260A"
FHI_LFD_NR="200" GES_LFD_NR="2144" NACH_PNR=" " VERARBEITUNG_KZ="S" ERSTELLDATUM="2017-12-14T15:12:41.412+01:00"
SEQUENZ="74998" BANDLFD="766" BAND="03" ENDGERAET="SL_WBND1_SYS" SMABrille="6201L" PNR="57536290"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="sma2xml.xsd">
<FIN FIN="NMB96440312188316" DART_RFNR="1" RFNR="1"/>
<FTXT DART_RFNR="1" RFNR="5" FTXT="<<FHS-PAT: 2017349 GESLFDNR-FHS: 0047 FHS-RO-"/>
<FTXT DART_RFNR="2" RFNR="5" FTXT="LINIE: 1 >>">
<MHN DART_RFNR="1" RFNR="3" MHN_TEXT="H17002705." MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 505822004"/>
<MHN DART_RFNR="2" RFNR="3" MHN_TEXT="H17060D1110A" MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 533680691"/>
<MHN DART_RFNR="3" RFNR="3" MHN_TEXT="H17000705" MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 539035311"/>
<MHN DART_RFNR="4" RFNR="3" MHN_TEXT="LU KABELBAND 006 997 1790 4X AN ZB KW-AGB." MOBI_NR="0001"
MHN_NR="MFG 539122003"/>
<MHN DART_RFNR="5" RFNR="3" MHN_TEXT="H17002545." MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 53957209"/>
<MHN DART_RFNR="6" RFNR="3" MHN_TEXT="SCHRAUBEN STOSSFAENGERBEFESTIGUNG." MOBI_NR="0001"
MHN_NR="MFG 539908005"/>
<MHN DART_RFNR="7" RFNR="3" MHN_TEXT="H17002753" MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 541273001"/>
<MHN DART_RFNR="8" RFNR="3" MHN_TEXT="BEFESTIGUNGSKLAMMER 001 991 7171" MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 541893683"/>
<MHN DART_RFNR="9" RFNR="3" MHN_TEXT="EINBAU KLEBESCHILD 962 545 5200." MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 542359041"/>
<MHN DART_RFNR="10" RFNR="3" MHN_TEXT="EINBAU HALTER 961 501 9070 2X" MOBI_NR="0001" MHN_NR="MFG 542507001"/>
<SNR DART_RFNR="3" RFNR="4" FP="BBBB" TFAM="" BENENNUNG="LAENGSTRAEGER LI" VOKOORDINATE="SASE-SOL" MENGE="1"
SNR="A 960 311 55 05" VO="620001L"/>
<SNR DART_RFNR="6" RFNR="4" FP="BBBB" TFAM="" BENENNUNG="LAENGSTRAEGER RE" VOKOORDINATE="SASE-SAG" MENGE="1"
SNR="A 960 311 55 06" VO="620001R"/>
<SNR DART_RFNR="9" RFNR="4" FP="6201L" TFAM="" BENENNUNG="VERSTAERKUNG OB" VOKOORDINATE="6K21-KOM" MENGE="2"
SNR="A 960 312 20 60" VO="6K21A01A"/>
<SNR DART_RFNR="12" RFNR="4" FP="6201L" TFAM="" BENENNUNG="VERSTAERKUNG UT" VOKOORDINATE="6K21-KOM" MENGE="2"
SNR="A 960 312 22 60" VO="6K21B07A"/>
<VKB DART_RFNR="1" RFNR="2" VKB="1842LS 4x2 0000"/>
</AUFTRAG>

```

Resim 3.5 .xml Formatındaki Araca Özgü Veriler



Resim 3.7 İstasyonu Kapsayacak Şekilde Monte Edilmiş RTLS Anteni

c) Sanal Haritalandırma:

ToF yöntemi ile konumlandırma yapabilmek için RTLS antenleri vasıtasıyla pilot bölge 3 boyutlu taranıp x, y, z koordinat düzleminde istasyon sınırları tanımlanacaktır. Bunun için pilot imalat hattına giren bir araca Tag yerleştirilip, istasyon istasyon ilerletilerek, antenlere iletilen sinyaller ile Tag'in fiziksel bulunduğu nokta ölçülüp elde edilen veriler 3D düzlemine tanımlanacaktır. İstasyon ile aracın lokasyonunu eşleştirebilmek için, “x” istasyonundan, “y” istasyonuna geçen 1. aracının ve sıradaki 2. aracının “x” istasyonuna ilerleyişinin fiziksel olarak tespiti gereklidir. Bu bağlamda hat üzerindeki araçların önüne ve sonlarına Tag yerleştirilecektir.



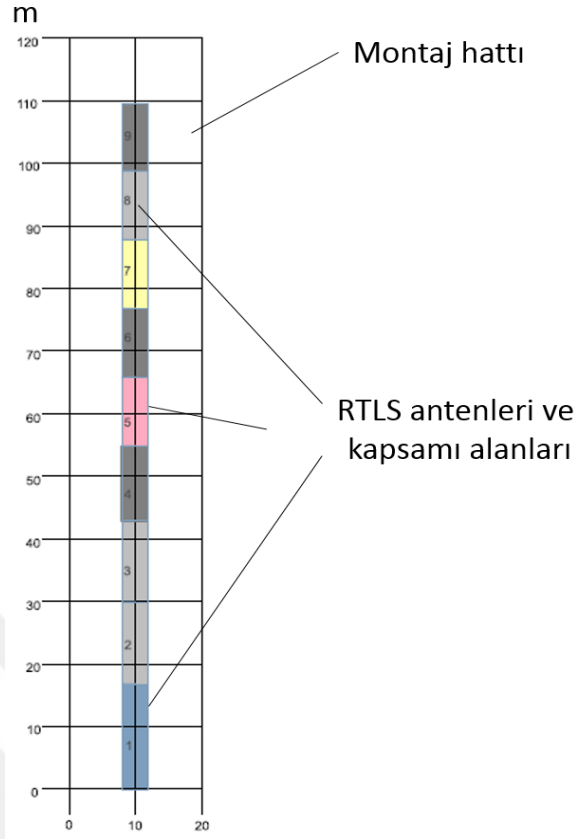
Resim 3.8 Şaseye Yerleştirilmiş Tag

Bu süreçte elde edilen ölçümler sisteme tanımlandıktan sonra ölçümlerin tutarlılığının teyidi için hat üzerinde Tag’lerle birçok kez tur atılması gerekmektedir. Sonuçlar Tablo 22 de olduğu gibi sisteme girişleri yapılacaktır.

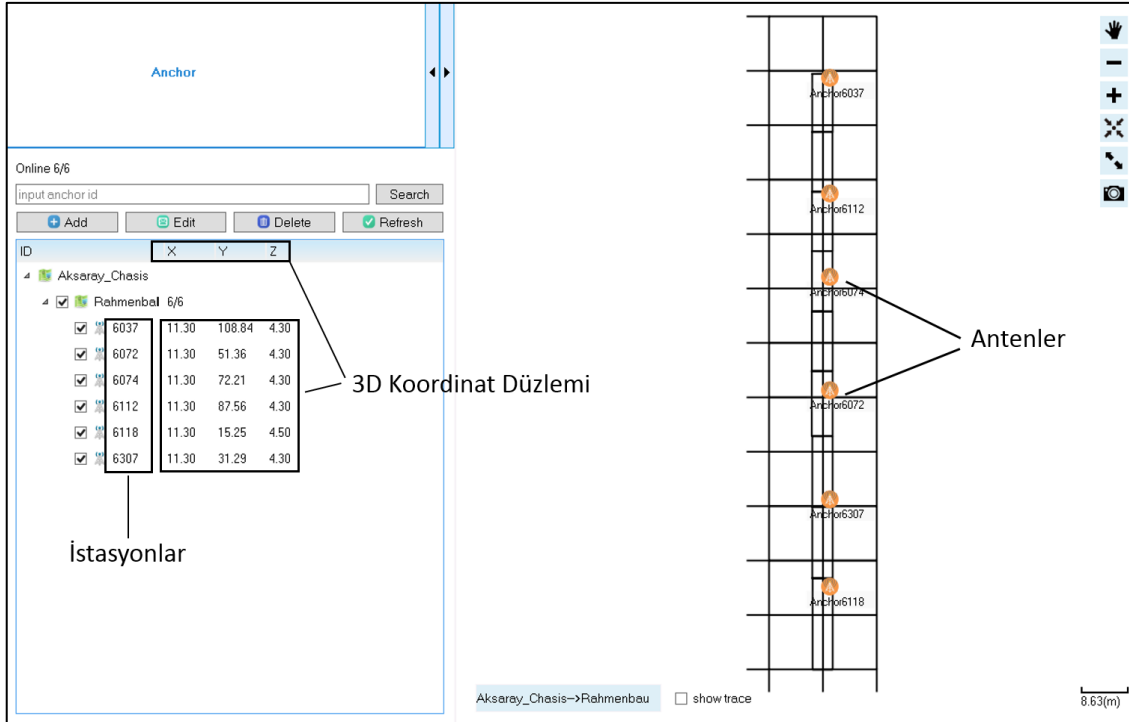
Tablo 22 3B Düzleminde Pilot Bölge Ölçümleri

<u>Istasyon</u>	<u>X (Genişlik)</u>	<u>Y (Uzunluk)</u>	<u>Z (Yükseklik)</u>
4	11.30	15.25	4.30
5	11.30	31.29	4.30
6	11.30	51.36	4.30
7	11.30	72.21	4.30
8	11.30	87.56	4.30
9	11.30	108.84	4.30

Ölçümlerin RLTS uygulamasına girilmesi ile beraber imalat hattının sanal görüntüsü Resim 3.9 ve Resim 3.10’daki gibi olacaktır.



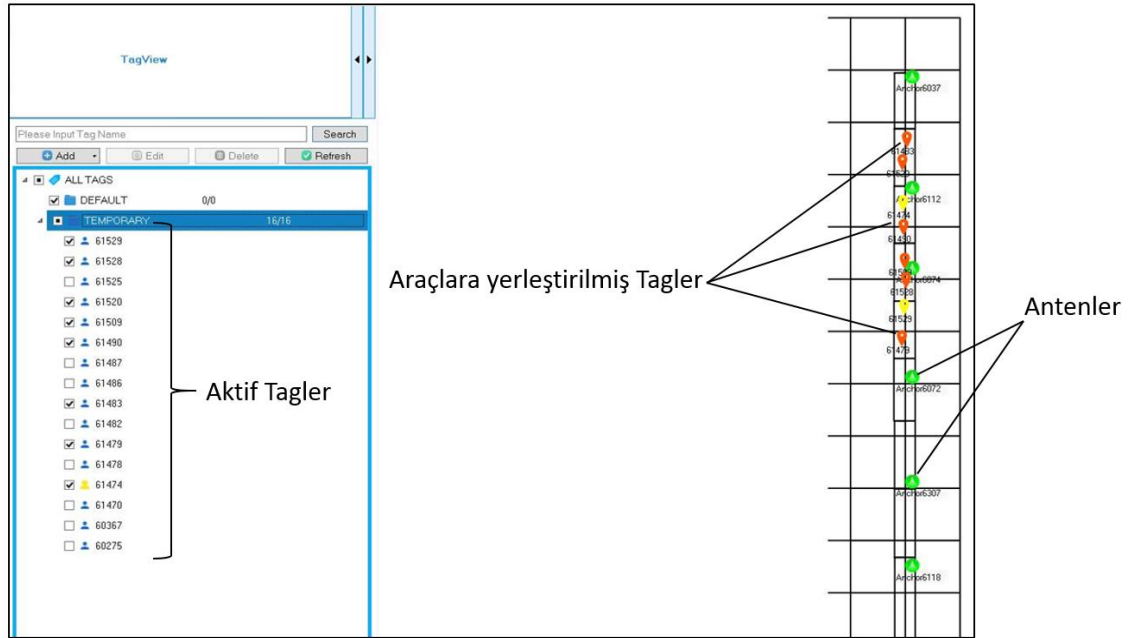
Resim 3.9 İmalat Hattı ve RTLS Antenleri Kapsamı Alanı (Autocad çizimi)



Resim 3.10 x, y, z Koordinat Düzlemi ve Pilot Hattındaki RTLS Antenleri (Yazılım görseli)

d) Test:

RTLS uygulamasının fonksiyon testlerini gerçekleştirebilmek için her 6 istasyon için 1'er adet istasyon numarası ile eşleşmiş Panasonic Toughpad PC kullanılacaktır. İmal edilecek 4 adet araca 2 şer olmak üzere, toplam 8 Tag devreye alınacaktır. Sürecin ilk adımı olarak Tag ID leri, araç no ları ile eşleştirilecektir. Bu işlem doğrudan Toughpad'in tarayıcı aracılığıyla, Tag üzerinde olan barkodun taranması ile gerçekleştirilecektir. Araç No ları ile eşleşmiş Taglerin imalat hattındaki ilgili araçlara yerleştirilmesi ile elde edilen durum RTLS uygulamasında resim 3.11 deki gibi görselleştirilmektedir.



Resim 3.11 Test Araçlarının 3D Düzlemindeki Konum ve Hareketleri

Araçların hareket etmesiyle beraber Taglerden gelen sinyaller, antenler üzerinden algılanır ve uygulama tarafından ToF metodu ile konum tespiti yapılır. Elde edilen konum bilgisi ile daha önce tanımlanan 3D düzlemdeki haritaya göre istasyon eşleşmesi gerçekleşir. İstasyon bilgisine istinaden ERP sisteminden gelen araca özgü montaj bilgileri (.xml) ilgili mobil PC'ye WiFi aracılığıyla aktarılır. Resim 3.12 de endüstriyel PC lere aktarılmış araca özgü veriler görülmektedir.



Resim 3.12 Panasonic Toughpad'lere RTLS Yöntemiyle Aktarılan Araç Bilgileri

4. BULGULAR

Uygulama fabrikasındaki pilot bölgeye sanayi 4.0 bileşenleri uygulanarak, kağıtsız imalat ile ulaşılan verim ve etkinlik, sahada yapılan ölçümler ile değerlendirilecektir. Bu bağlamda olası süreç aksaklıklarından doğabilecek sorunlara karşı eski yöntem, yani araca özgü verilerin kağıt ortamında basımı, test süresince paralel olarak devam ettirilecektir. Kullanılacak yöntemde eski süreç ile yeni süreç karşılaştırılacaktır.

Yeni süreçte araç tipleri bazlı zaman ölçümlerini gerçekleştirebilmek için pilot bölgedeki 6 istasyonun çalışanlarına her istasyonda 1 adet olmak üzere Tablet PC dağıtılmıştır.

Eski süreç akışındaki iş adımları şu şekildedir:

1. Adım: Araca özgü montaj bildirgelerinin (SMA/Checklist) basımı (Kalite B.)
2. Adım: SMA/Checklist lerin araç No'larına göre istiflenmesi (Kalite B.)
3. Adım: SMA/Checklist lerin Araç No'larına göre ciltlenmesi (Kalite B.)
4. Adım: SMA/Checklist lerin istasyonlara dağıtılması (Kalite B.)
5. Adım: SMA/Checklist lerde belirtilen iş adımlarının uygulanması (İmalat B.)
6. Adım: SMA/Checklist lerde uygulanan adımların fiziksel kontrolü (İmalat B.)
7. Adım: SMA/Checklist lerin ilgili çalışan tarafından mühürlenmesi (İmalat B.)
8. Adım: İstasyon PC si üzerinden ERP sistemine onay verilmesi (Kalite B.)
9. Adım: SMA/Checklist lerin son istasyondan toplanması (Kalite B.)
10. Adım: SMA/Checklistlerin taranıp, sunuculara sanal olarak arşivlenmesi (Kalite B.)
11. Adım: SMA/Checklist lerin imha edilmesi (Kalite B.)

Yeni süreç akışındaki iş adımları şu şekildedir:

1. Adım: Taglerin, tablet aracılığıyla, araç no'ları ile eşleştirilmesi (İmalat B.)
2. Adım: Eşleşen Taglerin araçlara tutturulması (İmalat B.)
3. Adım: Tabletlerde görüntülenen araç bazlı iş adımlarının uygulanması (İmalat B.)
4. Adım: Uygulanan adımların fiziksel kontrolü (İmalat B.)
5. Adım: İlgili çalışan tarafından tablet üzerinden onay verilmesi (İmalat B.)
6. Adım: Tablet üzerinden ERP sistemine onay verilmesi (Kalite B.)

Yeni süreçte onay verilen iş adımları, otomatik olarak sunucularda yedeklenmektedir.

Uygulamada iş adımları azalmış olsa da, 1. ve 2. adımlar araç tiplerine göre oldukça yüksek zaman gerektirdiği tespit edilmiştir. Toplam verim, pilot bölgesi baz alınarak, tüme varım şeklinde hesaplanmıştır. Tablo 23 te araç bazlı ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 23 İmalat Birimi Araç Bazlı Ölçümler

Araç Tipi	Check List içerik	Checklist Mühür Sayısı	Checklist Sayfa Sayısı	Yeni Mühür Zamanı (Sn./ Mühür Noktası)	Eski Mühür Zamanı (Sn./ Mühür Noktası)	Toplam Mühürleme Zamanı (h)	Ortalama yeni Mühürleme Zamanı (h)	Ortalama eski Mühürleme Zamanı (h)
Axor TE	955	708	274	7,5	10	1,48	1,49375	1,99
Axor TE	1004	779	286			1,62		
LKT	901	710	254			1,48		
SKN-R	930	691	260			1,44		
SKT	951	697	261			1,45		

Eleman İhtiyacı hesabı (İmalat Birimi):

Yeni duruma göre tüm araç tipleri için ortalama mühürleme zamanı 1,493 saat olarak hesaplanmıştır. Buna göre günlük 2 vardiyada 62 araç üretilmesi durumunda:

$$1,493 \text{ (ort. mühürleme zamanı)} \times 62 \text{ (Araç)} / 7,5 \text{ (1 vardiya)} \times 2 = 24,68 \text{ Eleman}$$

Elde edilen tasarruf 8,22 eleman'dır (Tablo 24).

Tablo 24 İmalat Birimi Eleman İhtiyacı Hesabı

		Eleman İhtiyacı
Eski Durum	62 Araç için eleman ihtiyacı (2x7,5h) (Toplam 16.500 Adet)	24,68
Yeni Durum	Yeni Mühürleme Zamanı ile gelen tasarruf (2x7,5h) (Toplam 16.500 Adet)	16,46
Eleman Tasarrufu		8,22

Tablo 25 Kalite Birimi Süreç Bazlı Ölçümler

İş Adımları	Zaman ölçümü (Eski)	Zaman ölçümü (Yeni)	Eski Toplam Zaman (h)	Yeni Toplam Zaman (h)
1. İstasyon kontrolü	7,8	7,8	0,35	0,20
ERP girişi	2,5	1,5		
ERP giriş kontrolü	2,5	2,5		
Tarama	5	0		
Arşivleme/Kaydetme	3	0		
İmha etme	0,3	0		
Güncel Durum	62 Araç için eleman ihtiyacı (2x7,5h)		5,786	3,30

Kalite birimi eleman ihtiyacı hesabı (Tablo 25):

Yeni duruma göre tüm iş adımları için ortalama zaman 0,20 saat olarak hesaplanmıştır.

Buna göre günlük 2 vardiyada 62 araç üretilmesi durumunda:

$$0,20 \text{ (ort. saat)} \times 62 \text{ (Araç)} / 7,5 \text{ (1 vardiya)} \times 2 = 3,30 \text{ Eleman}$$

Elde edilen tasarruf 2,48 elemandır (Tablo 26).

Tablo 26 Kalite Birimi Eleman İhtiyacı

Eski Durum	62 Araç için eleman ihtiyacı (2x7,5h)	5,78
Yeni Durum		3,30
Eleman Tasarufu		2,48

Düzeltilmiş iç verim oranı (MIRR):

Düzeltilmiş iç getiri oranı yönteminde (modified internal rate of return - MIRR), proje yatırımının bugünkü değerini, nakit girişlerinin proje ömrü sonundaki gelecek değerine eşitleyen iskonto oranı hesaplanmaya çalışılır (Sayılğan 2006). IRR yöntemi, şirketin IRR'a göre hesaplanmış iç getiri oranı kadar değerle, elde ettiği kazançları yeniden yatırıma dönüştüreceğini varsayar. Oysa işletme daha fazla veya daha az sermaye maliyeti ile elde ettiği kazancı yeniden yatırıma dönüştürmek suretiyle farklı net bugünkü değerler elde ediyor olabilir. Dolayısıyla IRR gerçekçi sonuçlar vermeyebilir. MIRR Formülü (1.1) deki gibidir.

MIRR Formülü (Sayılğan 2006):

$$\sum_{t=0}^n \frac{N\check{C}_t}{(1+k)^t} = \frac{\sum_{i=0}^n NG_t(1+k)^{n-1}}{(1+MIRR)^n} \quad (1.1)$$

NÇt: t dönemindeki net nakit çıkışları

NGt: t dönemindeki net nakit girişleri

k: İskonto oranını (faiz oranı ya da sermaye maliyeti oranı)

n: Projenin kapsadığı dönem sayısı

Eşitliğin sol tarafı proje maliyetinin bugünkü değerini, sağ tarafıysa her dönemdeki nakit girişlerinin n dönemi sonundaki değerleri toplamını proje maliyetine eşitleyen MIRR'yi gösterir

MIRR metodu Excel ile kolay bir şekilde hesaplanabilir.

Bu bağlamda kurulum yılı başlangıç olarak ele alınacak ve 2021'e kadar 5 yıllık verim hesabı yapılacaktır. Hesaplamaya girdi olarak şu kalemler alınacaktır:

a) Kurulum maliyeti:

Proje esnasındaki IT ve bölüm insan kaynağı, tedarikçi ve diğer maliyetler (seyahat, doküman, organizasyon vb.)

2017

1 IT uygulama çalışanı 4 ay

1 ITI çalışanı 1 ay

2 bölüm (Teknik hizmetler) çalışanı 1,5 ay

2017 yılı için tedarikçi / yazılım girdileri 25.000€ (yazılım firması proje masrafı)

2018

IT uygulanma çalışanı 1 ay

50.000€ yazılım firması masrafı

Kurulumun 2018 de tamamlanması öngörüldüğünden 2019, 2020, 2021 yıllarında herhangi bir çalışan maliyeti oluşmayacaktır. Bu doğrultuda kümülatif maliyet ile ilgili excel, Tablo 27 deki gibi hazırlanır.

Tablo 27 2017-2021 Yılları Kümülatif Maliyet Hesabı

	2017				2018				2019				2020				2021				Toplam	
	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Toplam
Kurulum maliyeti																						
IT uygulama çalışanı	1,00	4,00	4.167 €	-16.667 €	1,00	1,00	4.167 €	-4.167 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €	2,00	-20.833 €
IT Altyapı çalışanı	1,00	1,00	4.167 €	-4.167 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €	1,00	-4.167 €
Bölüm																						
Bölüm çalışanı	2,00	1,50	4.167 €	-12.500 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €			4.167 €	0 €	2,00	-12.500 €
Merkez																						
IT																						0 €
Bölüm																						0 €
Tedarikçi/Yazılım																						
Proje masrafı			-25.000 €				-50.000 €															-75.000 €
Diğer (Seyahat, otel vs...)																						
Seyahat																						0 €

b) İşletme maliyeti:

Seri işletmeye alınmasından sonra oluşan maliyetler (IT ve bölüm bakım onarım çalışanları, Lisans, elektrik, ...)

2017

Seri işletim giderleri 2018 itibariyle başlayacağından, 2017 de personel masrafı olmayacaktır.

2018

1 IT uygulama çalışanı 1 ay

1 ITI çalışanı 0,5 ay

1 Teknik hizmetler çalışanı 0,5 ay

Seri işletimde 2019, 2020 ve 2021 yıllarında da aynı insan kaynaklarına ihtiyaç olunacağı öngörülmektedir. IT donanım bakım onarım maliyetleri 2018 itibariyle yıllık 15.000€ olarak hesaplanacaktır. Bu doğrultuda işletme maliyeti ile ilgili excel, Tablo 28 deki gibi hazırlanır.

Tablo 28 2017-2021 İşletme Maliyeti Hesabı

İşletme maliyeti	2017				2018				2019				2020				2021				Toplam	
IT	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Ay	Oran	Toplam	TSE	Toplam
IT uygulama çalışanı	0,00	0,00	4.167 €	0 €	1,00	1,00	4.167 €	-4.167 €	1,00	0,50	4.167 €	-2.083 €	1,00	0,50	4.167 €	-2.083 €	1,00	0,50	4.167 €	-2.083 €	4,00	-10.417 €
IT Altyapı çalışanı	0,00	0,00	4.167 €	0 €	1,00	0,50	4.167 €	-2.083 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	4,00	-5.833 €
Bölüm																						
Teknik Hizmetler	0,00	0,00	4.167 €	0 €	1,00	0,50	4.167 €	-2.083 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	1,00	0,30	4.167 €	-1.250 €	4,00	-5.833 €
Daimler Merkez																						
IT																					0 €	
Bölüm																					0 €	
Tedarikçi																						
Bakım Maliyeti																					0 €	
ITI Donanım işletimi																						
İşletim maliyeti					-15.000 €				-15.000 €				-15.000 €				-15.000 €				-60.000 €	
Lisans Maliyeti																					0 €	

c) ITI (IT-Donanım) yatırım maliyeti:

Satın alınan IT donanım maliyetleri (Tablet, TAG, Antenler, Sunucu vb.)

2017 yılı donanım maliyetleri tedarikçi/yazılım bütçesinden harcanmış olduğundan, bu yıla herhangi bir maliyet gideri oluşmayacaktır. 2018 yılında tüm fabrikanın altyapı ihtiyacı karşılanacaktır. Tablet, TAG ve anten giderleri olarak 300.000€ öngörülmektedir.

Bu doğrultuda ITI yatırım maliyeti ile ilgili excel, Tablo 29 daki gibi hazırlanır:

Tablo 29 2017-2021 ITI (IT-Donanım) Yatırım Maliyeti

Donanım Yatırımı	2017	2018	2019	2020	2021	Toplam
Donanım (Yeni)	0 €	-300.000 €				-300.000 €
Lisans						0 €

2017-2021 yılları için toplam kurulum ve işletme maliyetleri Tablo 30 daki gibi olacaktır.

Tablo 30 Toplam Maliyet

	2017	2018	2019	2020	2021	Toplam
Kurulum maliyeti	-58.333 €	-354.167 €	0 €	0 €	0 €	-412.500 €
İşletme maliyeti	0 €	-23.333 €	-19.583 €	-19.583 €	-19.583 €	-82.083 €
Toplam maliyet	-58.333 €	-377.500 €	-19.583 €	-19.583 €	-19.583 €	-494.583 €

d) Nitel Getiri:

Yatırımın günlük iş süreçlerinde sağladığı tasarruf (IT ve bölüm iş gücü, sarf malzeme, donanım, zaman...) Tasarruflar 2018 ile beraber, yani tüm yatırım gerçekleşmesiyle kazanılmaya başlanılacaktır.

2018

Önceki bölümde detaylıca irdelenen ölçümlerden elde edilen rakamlar tabloya girilmiştir. Ek olarak 2018 ile itibariyle yazıcı bakım ve onarım işleri de azalacağından

ITI Servis çalışanı ve printer yönetim sistemlerinden sorumlu IT uygulama çalışanınin da az da olsa tasarrufu dikkate alınmaya başlanmıştır.

2019 itibariyle sistemin tam olarak çalışır olması nedeniyle, eleman tasarruflarında bu doğrultuda artacaktır. 2020 sonrası araç sayılarında ürün pazarı ile doğru orantıda artış öngörüldüğünden elde edilecek tasarruf da artacaktır. Kağıt tasarrufu 2019 da % 100 olarak gerçekleşmesi öngörülmekte ve üretim sayıları ile doğru orantıda 2020-2021’de de tasarruf artarak devam edecektir. 2017-2021 yılları için nitel getiri Tablo 31 deki gibi olacaktır.



Tablo 31 Nitel Getiri

Nitel getiri	2017		2018		2019		2020		2021		Toplam
	TSE	Tasarruf	TSE	Tasarruf	TSE	Tasarruf	TSE	Tasarruf	TSE	Tasarruf	
Tasarruflar	0,00	0 €	2,70	54.751 €	10,70	184.815 €	10,70	189.215 €	10,70	189.215 €	617.994 €
İmalat çalışanı	0,00	0 €	2,06	31.312 €	8,22	124.944 €	8,22	124.944 €	8,22	124.944 €	406.144 €
Kalite FTE	0,00	0 €	0,64	12.672 €	2,48	49.104 €	2,48	49.104 €	2,48	49.104 €	159.984 €
IT Servis	0,00	0 €	0,33	6.600 €	0,33	6.600 €	0,55	11.000 €	0,55	11.000 €	35.200 €
IT Uygulama	0,00	0 €	0,08	4.167 €	0,08	4.167 €	0,08	4.167 €	0,08	4.167 €	16.666 €
Donanım (Printer&Scanner)	0 €		0 €		0 €		0 €		0 €		0 €
Kağıt	0 €		50.000 €		115.000 €		130.000 €		115.000 €		445.000 €
Toner ve bakım/onarım	0 €		0 €		0 €		0 €		0 €		0 €
Toplam Tasarruf	0 €		104.751 €		299.815 €		319.215 €		339.215 €		1.062.994 €

e) Nicel Getiri:

Tasarrufların parasal olarak getirisinin ölçülmesi zordur. Bu çalışma neticesinde çevresel tasarruflar dikkate alınacaktır (kağıt tasarrufu => Ağaç tasarrufu, Su, Alan vb.). Alan tasarrufu ağırlıklı olarak kağıt stoklanması nedeniyle ihtiyaç olunan depo tasarrufundan kazanılmaktadır. Uygulama Fabrikasında imalat ve lojistik süreçlerinde günlük olarak basılan kağıt miktarı yaklaşık 19.000 adettir. 320 günlük üretim takvimine göre 6.080.000 adet A4 kağıt tüketilmektedir.

Baz olarak alınan değerler:

1 A4 kağıt = 5 gr. veya 1 paket kağıt (500 A4) = 2,5 kg.

1000 A4 Kağıt = 5 kg. veya 1 karton kağıt (2500 A4) = 12,5 kg.

80 kutu kağıt = 1 Ton veya 1 Ton kağıt = 17 Ağaç

Uygulama Fabrikasında hergün 18.500 A4 basılmaktadır. Bu durumda;

18,500 A4 x 320 gün = 5,920,000 A4 Sayfa

5,920,000 A4 / 2500 = 2368 Kutu A4

2368 / 80 ≈ 30 Ton veya 30 x 17 = 510 Ağaç/yıl

Tam olarak kağıtsız üretimin 2019 da gerçekleşebileceğini dikkate alarak, 2017-2021 yılları için nicel getiri tablo 32 deki gibi olacaktır.

Tablo 32 2017-2021 Nicel Getiri

Nicel Getiri	2017	2018	2019	2020	2021
Ağaç tasarrufu		255	510	650	800
Alan tasarrufu		34	34	45	45

f) MIRR:

Excel ile MIRR hesaplandığında, ekteki formül kullanılır:

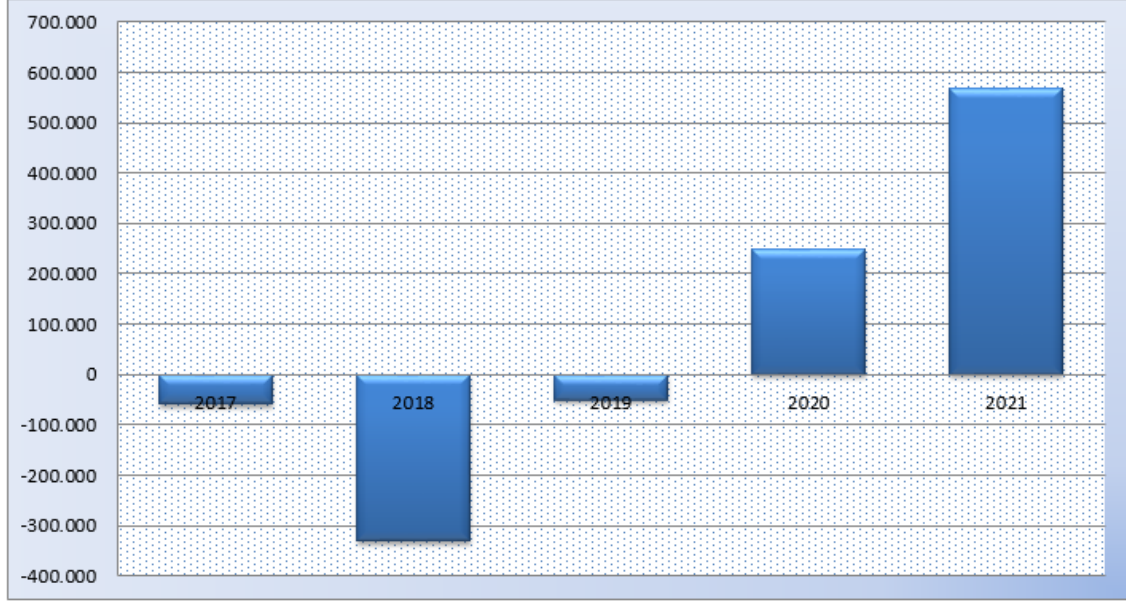
= MIRR(Values; finance_rate; reinvest_rate)

= MIRR(yıl bazında toplam gider ve tasarruflar; (€) enflasyon değeri; yeniden yatırım değeri)

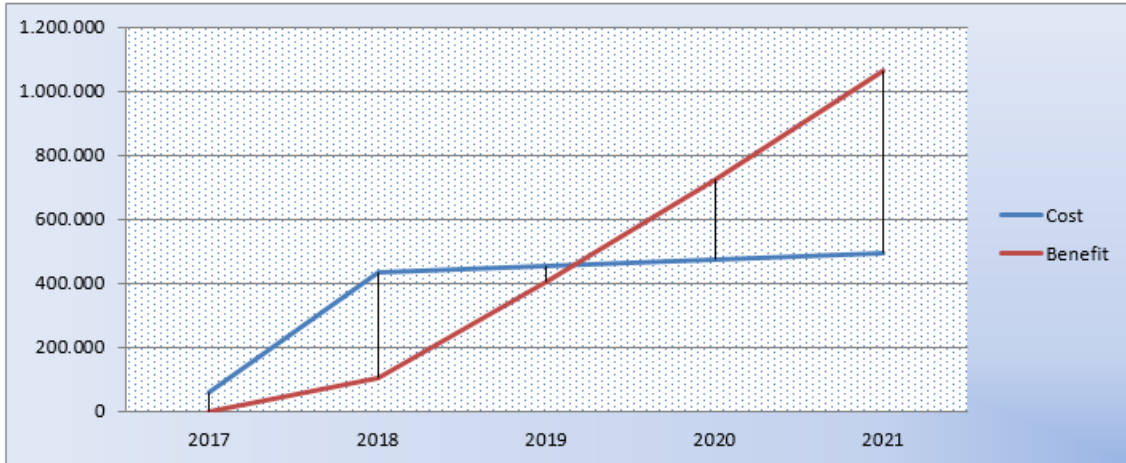
Formül MIRR değerini % **29,52** olarak belirler. Uygulama fabrikası MIRR değerlerinin > %12 olması nedeniyle yapılacak yatırımları pozitif olarak değerlendirmektedir.

Elde edilen değerlere göre yatırım, 2020 yılı itibariyle maliyetleri karşılayıp, işletmeye kazanç sağlamaya başlamaktadır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1 Kümülatif Tasarruf



Çizelge 4.2 Başa Baş Noktası



5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması ile Türkiye’de faaliyet gösteren bir otomotiv üretim fabrikasında Sanayi 4.0 yaklaşımı pilot bir bölgeye uygulanarak ölçümler yapılmış, bu yaklaşımla fabrikada etkinlik ve verimlilik sağlanmıştır. Çalışma öncelikle literatür araştırmalarıyla başlamıştır. Başlangıçta yerli kaynakların kısıtlı olması nedeniyle ağırlıklı olarak yabancı kaynaklar kullanılarak çalışma gerçekleştirilmekle beraber, ulusal yazında da sanayi 4.0 üzerine yapılan çalışmaların arttığı görülmektedir. Literatür taramasından sonra dijitalleşme ve Sanayi 4.0 konularında danışmanlık veren Alman firması olan P3 ile fabrikada dijitalleşme taraması (Digi-Walk) gerçekleştirilmiş ve daha önceden belirlenen potansiyellerin yanı sıra yeni fırsatlar da tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada hedeflenen duruma ulaşmak için teknoloji araştırması yapılmış, farklı katagorideki teknolojiler fiyat/fayda çerçevesinde değerlendirilmiştir. Hedeflenen süreçler ve gelecekteki olası beklentileri de dikkate alarak, en yüksek faydanın sağlanacağı hesaplanan teknolojilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Sanayi 4.0’ın bileşenlerinin Uygulama fabrikasındaki entegrasyonu için yerli bir firma dan danışmanlık hizmeti alınıp, RTLS altyapı kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu esnada kurulan altyapı ile tesisatların yatay ve dikey entegrasyonuna da elverişli bir ortam olmasına önem verilmiştir. RLTS ile tam olarak elde edilen araç konum bilgileri hem ERP ye entegre, hem de imalat bandı üzerindeki diğer makine ve tesisatlara ihtiyaç olunan verileri sağlayabilecek bir altyapıya sahiptir. Yapılan pilot ile beraber stabiliteyi sağlayana dek yazılımda ve ERP entegrasyonunda iyileştirmelere ihtiyaç olunmuş, çalışanların tablet kullanımında ergonomik sıkıntılar da tespit edilip giderilmek üzere çalışmalar başlatılmıştır. Pilot çalışma için planlama birimi ile beraber zaman ölçümleri yapıp, hedeflenen durum ile paralellikler incelenmiştir. MIRR yöntemi kullanılarak hesaplanan düzeltilmiş iç getiri oranı ile fabrikanın pilot bölgesindeki yeni sürecin eskiye kıyasla verimlilik ve etkinlik sağladığı teyit etmiştir. Bu bağlamda, yapılan yatırımın geri dönüşü, kullanılacak kılınan teknolojinin ilk yatırım maliyeti ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Fonksiyonel sanayi tipi tabletlerin ve Tag’lerin oldukça yüksek maliyeti ve imalat süreçlerinde ihtiyaç olunan sayısının fazlalığı bu değeri önemli ölçüde negatif olarak etkilemiştir. Bu tespit, Sanayi 4.0’ın ilk yatırım maliyetinin geri dönüşünün, fabrikanın iş gücü maliyetinin Türkiye şartları ile doğru

orantılı olarak düşük olması nedeniyle, yavaş olduğunu da göstermiştir. Pilot bölgede gerçekleştirilen çalışmanın yaklaşık 3 yıl içerisinde oluşturacağı positif sonuçları ve dijitalleşmeye yatırım gerekliliği hedefiyle, fabrika yönetiminin Sanayi 4.0 doğrultusunda imalatın diğer bölgelerinde de uygulama yapılması kararını desteklemiştir. Bu çalışma ile Sanayi 4.0 konseptinin getirileri şu şekildedir: Makinelerin ve ürünlerin bağlantılı olması verimliliği artırmakta, maliyetleri düşürmekte ve kaynaklarda da tasarruf sağlamaktadır. Diğer yandan Türkiye iş gücü maliyetlerinin gelişmiş ülkelere kıyasla düşük oluşu, Sanayi 4.0 yatırım maliyetleri ile çelişmekte ve yerli firmaların bu doğrultuda yatırım yapma isteklerini negatif yönde etkileyebilmektedir.

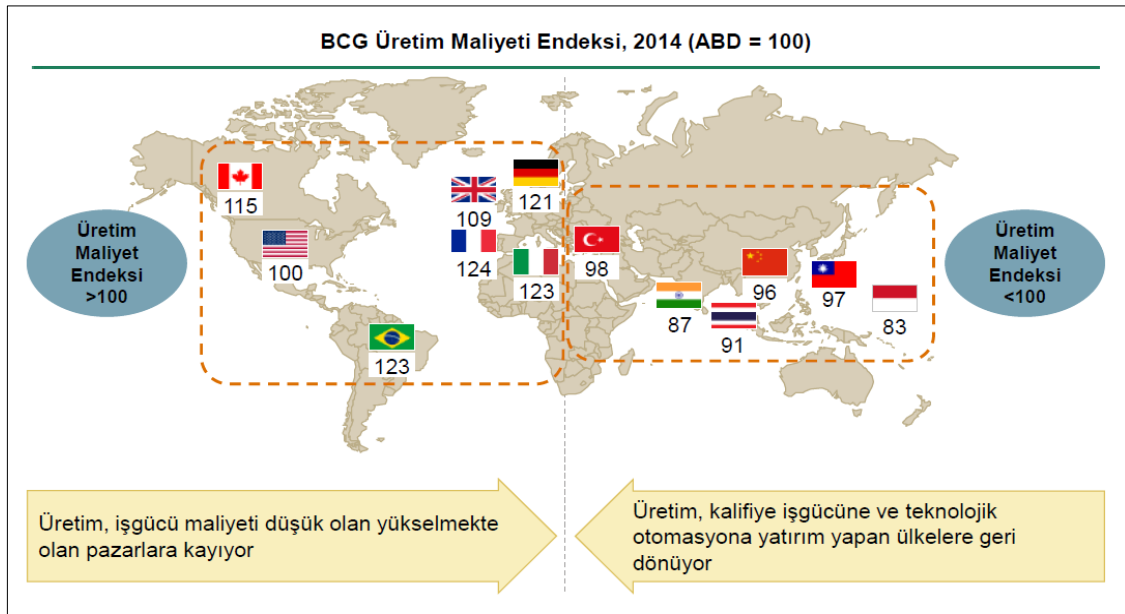
Dijitalleşme yatırımları yapan işletmeler, Sanayi 4.0 çerçevesindeki mantıklı izleme yöntem ve şeffaf süreçlerle pazardaki değişim ve beklentilere esnek ve hızlı şekilde uyum sağlayabileceklerdir. Örnek olarak bir tedarikçinin malzeme sağlayamamasından dolayı veya bir hammaddenin azalması durumunda ana sanayi imalat hızını orantılı olarak, yani durdurmadan yavaşlatabilir. Başka bir tasarruf ise, makine ve tesisatların Sanayi 4.0 bileşenleri kullanılarak, bakım ve onarım maliyetlerinin düşmesi ile sağlanabilecektir. Makinelerden otomatik olarak toplanıp analiz edilecek veriler sonucunda hangi zaman dilimlerinde bakım yapılacağı veya makinenin arızaya düşeceği bilgisine önceden elde ederek imalatla makine durmalarından dolayı oluşan kayıplar minimize edilebilecektir.

Modern IT çözümleri kendi kendilerine, yani eskiye kıyasla zorlu programlama yapılmadan, yeni şartlara adapte olmaları, firmaların hızlı bir şekilde müşteri taleplerine cevap vermelerini sağlayacaktır. İmalat süreçlerinde kullanılan malzemeler ne olduklarını, nasıl işleneceklerini, nereye ait olduklarını ve hangi makine ile işleneceklerini “bilirler”. Makineler bu süreçte hangi zamanda hangi işin önceliklenerek tamamlanması gerektiğine ilişkin karar verebilirler.

Endüstri 4.0 konusunda bir başka önemli husus ise, Türkiye’nin lojistik avantajı sağlayan coğrafi konumu sayesinde ve esnek, düşük maliyetli üretim yapabilmesini sağlayan görece düşük maliyetli işgücünü kullanarak, küresel değer zincirinde oldukça

rekabetçi şekilde konumlandırıldığıdır. Üretim ücretleri, verimlilik, enerji maliyetleri ve döviz kurlarını dikkate alarak oluşturulan BCG Global Üretim Maliyeti Endeksi'nde, Türkiye 98 ortalama birim maliyet ile üretim yaparken, ABD 100, Almanya ise 121 ortalama birim maliyetle üretim gerçekleştirmektedir.

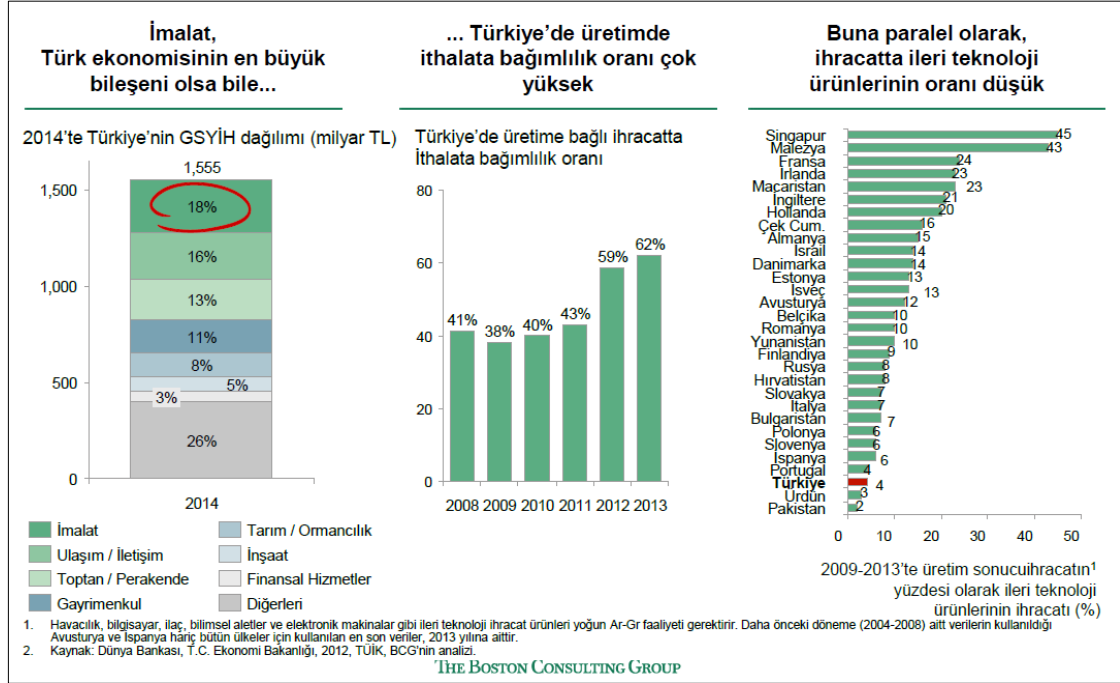
Diğer bir deyişle, Türkiye'deki ortalama doğrudan üretim maliyetleri Almanya'nın % 23, ABD'nin ise % 2 altındadır. Bu analiz, Türkiye'nin küresel değer zincirinden pay almak ve ihracat platformunu güçlendirmek için sahip olduğu rekabet avantajının altını çizmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Türkiye'nin Küresel Değer Zincirindeki Konumu (Boston Consulting Group, 2014)

Türkiye'nin üretim sektöründeki rekabetçi yapısını koruyabilmek için karşı karşıya olduğu çok önemli sorunlar bulunmaktadır. Çizelge 5.1 de Türkiye'nin 2014 yılında gayrisafi milli hasılasının içerisinde sektör paylarının dağılımına göre, % 18'lik payla en fazla değer üreten sektör imalat olmasına rağmen, Türkiye'nin üretiminin çok büyük bir kısmının ithalata dayalı olduğu da görülmektedir. 2009 dan başlayarak 2013 yıllarına kadar bu oran artarak % 38 den, % 62'ye yükselmiştir. Buna karşın toplam ihracatta Türkiye'nin yüksek teknoloji ürünlerinin, yani katma değerli üretimin payı sadece % 4'tür (Çizelge 5.1). Yıllar içerisindeki ülkelerin karşılaştırmalı sanayi malı satış gelirlerindeki değişim, özellikle Çin'de % 241 oranında arttığı bilinmektedir (Tablo 33).

Çizelge 5.1 Türkiye Üretim Sektörü Dağılımı (The BCG, 2012)



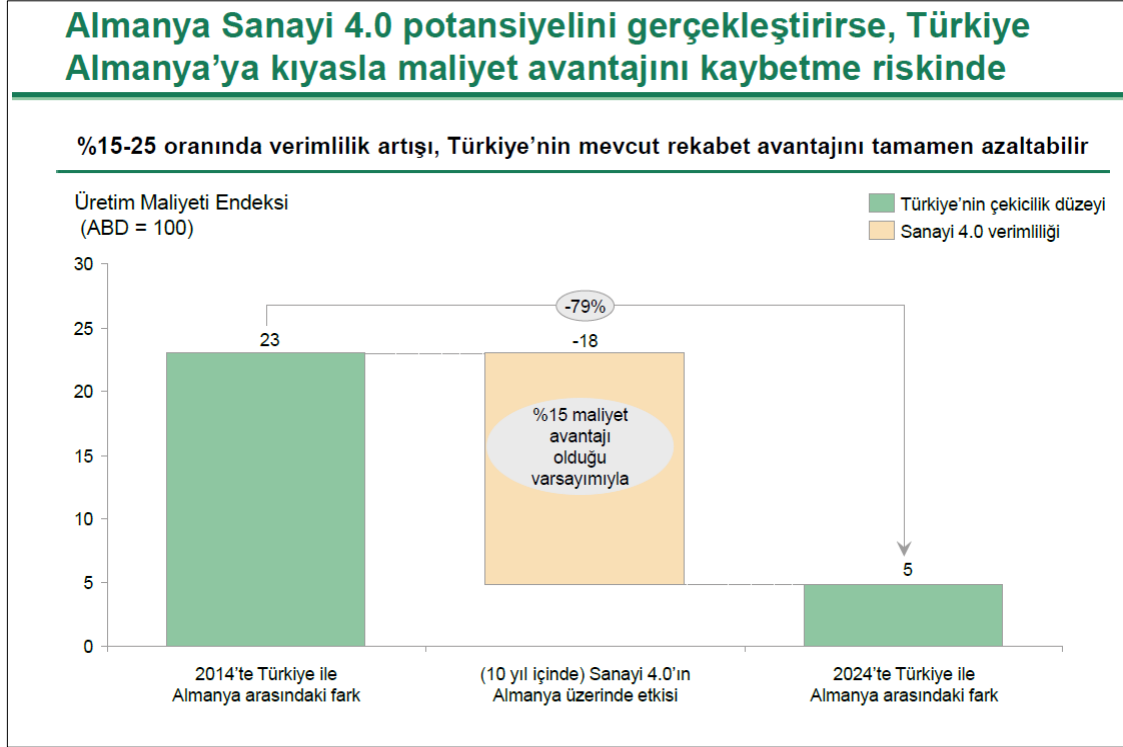
Tablo 33 Sanayi Malı Satış Gelirlerindeki Değişim (Ersoy 2016)

Ülke	2006	2011	Değişim (%)
Euro Bölgesi	550	620	13
ABD	280	280	0
Almanya	190	220	16
Rusya	10	15	50
Çin	170	580	241

Türkiye'de işgücü yeteneklerinin oldukça düşük olması, yeni teknolojilerin ve bu teknolojilerin getirdiği ekosistemlerin kabullenilmesi sürecini oldukça yavaşlatmaktadır (TÜSİAD, BCG, 2016). Diğer taraftan bugün üretim maliyet endeksleri Türkiye ye kıyasla yüksek olan sanayi ülkelerinin endekleri, Sanayi 4.0'a yapılacak yüksek miktarlardaki yatırımlarla düşük seviyelere indirilmesi hedeflenmektedir. Üretim maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle birçok üretim tesisi Batı'dan Doğu'ya kaymıştı fakat bu süreç Endüstri 4.0 ile tersine işlemeye başlamaktadır. Apple iPhone üretimini Çin'den Amerika'ya taşımak istemektedir. Bir başka deyişle, bir ülke ucuz iş gücü sayesinde üretim merkezlerini elinde tutması mümkün olamayacaktır. Türkiye'nin uluslararası piyasalarda ucuz işgücü ve coğrafi konumunun avantajları sayesinde

rekabetçi bir ülke haline geldiği düşünülürse, Almanya ve ABD gibi ülkelerin Endüstri 4.0'a geçmesi durumunda bu ülkelerden daha pahalıya üretim yapması olasıdır.

Çizelge 5.2 Almanya'nın Sanayi 4.0 Dönüşümünün Türkiye'ye Muhtemel Etkisi (Tüsiad, S4.0)



Türkiye'de Endüstri 4.0 geçişinin sağlanması durumunda üretim sektörlerinin 50 milyar TL civarında bir verimlilik elde edebileceği ortaya konmuştur (TÜSİAD, BCG, 2016). TÜİK ve SGK yıllık raporlarındaki veriler kullanılarak yapılan çalışmada, dönüştürme maliyetlerinde (malzeme dışındaki üretim maliyeti) % 5-15, toplam üretim maliyetlerinin verimliğinde ise % 4-7 civarında bir artış beklenmektedir. Verimlilikteki bu artış Türkiye'nin uluslararası piyasalarda rekabet etme gücünü doğrudan etkileyecek bir parametre olup, Endüstri 4.0 değişiminin ne kadar önemli olduğunu görmek açısından da oldukça yararlıdır. Endüstri ülkelerinin üretimde robot odaklı bir modele geçip verimlilik ve kalite alanlarında atacakları bu önemli adımlar karşısında Türkiye'nin emek-yoğun bir üretim modeline bağlı kalması, rekabet gücünü çok aşağı seviyelere çekecektir. Bu bakımdan Türkiye dijitalleşme sürecini yakından takip etmeli ve Endüstri 4.0 için doğru stratejilerle somut adımlar atmalıdır. Türkiye'nin bu devrimin dalgalarına hazırlanması gerekmektedir. Endüstri 4.0, aksine bütün iddialara karşın ister

istememez işsizliği artıracak bir devrimdir. Robotlarla çalışan üretim birimlerinde mavi yakalılara olan ihtiyaç azalmaktadır. Yeni düzende muhasebecilik, insan kaynakları uzmanlığı, işletmecilik gibi mesleklerin çoğu büyük ölçüde bilgisayar programları yoluyla yapılacak ve insana olan ihtiyaç azalacaktır. Günümüzde bu bölümlerden her yıl çok sayıda öğrenci mezun olmaktadır ve bu mezunlar teknolojinin gelişiminden dolayı çalışacak iş bulmakta giderek zorlanmaktadır. Bu yeni oluşumda uzmanlaşmış yani ancak program yazabilen, robotları ve makineleri yapabilen insanlarla programları kullanabilen insanlara olan ihtiyaç daha fazla olacaktır. Bu uzmanlığa sahip olmayanların sanayiden hizmetler sektörüne yönelmesi gerekmektedir. O nedenle bu büyük dalgayı karşılayabilmek için geleceğin toplumuna yönelik eğitim değişikliğine gidilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0'a geçişle birlikte ortaya çıkacak işsizliği azaltabilmek için tarım ve hayvancılık politikalarını, bu alanlarda üretimi ve verimliliği artıracak biçimde ele alınması faydalı olacaktır (Eğilmez 2017).

Bu doğrultuda eğitim sisteminin Endüstri 4.0 ile uyumlu olacak bir şekilde yeniden kurgulanması gerekmektedir. Kodlama yapabilen, yaptığı kodlamalar ile yeni algoritmalar geliştirebilen, geliştirdiği algoritmaları çeşitli yapılara/süreçlere uygulayabilen, sayısal düşünme becerileri yüksek ve optimizasyon kavramlarına hâkim nesillerin yetiştirilmesi gerekmektedir.

Endüstri 4.0'ın temellerinden bir tanesini yazılım oluşturmaktadır. Yazılım eğitimi, aynı zamanda problem çözme, karar verme, planlama yapma, işleri düzenli ve belirli bir sıraya koyabilme, iletişim kurma, gözden geçirme, sonuca ulaşmak için tekrar deneme vb. gibi işletmelerin ihtiyacı olan pek çok becerileri de beraberinde kazandırmaktadır. Problem çözebilme, tasarım yapabilme ve sonuç odaklı düşünebilme becerileri daha küçük yaşta bireyleri kazandırılmalıdır.

İlkokul için, günümüzde Scratch® by MIT, Code.org®, Blockly® vs. gibi görsel kodlama platformlarının kullanımları yaygınlaştırılabilir. İlkokuldan başlayarak lise eğitimi de dahil olmak üzere, dijital okur yazarlığın artırılması için pek çok çeşitli açık kaynak kodlu yazılım sistemleri, örneğin, Arduino, milli eğitim müfredatının zorunlu dersleri arasına alınmalıdır. Yazılımın yanı sıra veri analizi ve tasarım becerilerinin de

yeni nesillere kazandırılması gerekmektedir. Yetkinliğin imalatındaki rekabet gücünü etkileyen en önemli unsur olduğu, Deloitte, 2016 da yaptığı araştırma sonuçları ile ortaya koymuştur. Kodlama ve analitik eğitim sistemi ile beraber, Türkiye gibi iş gücünün ucuz olması sebebiyle Endüstri 4.0 yatırımlarının gecikmesine karşılık, büyük veri analizi ile işletmelerin süreçlerindeki “tesadüfleri” bertaraf ederek rekabet güçlerini sağlamlaştırabilirler. Bunun için öncelikle yüksek nitelikli ve uzmanlaşmış bir çalışan kadrosuna ihtiyaç duymaktadır.

Her ülkenin sanayi sektörü, Sanayi 4.0’ı farklı hızlarda, farklı yaklaşımlarla zaman içinde uygulamaya başlayacaktır. Otomotiv sektörü üretkenliğin artmasını sağlayan esneklikten yararlanmaya öncelik verirken, yarı iletkenler ve ilaç gibi alanlarda faaliyet gösteren endüstriler kalite odaklı yaklaşımlarla hata oranını azaltmak amacıyla veri analizine dayalı iyileştirmeleri uygulamaya yöneleceklerdir. Diğer yandan nitelikli işgücü maliyetinin yüksek olduğu gelişmiş ülkeler, üretimde otomasyonu artırarak, daha yüksek nitelikli işgücüne ihtiyaç yaratacaklardır. Türkiye bu fırsattan ancak tüm paydaşları kapsayan, güçlü ve zayıf yönlerine odaklanarak, eş güdümlü ve iyi tasarlanmış bir yaklaşımla yararlanabilir. Dönüşümü etkin bir şekilde yürütmek için üreticiler, yazılımcılar, altyapı sağlayıcıları, politikacılar ve akademisyenler, teknolojik ilerlemeye yönelik kararlı adımlar atmalıdırlar.

6. KAYNAKLAR

Kitap:

Broy, M. (2013). Engineering Cyber-Physical Systems: Challenges and Foundations. Springer, Berlin, Heidelberg

Brugger, R. (2009). Der IT Business Case, Kosten ermitteln und analysieren, Nutzen erkennen und quantifizieren. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Düdenhöfer, F. (2016). Wer Kriegt die Kurve?. Campus Verlag GMBH, Frankfurt A. Main.

Giancarlo, F. and Liotta, A. (2016). Internet of Things. Springer International Publishing, Switzerland.

Gille, D., Picot, A., Reichwald, R., Franck, E. and Möslin, K. (2010). Wirtschaftlichkeit von RFID-Systemen in der Logistik. Springer Fachmedien, Wiesbaden.

Gillert, F. and Hansen, W. (2007). RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen, Prozess-Strukturen, IT-Architekturen, RFID-Infrastruktur. Carl Hanser Verlag, München, Wien.

Glanz, A. and Büshen, M. (2013). Mashine-to-Mashine Kommunikation, Campus Verlag, Frankfurt.

Göpfert, I., Braun, D. and Schulz M. (2013). Automobillogistik, Stand und Zukunftstrends. Springer Fachmedien, Wiesbaden.

Günthner, W. and Hompel, M. (2010). Internet der Dinge in der Intralogistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Hausladen, I. (2014). IT-gestützte Logistik; Systeme-Prozesse-Anwendungen. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Heiserich, O., Helbig, K. and Ullmann, W. (2011). Logistik; Eine praxisorientierte Einführung. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Heinrich, M. (2016). Transport und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Hompel, M. and Kerner, S. (2015). Logistik 4.0; Die Vision vom Internet der autonomen Dinge. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Kaufmann, T. (2015). Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Krallmann, H., Bobrik, A. and Levina, O. (2013). Systemanalyse im Unternehmen, Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.
- Mauterer, H. (2002). Das Nutzen von ERP-Systemen, Eine Analyse am Beispiel von SAP R/3. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Manzai, C., Schleupner, L. and Heinze, R. (2016). Industrie 4.0 im internationalen Kontext. VDE Verlag GMBH, Berlin, Offenbach.
- Mehler-Bicher, A. and Steiger, L. (2014). Augmented Reality, Theorie und Praxis. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.
- Mussomeli, A., Gish, D. and Laaper, S. (2016). The rise of the digital supply network: Industry 4.0 enables the digital transformation of supply chains, Deloitte University Press.

Pernul, G. and Unland, R. (2003). Datenbanken im Unternehmen. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.

Roth, A. (2015). Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S. and Hämmerle M. (2013). Produktionsarbeit der Zukunft. Freuenhöfer Verlag, Stuttgart.

Sirkin, H., Zinser, M. and Rose, J. (2014). The Shifting Economics of Manufacturing. The Boston Consulting Group, Chicago.

Rapor:

Nurşen N., Mehmet E., Gözde M. ve Ecem A. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için bir Gerekliklik olarak Sanayi 4.0. TÜSİAD-T/2016-03/576, İstanbul.

Makale:

Bilton M., Luo, J. and Kiyoshi M. (2017). Digitising Manufacturing in the G20 – Initiatives, Best Practice and Policy Approaches. Industrie 4.0 Plattform, Berlin.

Burke, R., Mussomeli, A. and Laaper, S. (2017). The Smart factory: Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing. Deloitte University Press.

Di Serio, Á., Ibáñez, M. B. and Delgado Kloos, C. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. Computers and Education.

Gökbulut A., Tansan, B., Targotay, Ç. ve Evren, T., (2016). Türkiye'nin Küresel rekabetçiliği için bir gerekliklik olarak sanayi 4.0. TÜSİAD-T/2016-03/576.

Parashar A. and Singh B., (2017). MES 4.0 – A Smart Manufacturing Execution System. Tata Consultancy Services, CFE Media.

Internet Kaynakları:

1- <http://www.Intel.com>, 10.08.2017

2- <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Home/home.html>, 20.11.17

3- <http://www.kindleturkiye.com>, 24.10.2017

4- https://www.omni-id.com/pdfs/DS0071-P_Omni-ID_View_Tags_Datasheet.pdf, 16.10.17

5- <http://www.panasonic.com>, 03.11.2017

6- <http://www.catphones.com>, 03.11.2017

7- [http://www.xploretech.com/products/xc6-dm-dml-rugged-industrial windows-tabletpcs](http://www.xploretech.com/products/xc6-dm-dml-rugged-industrial-windows-tabletpcs), 19.11.17

8- <http://www.epson.com>, 06.11.2017

9- http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=967, 15.10.17

10- <http://www.itzoom.de/mobile-business/e/smartwatch-unterstuetzt-die-montagearbeit-bei-bmw-11228/>, 18.11.17

11- <https://aktifbeyin.wordpress.com/2016/05/21/time-difference-of-arrival-tdoa/>

12- <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>, 18.09.2017

İç Kaynaklar:

Niederreuther, C. and Horr, A. (2016). Produktionsversorgung, Lager, Just-In-Time. Wörth.

Scherr, H. (2015). Logistik und Lieferantenmanagement Werk Wörth TE/OS. Wörth.

Niederreuther, C. (2016). Erstellung eines Konzepts zur Auswahl geeigneter IT-Unterstützung zur papierlosen Steuerung der Intralogistik eines Automobilherstellers. Wörth.

Stumpe, M. (2015). Foto Großbildschirm Daimler Werk Wörth, Fahrerinformation. Daimler AG, Wörth.

Steegmüller, D. (2014). Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Sindelfingen.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gürhan GÜVENER
Doğum Yeri ve Tarihi : Wasserburg, 28.03.1979
Yabancı Dili : Almanca / İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0533 255 00 52

Eğitim Durumu

Lise : İzmir Bornova Anadolu Lisesi, (1996)
Lisans : Çankaya Üniversitesi İng. İşletme, (1997-2001)

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Mercedes Benz Türk, Kamyon Fabrikası IT Müdürü
(2002-...)

Diğer konular : 04/2018 5. Ulusal Yönetim Bilişim Zirvesi’nde “Dijital
Dönüşüm” sunumu yapılmıştır.