

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**AKILLI İMALAT TEKNOLOJİSİNİN SAVUNMA SANAYİNDE
UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Furkan KURUMAHMUT

Danışman
Prof. Dr. Birol ELEVLİ

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan KURUMAHMUT tarafından, **Prof. Dr. Birol ELEVLI** danışmanlığında hazırlanan “**Akıllı İmalat Teknolojisinin Savunma Sanayinde Uygulanması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 23.2.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan (Danışman)	Prof. Dr. Birol ELEVLI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Zeynep CEYLAN Samsun Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği AnabilimDalı		☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar 'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

İmza

06 / 01 / 2022

Furkan KURUMAHMUT

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Akıllı İmalat Teknolojisinin Savunma Sanayinde Kullanımı

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 29/12/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza

29 / 12 / 2021

Prof. Dr. Birol ELEVLİ

ÖZET

AKILLI İMALAT TEKNOLOJİSİNİN SAVUNMA SANAYİNDE UYGULANMASI

Furkan KURUMAHMUT

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Sistemler Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ocak/2022

Danışman: Prof. Dr. Birol ELEVLI

Günümüzde, işletmelerin rekabetleri ulusal sınırları aşır uluslararası pazar boyutu kazandı. Rekabet amacıyla, satış fiyatını diğer işletmelerle aynı seviyede tutmak isteyen, fakat bunun aksine kazancını da arttırmak isteyen işletmelerin maliyeti azaltmaları gerekmektedir. 21. Yüzyılda teknolojiye gerçekleşen önemli gelişmeler, işletmelerde artık geleneksel üretim yöntemleriyle, rekabet ettiği pazarlarda bu hedeflerini gerçekleştiremeyeceklerini, maliyetlerini azaltmak ve rekabette üstünlük sağlamak için yeni teknolojileri işlerine entegre etmenin önemli bir unsur olduğunun bilincini oluşturdu. Zamanı iyi kullanmak, hatalı parça sayısını ve işçi giderlerini azaltmak firmaları endüstriyel robot kullanmaya doğru itmiştir. Günümüzde endüstriyel robotlar, bu ihtiyaçlara karşılık vermiş olup her geçen gün kullanılmaları artmaktadır.

Günümüz imalatçıları için önemli bir yere sahip olan ve seri üretimde karlılığı sağlayacak yöntemlerin başında Endüstriyel Otomasyon Sistemleri gelmektedir. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde ise endüstriyel robotlar, Programmable Logic Controller (PLC) ve üretim yönetim sistemi gibi kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerden yararlanılarak modern hale getirilen üretim sistemleri sayesinde eskiye nazaran çok daha kaliteli ürünler, daha hızlı şekilde ve daha ucuza üretilmektedir. Aynı zamanda bu sistemler, üretim hattına esneklik kazandırmakta, ürünlerin yeni pazarlara ve müşterilere ulaşılmasını kolaylaştırmakta ve rekabette avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde savunma sanayi alanında faaliyet gösteren bir fabrikanın üretim süreçlerindeki bir operasyonun iyileştirilmesinin gerekliliği tespit edilmiştir. Parça üretiminde kullanılan ekipmanın kapasitesinden tam olarak yararlanılamadığı ve buna bağlı olarak dar boğaz problemi ile karşılaşıldığı görülmüştür. Söz konusu ekipmanın kapasite kullanım oranının endüstriyel otomasyon sistemine geçerek artırılabilceği öngörülmüştür. Bunun için bir endüstriyel robot kullanan sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin teknik olarak kapasite kullanımını %76 kadar artırabilceği hesaplanmıştır. Teknik olarak faydasının yanı sıra, sistemin ekonomik olarak da faydalı olup olmadığı analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında katma değeri 13 TL ve üzeri kabul edilerek detaylı duyarlılık analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, kurulan sistemin mevcut ekipmanın kapasite kullanımını %50 arttığı zaman katma değerine bağlı olarak yatırımın iç karlılık oranının beş yıllık bir zaman dilimi için %22'den daha fazla olduğu ortaya konmuştur. Bu durumda söz konusu endüstriyel otomasyon sistemini kurmanın ekonomik olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Akıllı sistemler, Endüstriyel otomasyon, Endüstriyel Robot, Ekonomik Analiz, Duyarlılık Analizi

ABSTRACT

THE USE OF SMART MANUFACTURING TECHNOLOGY ON DEFENCE INDUSTRY

Furkan KURUMAHMUT
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Intelligent Systems Engineering
Master, January/2022
Supervisor: Prof. Dr. Birol ELEVLİ

Nowadays, the competition of enterprises has gained an international market dimension by crossing national borders. The companies need to reduce the costs to be able to increase the profit by keeping the price at the same level to compete with the other companies. Important developments in technology in the 21st century have created the awareness that businesses can no longer achieve these goals with traditional production methods in the markets where they compete and that it is an important element to integrate new technologies into their business to reduce costs and gain a competitive advantage. Using time well, reducing the number of defective parts and labor costs have pushed companies to use industrial robots. Today, industrial robots have responded to these needs and are used more and more every day.

Industrial Automation Systems are the leading methods that have an important place for o days manufacturers to provide profitability in mass production. Control systems such as industrial robots, Programmable Logic Controller (PLC), and MAS production management system are used in industrial automation systems. By means of the production systems that will be modernized by using these systems, much higher quality products will be produced faster and cheaper than in the past. These systems will also add flexibility to the production line, facile accession of products to new markets and customers, and provide a competitive advantage.

Within the scope of this study, the necessity of improving an operation in mass production for a company, which operates in the defense industry, was anticipated. Not being fully used of the capacity of the equipment that is used in part production and bottleneck problem in production line were seen. It is predicted that the capacity utilization rate of the equipment may be increased by switching to the industrial automation system. Therefore, a system involving an industrial robot was designed. It has been calculated that this system can increase capacity utilization by 76%. In addition to its technical benefits, it was analyzed whether the system is also economically beneficial. Within the scope of the study, the added value was accepted as 13 TL and above and detailed sensitivity analyzes were made. As a result of the analyzes, it has been revealed that when the capacity of the equipment for the installed system increases by 50%, the internal rate of return on investment is more than 22% for a five-year period, depending on the added value. In this case, it has been demonstrated that it is economical to install the said industrial automation system.

Keywords: Intelligent systems, Industrial automation, Industrial Robot, Economic Analysis, Sensitivity Analysis

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmamda değerli zamanlarını esirgemeyerek bana danışmanlık eden, çalışmalarım boyunca olumlu eleştirileri ile bana yardımcı olup ve beni yönlendiren kıymetli hocam Prof. Dr. Birol ELEVLİ'ye en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili değerli yorumları ve tavsiyelerini bildiren jüri üyelerine sonsuz teşekkür ederim.

Sevgileri, destekleri, cesaretlendirmeleri ve her şeyden önemlisi ömür boyu yanımda oldukları için annem ve babam NUR&BARBAROS KURUMAHMUT'a ve tüm lisans eğitimim boyunca yanımda olan eşim Tuba KURUMAHMUT'a içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bileğimde daima altın bilezik olarak hissettiğim mesleğimi bana kazandıran, mezunu olmaktan büyük gurur ve onur durduğum Dokuz Eylül Üniversitesi'ne de ayrıca teşekkür ederim.

Furkan KURUMAHMUT

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Probleme Çözüm Yaklaşımı	3
1.3. Tezin Kapsamı	4
2. AKILLI ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	6
2.1. Akıllı Üretim Tanımı	6
2.2. Akıllı Üretim Tarihsel Gelişimi	8
2.2.1. Endüstri 1.0 (Mekanik Üretim Dönemi)	8
2.2.2. Endüstri 2.0 (Seri Üretim Dönemi)	9
2.2.3. Endüstri 3.0 Otomasyon Dönemi	10
2.2.4. Endüstri 4.0 (Akıllı Üretim Dönemi).....	11
2.3. Akıllı Üretim Kavramları.....	11
2.4. Endüstriyel Robotlar	13
2.4.1. Eklem Yapılarına Göre	15
2.4.2. Hareket Kabiliyetlerine Göre	16
2.4.3. Kontrollü Yörünge Yöntemlerine Göre	16
2.4.4. Güç Kaynaklarına Göre	17
2.4.5. Sektörel Amaca Göre	17
3. İŞ ETÜDÜ ÇALIŞMASI	18
3.1. Zaman Etüdü Çalışması	18
4. ROBOTLU ÜRETİM SİSTEMİ.....	25
4.1. Sisteminin Tasarımı	25
4.1.1. Tutucu Parmak Sistemi	26
4.1.2. 360° Döner Tablalı Besleme Ünitesi	28
4.1.3. Konveyör Bant Sistemi	30
4.1.4. Tel Kafes Tasarımı ve Güvenlik Kilitleri ile Donatılması	31
4.1.5. Robot Zeminin Oluşturulması.....	33
4.2. Robot Sistemin Bölümlerinin Birleştirilmesi.....	34
4.3. Sistemin Yazılımı.....	36
5. ROBOT YATIRIMININ EKONOMİK ANALİZİ.....	38
5.1. Giriş	38
5.2. Robot Sisteminin Yatırım Miktarı	38
5.3. Robot Sistemi İşletme Dönemi Gider ve Gelirleri.....	40
5.3.1. İşletme Dönemi Sabit Maliyetler	40
5.3.2. İşletme Dönemi Değişken Maliyetler	40
5.3.3. İşletme Dönemi Giderleri.....	42
5.3.4. İşletme Dönemi Gelirleri	43
5.4. Ekonomik Değerlendirme.....	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

KISALTMALAR

IoT	: (Internet of Things) Nesnelerin İnterneti
İKO	: İç Kârlılık Oranı
KRL	: (KUKA Robot Language) Kuka Robot Programlama
NBD	: Net Bugünkü Değer
NNA	: Net Nakit Akışı
OT	: Operasyon Teknolojisi
ÖZ	: Ölçülen Zaman
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolcü)
SZ	: Standart Zaman
TZ	: Temel Zaman
VÖ	: Vergi Öncesi
VS	: Vergi Sonrası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2020 Yılı Ülkelerde Endüstriyel Robot Yoğunluğu ve Dünya Ortalaması	1
Şekil 1.2. Master Yardımıyla Ölçü Kontrolü	2
Şekil 1.3. Namlu Üretimi Operasyon Şeması.....	3
Şekil 2.1. Akıllı Üretimin Mimarisi	7
Şekil 2.2. Endüstri 1.0'dan 4.0' a Gelişim Süreçleri	8
Şekil 2.3. James Watt' ın Geliştirdiği Buhar Makinesi.....	9
Şekil 2.4. Buharla Çalışan Dokuma Fabrikası.....	9
Şekil 2.5. Bir Otomobil Fabrikasında Yürüyen Bant ve Seri İmalat Örneği	10
Şekil 2.6. İlk PLC Görüntüsü	11
Şekil 2.7. Akıllı Üretimin Bilgi ve Dijital Teknolojileri	12
Şekil 2.8. İlk Endüstriyel Robotun Tanıtımı	14
Şekil 2.9. Mekanik Yapıları Açısından Endüstriyel Robot Türleri	15
Şekil 3.1. MAS ile Mevcut Sistemin Anlık Verisi	21
Şekil 3.2. Namlu üretim Adeti Dağılımı	22
Şekil 3.3. MAS Programı Robot Yatırımı Yapıldıktan Sonra Sistemin Anlık Verisi	23
Şekil 3.4. Namlu üretim Adeti Dağılımı	23
Şekil 4.1. Akıllı Üretim Sistemi İçin Hazırlık Seviyesi Değerlendirme Yapısı	25
Şekil 4.2. Robot Tutma Sistemleri	26
Şekil 4.3. Tutucu Parmak Kompleksi Tasarımı Çalışması	27
Şekil 4.4. Tutucu Parmak Komplesinin Kullanım Görseli	28
Şekil 4.5. Tahta Sandıkta Depolama	28
Şekil 4.6. Besleme Ünitesinin Bilgisayarlı Tasarım Çalışması	29
Şekil 4.7. Besleme Ünitesinin Kullanım Görseli.....	29
Şekil 4.8. Konveyör Bant Sistemi Tasarımları	30
Şekil 4.9. Konveyör Bant Sisteminin Kullanımı	31
Şekil 4.10. Tel Kafes Tasarım Çalışması	32
Şekil 4.11. Acil Durum Butonu.....	32
Şekil 4.12. Euchner Marka (BTC-ST/G-S-TH-01-F Model) Kapı Kilidi	33
Şekil 4.13. Robot Zemin Bağlantısı	34

Şekil 4.14. Yerleşim Düzeni Çalışmaları	35
Şekil 4.15. Simülasyon Görüntüleri	35
Şekil 4.16. KUKA KR10 Çalışma Eksen Ölçüleri.....	34
Şekil 4.17. Sistemin Mekanik Parçalarının Yerleşimi.....	36
Şekil 4.18. Robot Sistemi Yazılımı Akış Şeması	37
Şekil 5.1. Farklı Katma Değerlere Göre İKO ve NBD.....	45
Şekil 5.2. Üretim Artış Oranına Karşılık İKO Değişimi	45
Şekil 5.3. Üretim Artış Oranı ile NBD Arasındaki İlişki	46



TABLÖLAR DİZİNİ

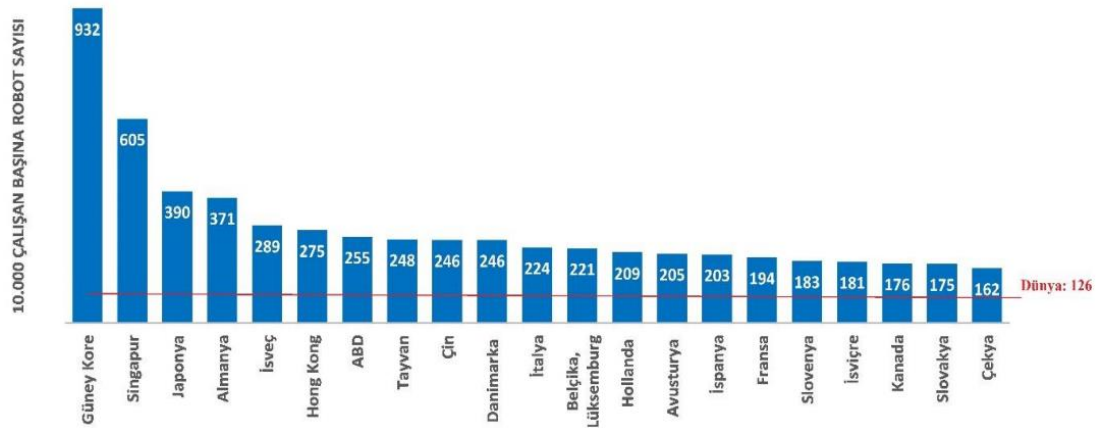
Tablo 3.1. Robot Yatırımı Yapılmadan Önce Zaman Etüdü Çalışması	19
Tablo 3.2. Robot Yatırımı Yapılmadan Önce Standart Zaman Çalışması.....	20
Tablo 3.3. Demo Robot Kurulumu Sonrası Zaman Etüdü Çalışması.....	22
Tablo 4.1. Yerleşim Düzenleri Çevrim Süreleri	35
Tablo 5.1. Yatırım Maliyet Kalemleri.....	39
Tablo 5.2. İşletme Dönemi Giderleri.....	42
Tablo 5.3. Otomasyon Sistemi İçin Net Akış Analizi Çalışması	44



1. GİRİŞ

İşletmelerin içinde bulundukları rekabetçi pazarlarda diğer işletmelere karşı sürdürülebilir üstünlük ve avantaj sağlamak için, müşteri sayısını arttırması ve mevcut müşterilerin memnuniyetini yükseltmesi gerekmektedir. Daha yüksek kalite, daha kısa teslim süresi, daha uygun maliyetli ve daha özelleştirilmiş ürünler gibi imalat yöntemlerini ilgilendiren müşteri istekleri, işletmelerin daha esnek ve daha duyarlı üretim sistemlerine olan taleplerini artırmıştır. Bu sebeplerle, her geçen gün akıllı üretim sistemlerini geliştirmeye ve akıllı fabrikalar oluşturmaya yönelik teknolojik girişimler daha yaygın hale gelmektedir. Akıllı üretim dediğimiz bu devrimsel yatırımlar, aynı kalitede olan bir ürünü daha ekonomik olarak pazara sunmayı ya da fiyatı ve kalitesi diğer işletmeler ile aynı olan ürünü üretim maliyetlerini teknolojik yatırımlarla düşürerek kazanç miktarını yükseltmeyi sağlar. Ayrıca pazarda ki diğer işletmelere karşı bu avantajları sağlamak için seri üretim hızı büyük önem taşır.

İmalatta akıllı üretim için otomasyon sistemlerine yapılan yatırımlar dünya genelinde artarak devam etmektedir. Türkiye’de de endüstriyel robot sistemlerinden yararlanan sektör sayısı ve robot yoğunluğu her geçen yıl artmaktadır. Uluslararası Robotik Federasyonu’nun (IFR) 2020 yılı ülkelere göre endüstriyel robot yoğunluğu ve dünya ortalaması verileri Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Robot yoğunluğu, bir endüstri de 10 bin kişilik çalışan başına kaç robotun istihdam edildiğini ifade etmektedir (Web1, 2022).



Şekil 1.1 2020 Yılı Ülkelerde Endüstriyel Robot Yoğunluğu ve Dünya Ortalaması (Web1, 2022)

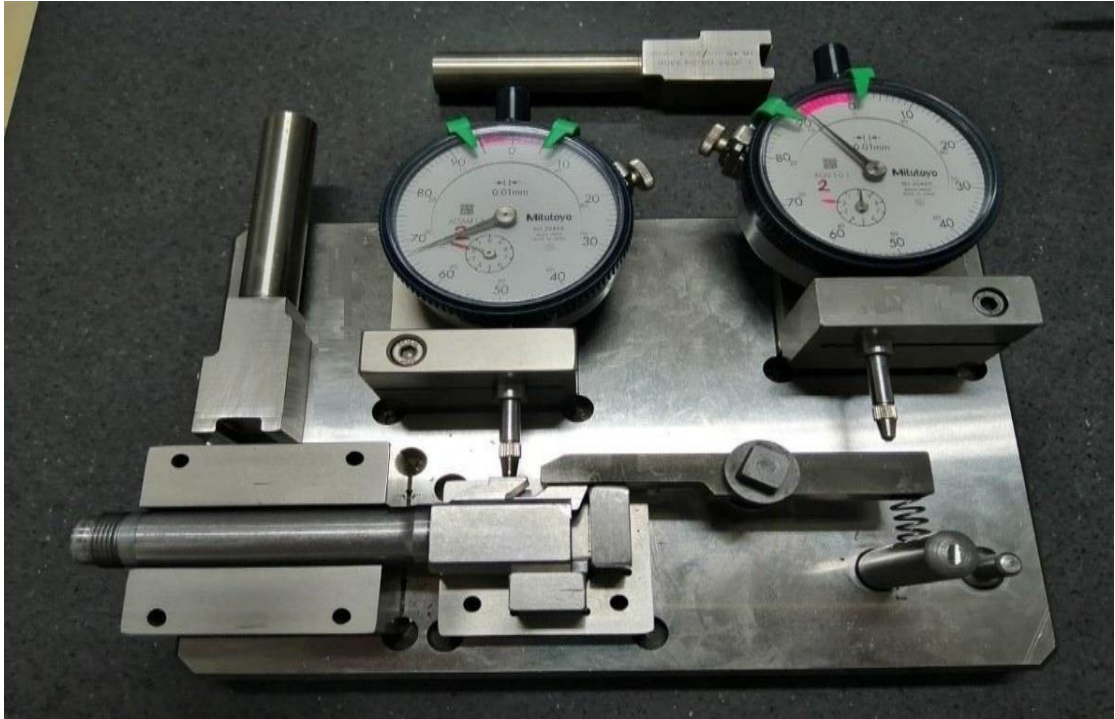
IFR verilerine göre robot yoğunluğunun dünya ortalaması 2016 yılında 74 adet seviyesindeyken, gelişmiş ülkelerin son yıllarda otomasyon sistemlerine yaptıkları yatırımlar ile bu değer %70 artış göstererek 2020 yılında 126 adet seviyesine

yükselmiştir. Son 10 yıllık verilere bakıldığında 1. ve 2. sıradaki Güney Kore ve Singapur ülkelerinin hiç değişmediği görülmektedir. Türkiye de 2016 verilerine göre robot yoğunluğu 23 adet seviyesindeyken, 2017 yılında yeni kurulan 2050 adet, 2018 yılında 2267 adet ve 2019 yılında 1796 adet robot ile %25 artış göstererek 2020 yılında ki robot yoğunluğunu 23'den 29 adet seviyesine yükseltmiştir (Web2, 2022). Dünya ortalamasının oldukça altında kalan Türkiye, yüksek katma değer yaratan endüstriyel robot ve yazılım projelerinin üretilmesine teşvik edecek politikalar geliştirmelidir.

1.1. Problemin Tanımı

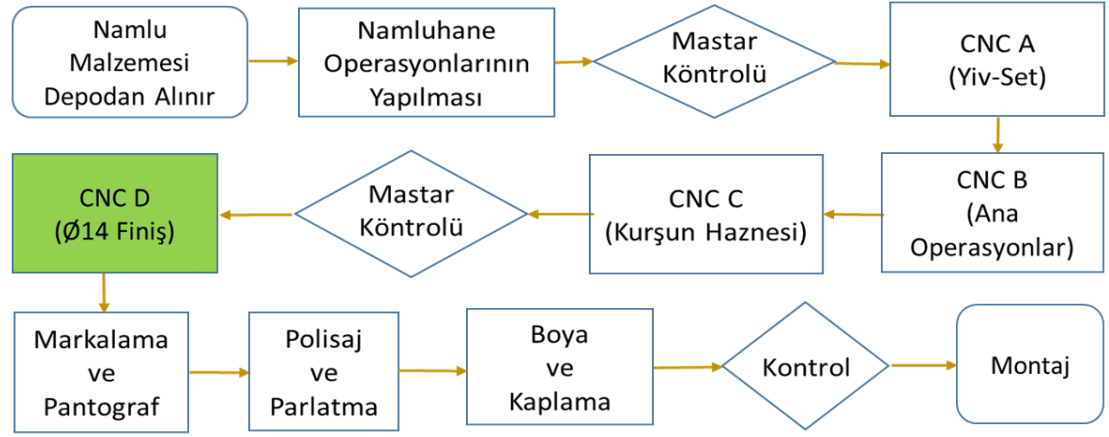
Savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletme uluslararası pazarda müşterilerine hizmet vermektedir. İşletmenin seri olarak ürettiği parçaların üretim süreçleri, düzenli olarak işletmenin süreç geliştirme birimi tarafından incelenmektedir. Mevcut durumların değerlendirilmesi yapılarak hazırlanan raporlar yönetime ve AR-GE birimine sunularak gereksinimler belirlenmektedir.

İşletmenin üretimde kalite kontrolü sağlamak için yayınladığı prosedürler ve iş talimatlarında, tezgâhtan çıkan her ürünün görevli operatör tarafından mihengir, kumpas, mikrometre ve saatli master gibi ölçüm ekipmanlarıyla %100 olarak ölçüsel kontrolü yapılacağı söylenmektedir (Şekil 1.2). Bu şekilde yapılan kontroller ile hataları mümkün olan en kısa sürede tespit ederek, hataların sonraki operasyonlara yayılması önlenmektedir. Böylelikle hurda sayılacak malzeme miktarı, zaman kayıpları, emek ve maliyet kayıpları gibi değerlerin düşürülmesi de sağlanmaktadır.



Şekil 1.2. Master Yardımıyla Ölçü Kontrolü

İşletmenin ana üretim parçalarından biri olan tabanca namlusunun seri üretimde ki operasyon aşamaları da süreç geliştirme birimi tarafından incelenmiştir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Namlu Üretimi Operasyon Şeması

Operatör prosedür gereği tezgâhtan çıkan her namlunun ilgili ölçülerini %100 olarak kontrol etmektedir. Bu kontrol işlem süresi 75sn'dir. Ancak namlu üretiminin Ø14 finiş (CNC D) aşamasında tezgâhın işlem süresi ise 40sn'dir. Kontrol işleminin süresi (75sn), tezgâhın işlem süresinden (40sn) daha uzun olduğu için, tezgâh boşta beklemekte ve zaman kaybı yaşanmaktadır. Oluşan zaman kaybı namlu üretiminin bu aşamasında dar boğaz yaratmakta ve tezgâh kapasite kullanım oranının düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu durum işletmenin günlük namlu üretim adetini düşürmektedir. Buna bağlı olarak montajda birleştirilen satışa hazır ürün sayısının azalmasına, verimliliğin ve kârlılığın düşmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmanın amacı tezgâhın boşta kalma süresini azaltacak süreç iyileştirme çalışmaları yapmaktır.

1.2. Probleme Çözüm Yaklaşımı

Savunma sanayi alanında hizmet veren ve bu tez çalışmasının da konusu olan işletme için, üretimde kontrolü sağlamak için uyguladığı prosedür nedeniyle yaşadığı zaman kaybı ve buna bağlı olarak üretimde oluşan dar boğaz sorununun giderilmesi amacıyla mevcut üretim yöntemi incelemeye alınmış, hiyerarşik plan oluşturularak problemin çözümü için çalışma başlatılmıştır.

Üretimde yaşanan bu problemin çözümü için aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Mevcut üretim yönteminin analizi yapılmıştır.
 - a. Üretim yönteminde üretim zamanını etkileyen faktörler araştırılmış ve belirlendikten sonra inceleme başlatılmıştır.
 - b. Üretimi incelemeye alınan ürünün mevcut üretim yöntemindeki tüm

basamakları tespit edilmiş ve bu basamakların ne kadar zamanda gerçekleştiğini hakkında zaman etüdü çalışması yapılmıştır.

c. Ürünün mevcut üretim miktarı vardiya, günlük, haftalık ve yıllık olarak tespit edilmiştir.

2. Üretim yöntemine kolayca entegre edilebilecek ve maliyeti uygun sayılabilecek endüstriyel robot teknolojisi araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda ihtiyaçları karşılayabilecek bir endüstriyel robotun sisteme uyabileceği belirlenmiştir.

3. İşletmenin gelecek yıllar için belirlemiş olduğu ihtiyaç ve gereksinimlere göre üretim yöntemini hızlandırabilecek, kolaylaştırabilecek ve daha güvenli hale getirebilecek yapının belirlenmesi amacıyla üretim simülasyonu çalışmaları yapılmıştır.

a. Üretimde simülasyon teknolojisi sayesinde, endüstriyel robotun yerleşimi, gerektirdiği çevre düzenlemesi ve robot hareketinin programlandırılması gibi çeşitli alternatifleri olan durumlarda işletme en doğru kararı verebilmek için maliyet gereksinimleri, üretim süreleri ve kârlılık gibi analizi çalışmaları yapılmıştır.

b. Üretimde çalışacak operatörün güvenliğini sağlayacak tel kafes yapısı, ürünleri akışını sağlayacak konveyör sistemi çalışmaları yapılmıştır.

4. Endüstriyel robotun yerleşimi ve hareketinin programlandırılmasında nihai kararlar verilmiştir.

a. Endüstriyel robot, senelik bakımı veya müdahale gerektirecek problemleri kolayca çözülebilecek şekilde konumlandırılmıştır.

b. Endüstriyel robot çevresine karşı oluşturabilecek çarpma veya ürün fırlatma gibi tehlikeleri önleyecek şekilde programlandırılmıştır.

c. Üretim hızı ve operatör hızı arasındaki uyumu sağlayacak konveyörün ebatları, konveyör bant hızı hesaplanmıştır. Konveyör operatörün çalışma ergonomisi açısından en uygun şekilde yerleştirilmiştir.

1.3. Tezin Kapsamı

Bu çalışmada, savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, seri imalat yaptığı bir ürünün üretim aşamasındaki bir operasyonda yaşadığı zaman kaybı ve buna bağlı oluşan dar boğaz problemi incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar altı (6) ana bölümden meydana gelmiştir.

Birinci bölüm olan ‘‘Giriş’’ bölümünde ilgili işletmenin konusu olan süreç iyileştirme hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu iyileştirme hakkında

işletmenin çözüm için yaptığı çalışmalar ve aldığı kararın açıklaması yapılmıştır.

İkinci bölümde ise ileri imalat teknolojilerinin bir dalı olan ‘‘Akıllı retim Teknolojisi’’ hakkında detaylara girilmiştir. Endüstri sanayi devrimlerinin gelişim süreçleri, akıllı üretim kavramları, endüstriyel robot türleri, endüstriyel robot teknolojisinin üretimdeki yeri hakkında bilgiler verilmiştir.

nc bölümde işletmenin problemin çözümü olarak düşündüğü alternatif üretim yöntemi için yatırım yapmadan önce, mevcut üretim yöntemi için iş etüdü çalışması altında zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Alternatif retim yönteminin mevcut sonuçlar üzerinde yapacağı etkiler hakkında ön bilgi sahibi olmak için prototip çalışması yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, işletmeye kurulacak ‘‘Robotlu retim Sistemi’’ detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Mekanik unsurlar için gerekli olan tutucu parmak sistemi, 360 döner tablalı besleme nitesi, konveyör bant sistemi ve güvenlik kilitleri ile donatılmış tel kafes tasarımları hakkında tasarım bilgileri, maliyet bilgileri ve montaj aşamaları hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Beşinci bölümde ise yeni sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Bu bölümde, yatırım maliyeti, işletme dönemi maliyetleri ve gelirleri hesaplanarak net nakit akışı (NNA) tablosu hazırlanmıştır. NNA tablosu kullanılarak, yatırımın net bugünkü değeri, iç karlılık oranı ve ekonomik duyarlılık analizleri verilmiştir.

Altıncı ve son bölüm olan ‘‘Sonuç ve öneriler’’ bölümünde ise, yapılan çalışmanın seri imalat yapan işletmeler için üretim yöntemlerinde kullanmalarının önemi ve tez konusu olarak ele alınan problemin çözümü için yaptığı girişim hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca analizler ve çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ve kazanılan tecrübeler ile ilerleyen süreçlerde çalışmanın sürdürülebilmesi, iyileştirilebilmesi ve yaygınlaştırılabilmesi için sunulan öneriler ve çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2. AKILLI ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

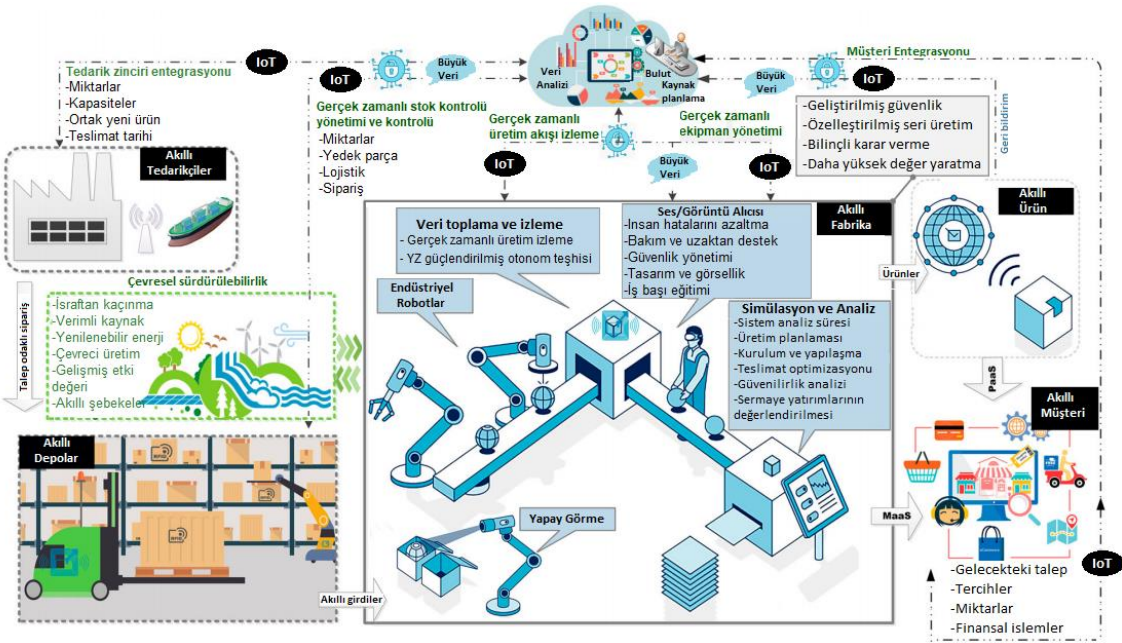
2.1. Akıllı Üretim Tanımı

Üretim zeminine, otomasyon kapsamına ve derecesine, çeşitli fonksiyonel üretim alanlarının entegrasyonuna bağlı olarak, otomatik üretimi tanımlamak için, esnek üretim hücreleri, esnek üretim sistemleri, bilgisayarla entegreli üretim ve akıllı imalat gibi 1980'lerden beri değişen farklı terimler kullanılmıştır. Son terim ise 1990 da Andrew Kusiak tarafından ‘‘Journal of Intelligent Manufacturing’’ dergisinin kurulması ve aynı adlı kitabının yayınlanması ile birlikte, geleceğin üretimini tanımlayan ‘‘*Intelligent Manufacturing*’’ (Akıllı Üretim) ifadesi kullanılmaya başlanılmıştır.

Üretimde devrim niteliğinde olan akıllı üretim teknolojisi, gelenekselleşmiş üretim otomasyonlarına tamamen bağlı ancak daha akıllı ve esnek üretim teknolojisine doğru bir atılımdır (Mortaza, 2021). Akıllı üretimin amacı, fabrika genelinde gerçekleştirilen işlemlerin tüm yönleri üzerinde olumlu bir etki yaratmak için gerçek zamanlı veri tespiti ve bu verilerin analizlerini kullanmaktır (Mittal, 2021). Akıllı üretim sistemlerini, optimize edilmiş karar vermeye, özelleştirilmiş üretime ve kaynak verimliliğini artırmaya götüren teknolojik olarak yönlendirilebilen bir üretim değişikliğidir (Parhi, 2021). Akıllı üretim, bugünün ve yarının imalat varlıklarını sensörler, bilgi işlem platformları, iletişim teknolojisi, veri yoğun modelleme, kontrol, simülasyon ve tahmine dayalı mühendislik ile entegre eder (Kusiak, 2018). Akıllı üretim, üretim sistemlerinin kalitesi yönünden performansını, zaman, maliyet ve esneklik gibi yönlerinin yanı sıra insan ve makinelerin karar verme yeteneklerini geliştirmeyi amaçlayan devrim niteliğinde ki bir teknolojidir (Mittal, 2021). ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü ise (National Institute of Standards and Technology) akıllı üretimi, ‘‘Fabrikadaki tedarik ağındaki ve müşteri ihtiyaçlarındaki değişen talep ve koşulları karşılamak için gerçek zamanlı olarak yanıt veren tam entegre, iş birliğine dayalı bir üretim sistemi’’ olarak tanımlar (Kusiak, 2018).

Akıllı üretim, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), dijital ikiz, katmanlı üretim, bulut bilgi işlem, hizmet odaklı bilgi işlem, yapay zekâ, endüstriyel sensörler, standart iletişim arayüzleri (örneğin Wİ-Fİ, RFID gibi), ve veri bilimi kavramları ve teknolojileri kullanır. Bu kavramlar ve teknolojiler, üretimde bir kez uygulandığında, bu uygulamalı üretimi bir önceki sanayi devriminden ayırt edici özelliği yapmaktadır.

Akıllı üretim, bir ürünü tüm değer zinciri boyunca kontrol altında tutmak için dinamik ve entegreli bir sistemdir. Şekil 2.1 de akıllı üretim kapsamı, kuruluş sınırlarının ötesine geçtiğini, akıllı bir tedarik zinciri haline geldiğini ve bu zincire bağlı yeni müşterileri de içerdiğini açıklıyor. Yani akıllı üretim, atölye sınırlarının ötesine geçen bütünsel bir değer zinciri ekosistemi haline gelmiştir. Şekil 2.1 de sunulan akıllı üretim mimarisi, akıllı üretim için tüm tedarik ağının dijitalleşmesini, şirketlerin akıllı üretimi tamamıyla kolaylaştırmak için ise dikey ve yatay entegrasyonlarını ve de ademi merkeziyetçilik yeteneklerini geliştirmeleri gerektiğini göstermektedir.



Şekil 2.1. Akıllı Üretimin Mimarisi (Ghobakhloo, 2021)

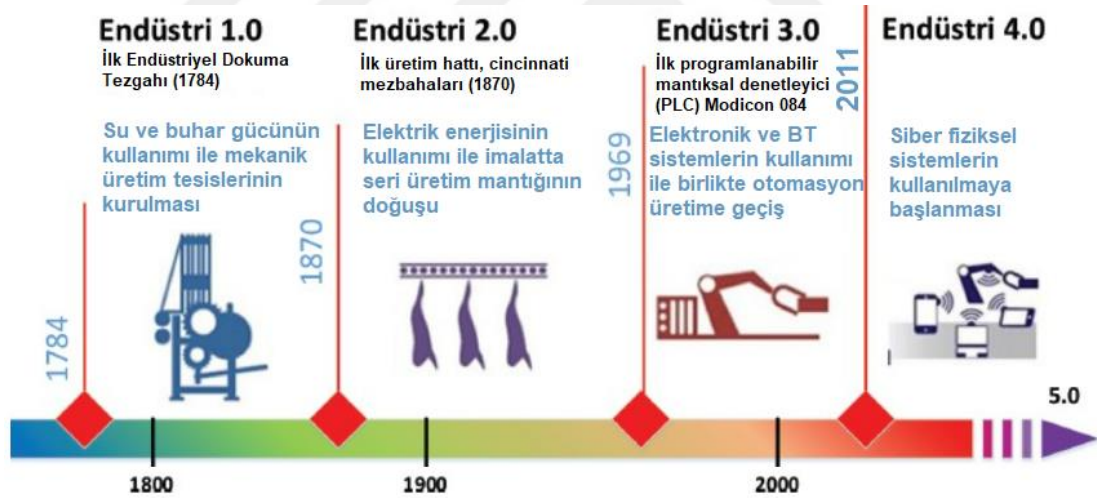
Akıllı üretimin gelecekte hayatımızda;

- Üretimin dijitalleşmesi
- Modelleme, optimizasyon ve simülasyona daha fazla güvenilmesi
- Malzeme-ürün-süreç olgusu
- Fiziksel varlıkların ve siber alanların ayrılabilirliği
- Kurumsal ikilem
- Daha geniş yatay bağlantılar ve birlikte çalışılabilirlik
- Kaynakların paylaşımı
- Ekipman izleme, teşhis etme ve onarım
- Standartlaştırma ve uyumluluk
- Siber güvenlik

gibi birçok alanda karşımıza çıkacak devrim niteliğinde ki bir teknolojidir.

2.2. Akıllı Üretim Tarihsel Gelişimi

Devrimsel gelişmelerin temelinde üretim yöntemi olarak tekniklerde yaşanan gelişmeler ve bu gelişmelerin üretim üzerindeki olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Üretim tekniklerinde ki gelişmeler sayesinde tarımsal topraklardan faydalanmanın artması neticesinde insanlık tarihinde yerleşik hayata geçişin ilk adımları atılması sağlanmıştır. Geçmiş dönemlerde ki çağlara bakıldığında üretimde kullandıkları madenlere göre (taş devri, bakır devri, tunç devri, demir devri gibi) isimlendirildiği görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere tarihte her zaman üretim yöntemlerinde ki gelişmeler toplumların gelişmelerini doğrudan etkilemiştir. 18.yüzyılın ortalarında ve 19.yüzyılın başlarında yaşanan ekonomik, siyasal ve bilimsel gelişmeler ile sanayi devriminin temelleri atılmıştır. Sanayi devriminin başlangıcından itibaren üretim sistemlerinde çok hızlı radikal değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler günümüzde Endüstri 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 gibi tanımlanmıştır (Şekil 2.2). Bu devrimlerin temel özellikler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 2.2. Endüstri 1.0'dan 4.0'a Gelişim Süreçleri (TOMAŞ, 2019)

2.2.1 Endüstri 1.0 (Mekanik Üretim Dönemi)

Endüstri 1.0 dönemi insanlar tarafından ilk kez makine kavramının kullanıldığı dönemdir. Bu dönemin ilk makine çalışmaları 1665 yılında Worcester makinası ve 1698 yılında İngiliz mühendis Thomas Savery' in buhar pompası makinası ile yapıldı (Karaoğlu, 2016). İskoç mühendis James Watt ise 1781 yılına kadar kendisinden önce yapılan bu makinaları geliştirme çalışmaları yapmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 James Watt' ın Geliştirdiği Buhar Makinesi (Van der Kooij, 2015)

J. Watt'ın geliştirdiği makinalar ilk olarak maden ocaklarındaki suyun tahliyesi için ve tekstil fabrikalarında kullanılmış, böylelikle insan gücü ile yapılan üretim yerine artık mekanik üretim ortaya çıkmıştır (Şekil 2.4). Endüstriyel devrimlerin başlangıcı olarak kabul edilen bu gelişme günümüzde kullanılan tanımlarla Endüstri 1.0 devrimi olarak anılır. J. Watt'ın mühendisliğe yaptığı bu katkılarından dolayı uluslararası güç biriminin ismi “Watt (W)” olarak belirlenmiştir (Kingsford, 2021).



Şekil 2.4. Buharla Çalışan Dokuma Fabrikası (Harle Syke, İngiltere) (Web3, 2021)

2.2.2 Endüstri 2.0 (Seri Üretim Dönemi)

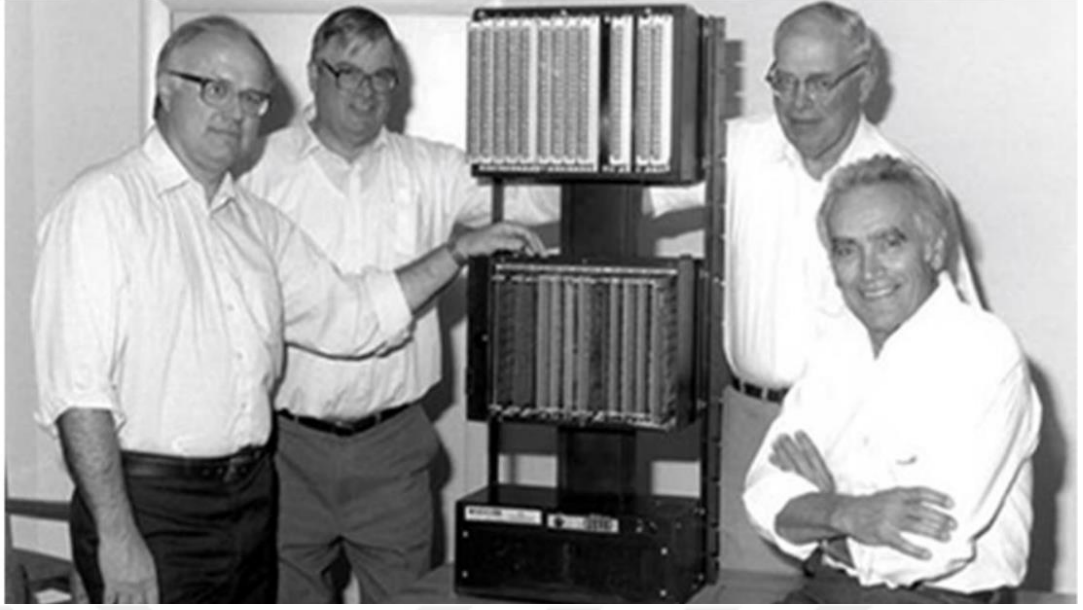
Endüstri 2.0 dönemi, üretim hatlarında güç kaynağı olarak buhar enerjisi yerine elektrik enerjisinin tercih edilmesiyle başlamış ve bu dönemde üretim hatları daha sistematik hale gelmiştir. Örneğin ilk defa Endüstri 2.0 döneminde 1870 yılında hareketli bant sistemi mezbahada kullanılmıştır (Özsoy, 2018). İlk defa Henry Ford'un kurduğu 1903 yılında ki elektrik enerjisi ile çalışan seri imalat bandıyla otomobillerin seri olarak üretilmesi de başlamış oldu (Şekil 2.5). Ford'un üretimde kullandığı bu yöntem Endüstri 2,0 olarak anılır ve seri imalat dönemi olarak bilinir.



Şekil 2.5. Bir Otomobil Fabrikasında Yürüyen Bant ve Seri İmalat Örneği (Web4,2021)

2.2.3 Endüstri 3.0 Otomasyon Dönemi

Endüstri 2.0 döneminde elektriğin kullanımı yaygınlaşmasıyla sanayide otomasyon sistemlerine geçiş çalışmaları ilerlemiş ve üretimde dijitalleşme başlamıştır. Bedford Associates firması 1969 yılında ilk programlanabilir mantıksal denetleyici yani PLC (programmable logic controller) teknolojisini icat etti (Şekil 2.6). Kullanılacağı yerdeki ihtiyaca göre programlanabilen bu PLC'ler üretimlerin hızlanmasına ve daha verimli gerçekleşmesini sağladı. PLC teknolojisinin üretim yöntemlerine entegre edilmesiyle, yani elektronik cihazların üretimde kullanılmasıyla başlanması günümüzde Endüstri 3.0 devrimi olarak tanımlanır. Endüstri 3.0 devrimi bilgisayar teknolojisi, robot endüstrisi, telekomünikasyon, nükleer ve doğal gaz enerjisi gibi kaynakların kullanılmasıyla gelişmelerini devam ettirdi.



Şekil 2.6. İlk PLC Görüntüsü (Web5, 2021)

2.2.4 Endüstri 4.0 (Akıllı Üretim Dönemi)

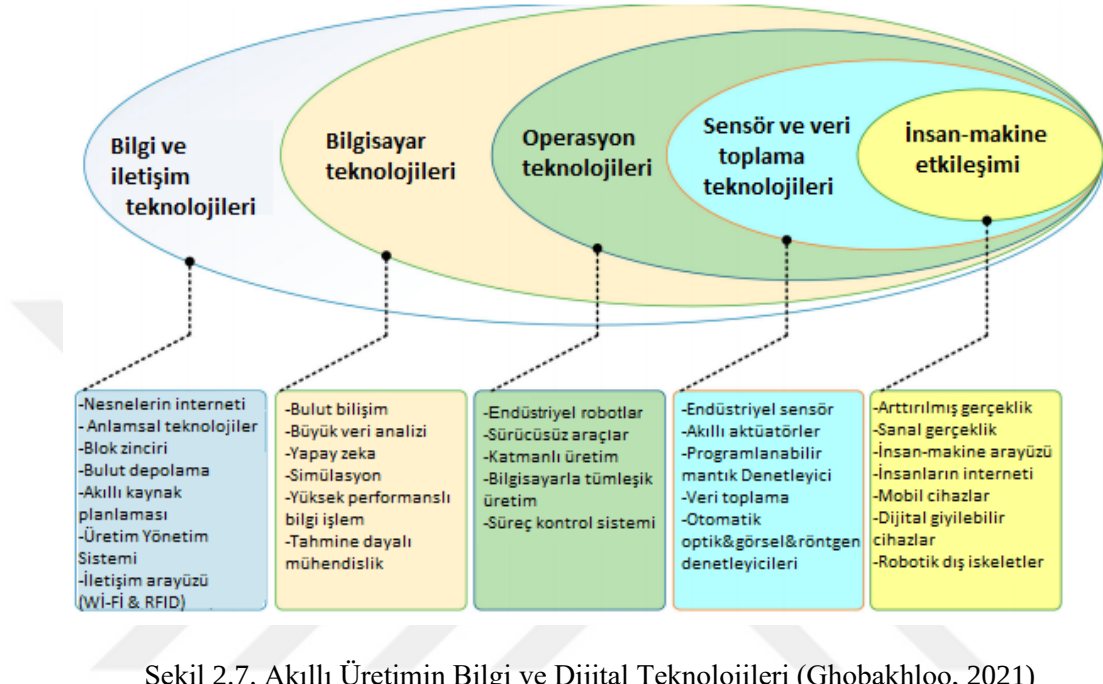
Endüstri 4.0 kavramı, ilk olarak Almanya'nın Hannover şehrinde düzenlenmiş olan endüstri fuarında kullanıldı ve bu sanayi devriminin ilk adımları 2011 yılının başlarında atılmaya başlandı. Halen daha gelişmekte olan bu devrimin temel amacı, üretimde kullanılan sistemlerde ve diğer tüm organizasyonlarda mümkün olan en gelişmiş teknolojinin kullanılmasıdır. Bu sayede tamamen otonom çalışan makineler ve sanal dünyalar için alt yapılar hazırlanmış olacaktır. Bu sanayi devriminde fiziksel dünyayı ve sanal dünyayı birleştirerek zekâ-iletişim-bilgi-ürün dörtlüsünün uyum içinde çalışması gerçekleşmiş, üretimde bilgisayar teknolojisi ve endüstriyel robotlar kullanılarak insan gücüne olan ihtiyaç en aza indirilmiştir.

Endüstri 4.0 ile birlikte siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti terimleri hayatımıza girdi ve otomasyon sistemleri, veri alış-veriş teknolojileri, üretim teknolojileri ile entegre edilerek akıllı fabrikaların kurulması sağlandı. Bulut teknolojileri ile akıllı fabrikalarda ki verilere anlık olarak ulaşılabilir, yorumlanabilir ve esneklik, hız, verimlilik hakkında bilgiler edinilebilir. Tüm bu süreçler, akıllı üretim olarak literatürde tanımlanmaktadır (Kagermann, 2013; Laird, 2017; Zhang ve Tao, 2016; Liu ve Xu, 2017).

2.3. Akıllı Üretim Kavramları

Akıllı üretim büyük ölçüde bilgi işlem alanında geliştirilen teknolojilerden ilham almıştır. Akıllı üretimin gerçekleşmesi için gerekli olan temel teknolojilerin şematik bir sunumunu Şekil 2.7 'de verilmiştir. Şekil 2.7'ye göre bu teknolojilerden hiçbirinin

işlevlerini ortaya koymak için diğer bir teknolojidten bağımsız olarak olamayacağı görülmektedir. Üretim, bu kavramlardan ve ortaya çıkacak diğer fikirlerden yararlanmaya ve gelişmeye devam edecek olsa da kendisini aşağıda belirtilen kavramlar ile tanımlayabilir. Bu kavramların isimleri ve önem dereceleri değişiyor olsa da tarih boyunca üretimle ilgili oldular.



Şekil 2.7. Akıllı Üretimin Bilgi ve Dijital Teknolojileri (Ghobakhloo, 2021)

- Bilgi ve İletişim Teknolojileri:** İnternet (web siteleri, e-postalar), kablosuz ağlar, cep telefonları, bilgisayarlar, yazılımlar, video konferans, sosyal ağlar ve diğer medya uygulamaları dahil olmak üzere tüm iletişim teknolojilerini ifade eden terimdir. Kullanıcıların dijital bir biçimde bilgiye erişmesini, depolamasını, iletmesini ve işlemlerini sağlayan hizmetlerdir (Tomar, 2021).
- Bilgisayar Teknolojileri:** Bilgi teknolojileri ile doğrudan ilişkili olup bilgisayarlı tasarım ve programlama faaliyetleridir. Eğitim teknolojisini desteklemek için bilgisayarların ve bilgisayar kontrollü cihazların donanımını yazılımla (işletim sistemleri, yazma araçları) birleştirir (Asaolu, 2006).
- Operasyon Teknolojileri:** Endüstriyel ekipmanları, fiziksel süreçleri veya kritik altyapıları doğrudan takip ederek operasyonları yönetmek, izlemek ve kontrol etmek gibi olanakları sağlar. Endüstriyel ortamlarda işlemleri gerçek zamanlı gerçekleştirmeyi sağlayarak operasyonları otomatikleştiren donanım ve yazılım teknolojileridir.

d) **Sensör ve veri toplama teknolojileri:** Fiziksel parametreleri elektrik sinyallerine dönüştürerek veri üreten sensörler ile veri depolayan kayıt cihazları arasındaki bağlantıyı sağlayan bir bilgi sistemidir. Depolanan verileri sayısal değerlere dönüştürerek uyarı sinyalleri üreten, harici aktüatörlerin çalıştırılmasını sağlayan hem donanım hem de yazılım teknolojisidir (Balakrishna ve Thirumaran, 2018).

e) **İnsan-Makine etkileşimi:** İnsanların (kullanıcıların) ve bilgisayar sistemlerinin gerekli arayüzler sayesinde birbirleriyle nasıl etkileşime girdiği ve iletişim kurduğu ile ilgili çalışma alanıdır. Temel amacı insanların bilgisayarlarla etkileşim biçimlerini gözlemler ve insanların bilgisayarlarla daha kullanışlı ve kullanıcının ihtiyacına yönelik yeni yollarla etkileşime girmesine olanak tanıyan teknolojiler tasarlar (Johannsen, 2006).

Bu çalışma kapsamında operasyon teknolojilerinden biri olan endüstriyel robot uygulaması yapılmıştır. Bu nedenle, teknolojilerin tamamı yerine endüstriyel robotlar detaylı olarak anlatılmıştır.

2.4. Endüstriyel Robotlar

ISO TR 8373 standardına göre endüstriyel robotlar, üç veya daha fazla hareket eksenli olan, otonom veya programlanabilir, çok fonksiyonlu davranabilen, zemine sabitlenebilen ya da tekerlekler vasıtasıyla yerleri değiştirilerek endüstriyel uygulamalarda kullanılan makinelerdir. Endüstriyel robot teknolojisi, robotların tıpkı insanlar gibi kendi kararlarını verme ve buna göre bir eylemde bulunma yeteneğine sahip olmasını sağlayan teknolojidir. Endüstriyel robotların mekanik yapıları incelendiğinde insan kolu ile benzerlik gösterirler. İnsan kol yapısını oluşturan eklemler gibi endüstriyel robotların yapılarında da açısız hareketli eklemler mevcuttur. Bu sayede insan kolundaki gibi hareket esnekliğine sahip oldukları için aynı faaliyetleri yerine getirebilir veya aynı üretim proseslerinde görevlendirilebilirler (Arslan, 2019).

Robotlar, otonom veya önceden programlanmış görevleri insan müdahalesi az veya hiç olmadan hızlı ve hassa şekilde yerine getirebilen elektro-mekanik cihazlardır. Yapay zekâ teknolojisinin bir alt dalı olarak incelenir. Hareket kabiliyetli mekanik sistemlerden oluşan ve bu sistemler ile ilişkili kontrolü sağlayan elektronik devrelerle donatılabilen robotlar, elektriksel sensörleri kullanarak ortamdan verileri algılayabilen, verilere dayalı hesaplamalar yapabilen ve hareketleri

başlatmak/bitirmek gibi kararlar almak için programlanabilen gibi çok fonksiyonlu davranabilen makinalardır.

Amerikalı mucit George Devol tarafından tasarlanan ve 1954'te patent başvurusu yapılan Unimate ismini verdiği robot, patent başvurusunun 1961 yılında onaylanması ile dünyanın ilk endüstriyel robotu olarak tarihe geçti (Hashimoto, 2018). G. Devol ve Joseph F. Engelberger, 1956 yılında dünyanın ilk robot üreticisi firması olan Uimation Inc. Şirketini kurdular ve Unimate 1900 serisi robotu tanıttılar (Şekil 2.8). İlk olarak 1961'de otomotiv fabrikası olan General Motors şirketinde kullanılan Unimate robotlar, arabaların montaj hattında basınçlı döküm ve punta kaynağı görevlerini yerine getirmek için kullandı.



Şekil 2.8. İlk Endüstriyel Robotun Tanıtımı (Web6, 2021)

Bir makinenin robot olarak kabul edilebilmesi için algılama, planlama ve eylem olmak üzere 3 temel özelliğe sahip olması gerekir. Bu özellikler (Özfırat, 2009);

Algılama: Sensörler veya geri bildirim cihazları sayesinde makinenin çevresinden elde ettiği verileri sayısal değerler olarak kaydedilmesini sağlaması gerekir.

Planlama: Sahip olduğu sayısal verileri, yapay zekâları sayesinde değerlendirerek en uygun eylemi gerçekleştirilmesi için, karmaşık devrelerin çıkış ucuna sinyal üretmek üzere programlanabilmelidirler.

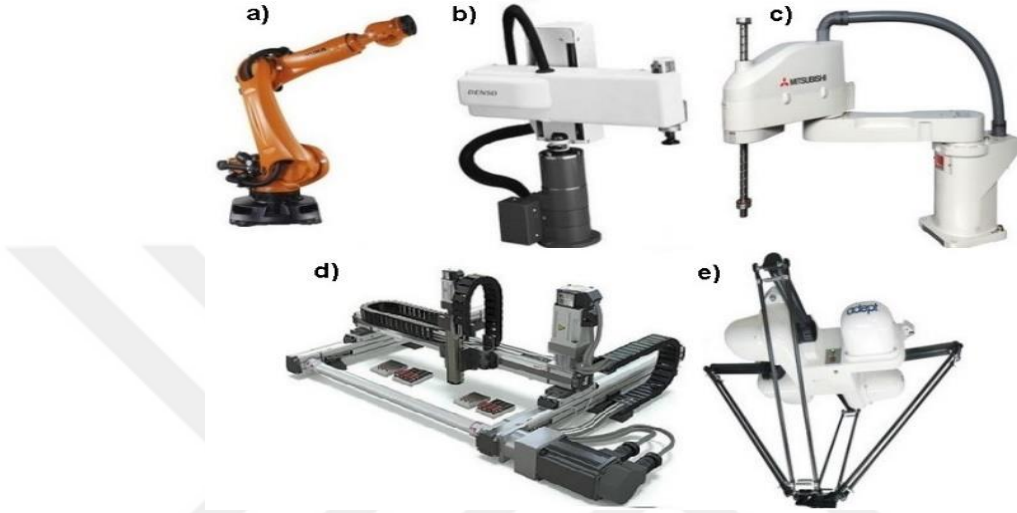
Eylem: Algılama ve düşünmenin bir sonucu olarak üretilen elektronik sinyaller sayesinde çevreleri ile etkileşime geçerek sıcaklık, nem, aydınlatma gibi çevre koşullarını değiştirebilecek örnek eylemler gerçekleştirebilmelidirler.

Robotların sınıflandırılması ise birtakım özelliklerine göre yapılır. Bu anlamda robotlar eklem yapılarına göre, kullanım alanlarına göre, işlem kabiliyetlerine göre,

kontrol yöntemlerine göre ve çalışma prensiplerine göre olmak üzere değişik şekilde sınıflandırabiliriz (Gürgüze ve Türkoğlu, 2018; Akı, 2017). Bu tez konusu olan endüstriyel robotların eklem yapıları sınıfı detaylı şekilde anlatılmıştır:

2.4.1 Eklem Yapılarına Göre

Eklemli robotlar eklem yapısına göre basit eklemli, silindirik eklemli, SCARA robotlar, kartezyen eklemli ve delta eklemli robotlar olarak 5 gruba ayrılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Mekanik Yapıları Açısından Endüstriyel Robot Türleri (Albalasie, 2016)

Basit eklemli robot: Çalışırken dönel eklemler kullanan, hareketi ve tasarım şekli olarak insan kolunu andıran robotlardır (Şekil 2.9.a). Eklemler zincir sırası şeklinde montajlanırlar ve böylece eklem kendisinden sonra gelen eklemi destekler. Eklem sayısına göre esneklikleri ve serbestlik dereceleri 2 ile 10 eksen arasında değişir. Bir yerden ürün alma ve yerleştirme, malzeme taşıma, ürün paketlenme, punta kaynağı gibi uygulamalarda kullanılır.

Silindirik robotlar: Mafsallarının hareket eksenleri silindirik bir koordinat sistemi oluşturacak şekilde çalışırlar (Şekil 2.9.b). Bir zemine sabitlenme ihtiyacı duyan, dönme işlemi için bir döner mafsala ve bu mafsala'nın eksenini etrafında açısal hareket için temel bir kola sahiptirler. Döner mafsala 90° açı ile yerleştirilen temel kol yukarı aşağı hareket eder ve içinde uzayıp kısalan bir silindir bulunur. Bu nedenle serbestlikleri iki derece ile sınırlıdır. Bu tasarım, genel olarak dar ve silindirik şekilli bir çalışma alanına ihtiyaç duyar. Yukarı aşağı hareketini pnömatik bağlantı sayesinde gerçekleştirirken, dönme hareketinde motor ve dişlilerden yararlanır. Genel olarak dar çalışma alanlarında kullanılırlar. Taşıma, montaj operasyonları, kalıplama makineleri uygulamalarında tercih edilirler.

SCARA robotlar: Adını ‘ ‘ Selective Compliance Assembly Robot Arm (Seçici Uyumluluk Montaj Robot Kolu)’ ’ tanımın baş harflerinden alır (şekil 2.9.c). XY düzleminde çok yönlü hareket aralığına sahip ancak z ekseninde sabit robotik kollarıdır. Bu robotlar hızı, verimliliği ve düşük maliyeti nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır. Otomatik montaj, boyama, vidalar gibi küçük parçaların montajı, gibi görevlerde kullanılırlar.

Kartezyen robotlar: Eklemleri üç ekseninde (x, y, z) lineer hareket ettiği için lineer robot olarak da bilinirler (şekil 2.9.d). Tüm robot konfigürasyonları arasından kinematiğinin incelenmesi ve kontrolü en kolay endüstriyel robottur. Eklem eksenleri birbirlerine dik olarak yerleştirilmiştir. Çalışma geometrisi dikdörtgenler prizması şeklindeyir. Çalışma alanlarının üzerine konumlandırıldıkları için, fabrika içinde zemin alanından tasarruf sağlar. Lazer, su jeti, CNC işleme ve 3B baskı ve ürün alma ve yerleştirme uygulamalarında kullanılabilirler.

Delta Eklemlilerobotlar: Bu robotlar Paralel robot olarak da bilinirler (şekil 2.9.e). Ancak paralel kelimesi geometrik şekil anlamında değil, robot üzerinde ki eklemlerin beraber hareket ettiği için kullanılır. Üç veya daha fazla koldan oluşur. Her bir kolun eklemi paralel olarak yerleştirilerek, kubbe şeklinde oluşturulmuş bir robottur. Bu tasarımıın yararı, kollar içindeki ağırlılığı azaltması ve bu nedenle çok yüksek hızlanma ve hız kabiliyeti sağlamasıdır. Uçuş simülatörleri, otomobil simülatörleri, yapışkan dağıtımı, lehimleme gibi endüstriyel uygulamalarında kullanılabilirler.

2.4.2 Hareket Kabiliyetlerine Göre

Sabit robotlar ve mobil robotlar (tekerlekli, ayaklı, yüzen vs.) olarak 2 ana başlık altında sınıflandırılabilirler. İmalathanelerde veya montaj birimlerinde pozisyon değişimine ihtiyaç duymayan, sürekli tekrarlanan görevlerde sabit robotlar tercih edilirler. Arama kurtarma faaliyetleri, sualtı keşifleri, uzay araştırmaları gibi belirli bir çalışma alanı olmayan görevlerde mobil robotlar tercih edilirler.

2.4.3 Kontrollü Yörünge Yöntemlerine Göre

Ardışık kontrollü robot, yörünge kontrollü robot, adaptif kumandalı robot olarak sınıflandırılabilirler. Kullanıcı tarafından belirlenmiş noktadan noktaya (point-to-point) yörüngeyi takip edecek ve tekrarlamalı (playback) şekilde programlanan robotlardır. Kaynak işlemlerinde veya dikiş işlemlerinde kullanıma uygun robotlardır.

2.4.4 Güç Kaynaklarına Göre

Hidrolik güç kaynaklı, pnömatik güç kaynaklı, elektrik güç kaynaklı ve nükleer güç kaynaklı robotlar olarak sınıflandırılabilirler. Yüksek kuvvet gerektiren işlerde kullanılan ağır iş makinalarında hidrolik güç kullanılırken, yüksek hız veya yüksek kalkış momenti gerektiren işlerde pnömatik güç kaynaklı robotlar tercih edilir. Kurulum sistemleri kolay ve ucuz olan servo ve step motorlar güç kaynağı olarak elektrik enerjisini kullanır. Kullanıcı ile etkileşime ihtiyaç duymayacak şekilde yıllarca çalıştırılması planlanan robotlarda ise güç kaynağı olarak nükleer enerji kullanılır.

2.4.5 Sektörel Amaca Göre

Endüstriyel robotlar, tıp ve sağlık sisteminde kullanılan robotlar, savunma ve silah sanayisinde kullanılan robotlar, tarım endüstrisinde kullanılan robotlar, eğlence ve servis sektörlerinde kullanılan robotlar olarak sınıflandırılabilirler. Ameliyatlarda cerrahlar için erişilmesi zor alanlarda yardımcı olarak kullanılan robotlar, savunma ve güvenlik gerektiren durumlarda da (bomba imha, mayın tespiti veya keşif vs.) tercih edilirler. Mahsulün tarlada kalite denetlemesinin yapan ya da hasat işlemlerinde robotlardan faydalanılırken, spor salonları veya lunapark gibi çeşitli yerlerde eğlence robotları kullanılır.

3. İŞ ETÜDÜ ÇALIŞMASI

3.1. Zaman Etüdü Çalışması

Namlunun üretim aşamasında dar boğaz sıkıntısı yaşadığı mevcut sistem için zaman etüdü çalışması başlatılmıştır. Alternatif yöntem olarak üretimde düşünülen endüstriyel robot yatırımı yapılmadan önce mevcut yöntemle yapılan işin basamakları belirlenmesi ve her basamak için gereken zamanın tespit edilmesi gerekmektedir. Böylelikle üretimde yaşanan kayıp zamanlar tespit edilecek ve endüstriyel robot ile bu kayıp zamanların hangilerinin giderilebileceği hakkında ön bilgi edinilebilecektir. Mevcut sistemde görevli operatör, CNC makineden bitmiş namluyu almak, CNC makineye yeni yarı mamul namluyu yüklemek, CNC makineye onay verip üretimi yeniden başlatmak gibi ana görevleri yerine getirmektedir. Bu görevler yeterli gözlemler sonucunda detaylandırılıp, her bir faaliyet için kronometre ile zaman tutulmuştur. Yapılan gözlem sayısının yeterliliği 3.1 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$n = \frac{N*(Z_a)^2*p*q}{(N-1)*d^2 + (Z_a)^2*p*q} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda;

N= Ana kütledeki eleman sayısı (2 haftalık üretim adeti alınmıştır.)

n= Örneklem alınacak eleman sayısı

p= İncelenecek olayın görülüş sıklığı (olasılığı)

q= İncelenecek olayın görülmeyiş sıklığı (1-p)

Z_a= Belirli serbestlik derecesinde ve saptanan yanılma düzeyinde t tablosunda bulunan teorik değer

d= Olayın görülüş sıklığına göre yapılmak istenen ± hata payı

Güven düzeyi %95 için (Z_a=1,96), hata payı %5 ve p=q=0,50 için

$$n = \frac{7200*(1,96)^2*0,5*0,5}{(7200-1)*0,05^2 + (1,96)^2*0,5*0,5} \quad n = 364 \text{ gözlem alınması gerekmektedir.}$$

Bunun için, rassal olarak seçilmiş 10 farklı günde, farklı vardiyalarda (sabah, akşam ve gece vardiyaları) ve farklı operatörler ile eşit sayıda olacak şekilde toplam 600 adet gözlem yapılmıştır. Tablo 3.1’de verilen her bir sütun gözlem yapılan gündeki 60 adet gözlemin aritmetik ortalamasıdır. Ayrıca tablo 3.1’de üretimin her faaliyeti

için yapılan gözlem sayısı yeterliliği 3.2 bağıntısı ile hesaplanarak sonuçları verilmiştir.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda;

$X_i =$ İş elemanlarına ait ölçülen süre değerleri

$n =$ Yapılması gereken gözlem sayısı

$n' =$ Ön etütle yapılmış gözlem sayısı

Tablo 3.1. Robot Yatırımı Yapılmadan Önce Zaman Etüdü Çalışması

Sıra	Faaliyetler	1.Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün	6.Gün	7.Gün	8.Gün	9.Gün	10.Gün	Ort.	$\sum X_i^2$	$(\sum X_i)^2$	n	n'=10
1	Operatörün makine kapısını açması süresi	9.7	9	10.6	9	10.5	11	11	9.5	9.5	10.6	10.04	1013.6	10080.2	8.8	Yeterli
2	Operatörün makineyi boşaltma süresi	20.5	18	19.9	20.6	18.4	21	21.5	20	19	20.4	19.93	3983.6	39740.3	4.64	Yeterli
3	Operatörün makineyi yükleme süresi	19.7	20	20.9	19.7	20	20	20.6	19.5	19.6	21.5	20.15	4064.0	40602.3	1.49	Yeterli
4	Operatörün makine kapısını kapatma süresi	7	6.6	6.6	6.7	7.5	7.4	8	6.5	6.4	7.5	7.02	495.5	4928.24	8.6	Yeterli
5	Makinenin operatörden onay bekleme süresi	35	35.3	36.9	36.9	33	35	34	32.9	33.4	35.9	34.83	12151.1	121313	2.61	Yeterli
6	Makine işlem süresi	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	16000	160000	0	Yeterli
	Toplam Ortalama Çevrim Süresi	131.9	128.9	134.9	132.9	129.4	134.4	135.1	128.4	127.9	135.9	132				

Tablo 3.1 de görüleceği üzere yapılan gözlem sayısı (n'=10) operasyonun tüm faaliyetleri için yeterlidir.

Güven düzeyi %95, hata payı %5, paylar toplamı α =%10 ve operatörün temposu D=%90 alınarak standart zaman çalışması yapılmıştır (Tablo 3.2).

Temel Zaman (TZ) = Ölçülen Zaman (ÖZ) x D

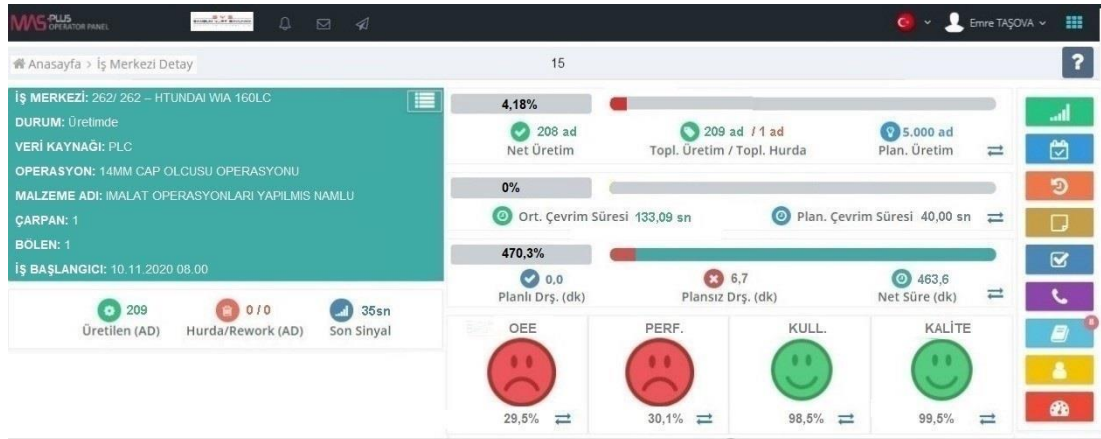
Standart Zaman (SZ) = TZ x (1 + a)

Tablo 3.2. Robot Yatırımı Yapılmadan Önce Standart Zaman Çalışması

		Temel Zamanlar											
Sıra	Faaliyetler	TZ1	TZ2	TZ3	TZ4	TZ5	TZ6	TZ7	TZ8	TZ9	TZ10	α	SZ _i
1	Operatörün makine kapısını açması süresi	8.73	8.1	9.54	8.1	9.45	9.9	9.9	8.55	8.55	9.54	0.1	9.94
2	Operatörün makineyi boşaltma süresi	18.45	16.2	17.91	18.54	16.56	18.9	19.35	18	17.1	18.36	0.1	19.73
3	Operatörün makineyi yükleme süresi	17.73	18	18.81	17.73	18	18	18.54	17.55	17.64	19.35	0.1	19.95
4	Operatörün makine kapısını kapatma	6.3	5.94	5.94	6.03	6.75	6.66	7.2	5.85	5.76	6.75	0.1	6.95
5	Makinenin operatörden onay bekleme süresi	31.5	31.77	33.21	33.21	29.7	31.5	30.6	29.61	30.06	32.31	0.1	34.48
6	Makine işlem süresi	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		40
	Toplam Ortalama Çevrim Süresi	118.7	116	121.4	119.6	116.5	121	121.6	115.6	115.1	122.31		131.0503

Operatörün kapıyı açıp, namluyu yerleştirip kapıyı kapatma işlemleri ortalama 57sn tutmaktadır. CNC makinenin namlu üretimi için yaptığı işlem süresi ise 40sn olarak ayarlanmıştır. CNC makine üretime devam ederken operatör bitmiş namlunun ölçülerini doğrulamak için master kontrolü yapmaktadır. Operatörün master kontrolü süresi ortalama 75sn sürmektedir. Master kontrol süresi CNC makinenin çevrim süresinden yaklaşık 35sn daha uzun olduğu için, her çevrim döngüsünde CNC makine yeni onay için 35sn için boşta beklemektedir. Mevcut durumda operatörün tüm bu görevlerini yerine getirmesi yaklaşık 132sn tutmaktadır.

İşletme üretim hatlarında ki durumu gerçek zamanlı takip edebilmek için Egebimtes firması tarafından geliştirilen ve MAS olarak tanımlanan üretim yönetim sistemi programını kullanmaktadır. Bu sistem planlı-plansız duruş süreleri, sipariş miktarının büyüklüğü ve üretim adeti, kullanılabilirlik-performans-kalite gibi verileri tespit ederek, toplam ekipman etkinliğini ifade eden “OEE” (Overall Equipment Effectiveness) hakkında şeffaf olarak bilgi edinmemizi sağlar. Şekil 3.1 de MAS otomasyon sistemi, 08.00-16.30 sabah vardiyasında elde edilen verilere göre mevcut sistemin ortalama çevrim süresini 133,09sn olarak hesaplamıştır. Bu çevrim süresinin mevcut sistem için kronometre yardımıyla yapılan zaman etüdü çalışmasında ki çevrim süresine çok yakın değerde olduğundan yapılan çalışmanın doğruluğu da yapılmıştır. Aradaki 1 saniyelik fark tempo süresinden kaynaklanmaktadır.



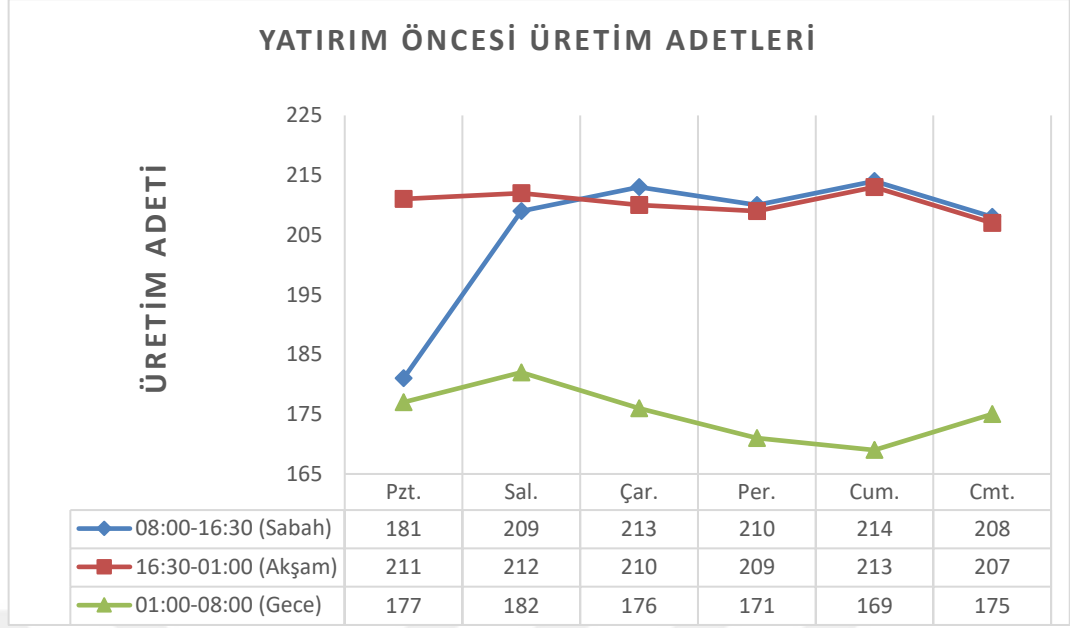
Şekil 3.1. MAS ile Mevcut Sistemin Anlık Verisi

Yapılan zaman etüdü çalışmaları sonrasında tespit edilen ortalama çevrim süresine bağlı olarak, günlük üretim miktarı aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$\text{Günlük Çalışma Süresi} = 22\text{saat/gün} \times 3600\text{saniye/saat} = 79200 \text{ saniye/gün}$$

$$\text{Günlük Üretim Adeti} = 79200\text{saniye/gün} / 133,09\text{saniye/adet} \approx 595 \text{ adet/gün}$$

Fabrika üretimlerine sabah, akşam ve gece olmak üzere 3 vardiya devam etmektedir. Pazar günleri üretim yapılmadığı için kapalı tutulan CNC tezgâhların pazartesi günleri sabah vardiyasında üretime tekrar başlamadan önce makinaların hazırlanması için 30dk ile 45dk rölantide çalıştırma işlemleri uygulanmaktadır. Gece vardiyası sabah ve akşam vardiyalarına göre 1,5 saat kısa tutulmuştur. Bu durumlar vardiyalarda üretilen namlu adetleri arasında değişkenlik görülmesine sebep olmaktadır. Mevcut yöntemle üretilen namlu adetlerinin vardiyalara dağılımı ve günlük üretim adetleri Şekil 3.2’ de verilmiştir.



Şekil 3.2. Namlu Üretim Adeti Dağılımı

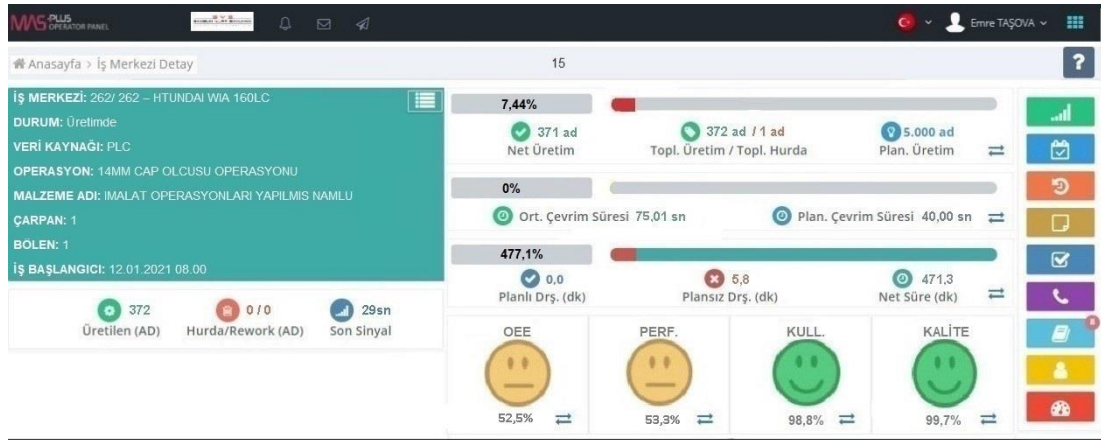
Mevcut durumu incelemek için yaptığı zaman etüdü çalışması sonrasında operatörün görevlerinden dolayı yaşadığı zaman kaybı sorununu gidermek için otomasyon sistemlerinden yararlanma kararı alınmıştır. İşletme yatırım yapmadan önce ihtiyaçları karşılayabilecek demo bir robot temin ederek kurulumunu gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte demo robot, operatörün sorumlu olduğu CNC makineden bitmiş namluyu alma, CNC makineye yeni yarı mamul namluyu yükleme ve CNC makineye onay verip üretimi yeniden başlatma ve bitmiş namluyu konveyör ile operatöre gönderme görevleri yerine getirmektedir. Bu görevler detaylandırılıp, her bir faaliyet için kronometre ile zaman tutulmuştur. Zaman etüdü verileri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Demo Robot Kurulumu Sonrası Zaman Etüdü Çalışması

Sıra.	Faaliyetler	ÖZ1	ÖZ2	ÖZ3	ÖZ4	ÖZ5	Ort.
1	Makine kapısının otomatik açılması	7	7	7	7	7	7
2	Robotun makineyi boşatması	11	11	11	11	11	11
3	Robotun makineyi yüklemesi	10	10	10	10	10	10
4	Makine kapısının otomatik kapatması	7	7	7	7	7	7
5	Makine işlem süresi	40	40	40	40	40	40
	TOPLAM	75	75	75	75	75	75

Şekil 3.3’ de MAS otomasyon sistemi ile robot kurulu sisteme bağlanarak 08.00-16.30 sabah vardiyasında veri tespiti işlemi yapılmıştır. Robot kurulu sistemin çevrim süresinin 75,01sn olduğunu tespit etmiştir. Bu değer kronometre yardımıyla yapılan

zaman etüdü çalışmasında ki çevrim süresine çok yakın değerde olduğundan yapılan çalışmanın doğruluğu da yapılmıştır.



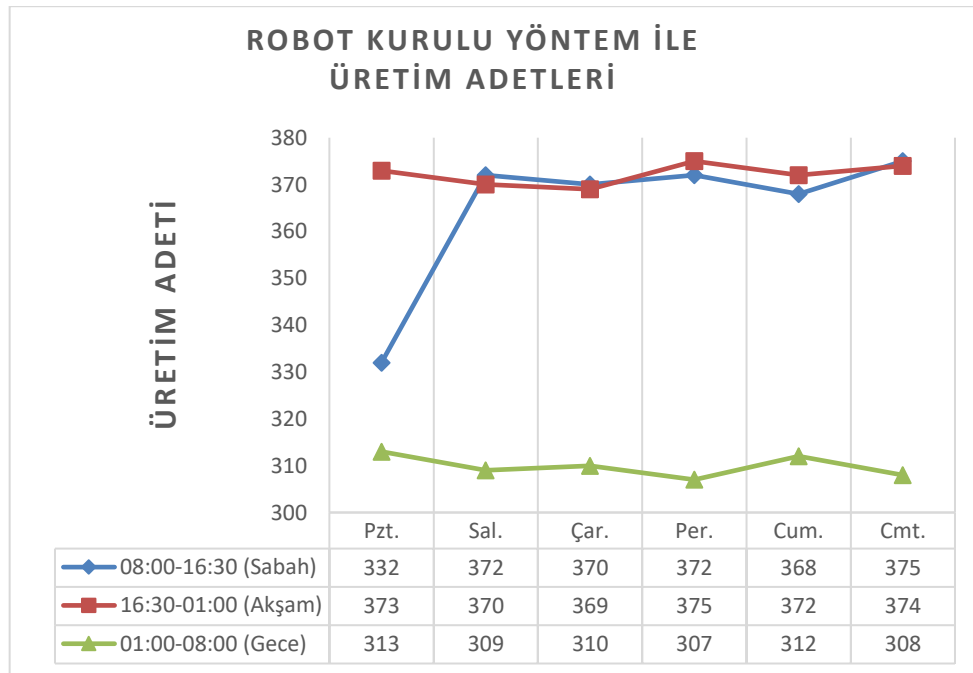
Şekil 3.3. MAS Programı Robot Yatırımı Yapıldıktan Sonra Sistemin Anlık Verisi

Yapılan zaman etüdü çalışmaları sonrasında tespit edilen ortalama çevrim süresine bağlı olarak, günlük üretim miktarı aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$\text{Günlük Üretim Süresi} = 22\text{saat/gün} \times 3600\text{saniye/saat} = 79200 \text{ saniye/gün}$$

$$\text{Günlük Üretim Adeti} = 79200\text{saniye/gün} / 75,01\text{adet/saniye} = 1056 \text{ adet/gün}$$

Robot kurulu yöntem ile üretilen namlu adetlerinin vardiyalara dağılımı ve günlük üretim adetleri Şekil 3.4 de verilmiştir.



Şekil 3.4. Namlu üretim Adeti Dağılımı

Yapılan zaman etüdü çalışmasında, mevcut üretim şeklinde zaman israfının üretimin hangi aşamalarında olduğu tespit edilmiştir. Operatörün yerine getirmesi için 57sn kullandığı görevleri robota devrederek ve robotla eş zamanlı olarak diğer bir görevi olan master kontrolü görevini yerine getirerek sistemin çevrim süresinde 57sn'lik kazanç elde edilerek yeni çevrim süresi 75sn ye düşürülmüştür. Demo robotun zaman israfını düşürerek sisteme elde ettirdiği kazanç, üretimin %76 oranında hızlanmasını sağlamıştır. Yatırım yapılmadan önceki üretim yönteminde günlük üretim ortalama 595adet seviyelerindeyken, demo robot çalışması sonrasında günlük üretim ortalama 1056adet seviyelerine çıkmıştır. Bu tespitler sonucunda demo olarak kurulan endüstriyel robotun, gerekli yatırım yapılarak sisteme kalıcı olarak entegre edilmesine karar verilmiştir ve tasarım çalışmaları başlatılmıştır.



4. ROBOTLU ÜRETİM SİSTEMİ

İşletmeler, yatırımına karar verdikleri teknolojiyi veya uygulayacağı yöntemi, mevcut düzenlerine kolayca entegre etmek için ve daha yüksek verim elde etmek için, kendisine referans olarak belirlediği bir uygulama projesi ile karşılaştırmalıdır. Böylece yeni fabrika düzeninin ve yerleşim planının nasıl olması gerektiği hakkında ön bilgi edinebilir. Bu sayede yatırıma veya uygulamaya başlamadan önce bir plan geliştirilerek, verilecek yanlış kararların önüne geçilebilir ve işletme açısından gereksiz yatırım maliyetlerini önleyebilir. Örneğin bilgisayar modelleme ile tasarım eksiklikleri, üretiminde yaşanabilecek aksaklıkları, zaman kayıplarından dolayı oluşabilecek darboğaz noktalarını önceden belirleyebilir ya da ürünlerin taşındığı mesafeyi kısaltarak, finansal ve çevresel maliyetleri düşürebilir.

Yatırım aşamasındaki işletmenin karar verdiği akıllı üretim sistemine ne seviyede hazırlıklı olduğunu değerlendirmesinin genel plan yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Akıllı Üretim Sistemi İçin Hazırlık Seviyesi Değerlendirme Yapısı

Değerlendirme yapısı, önce girdilerin ve çıktıların özetlendiği ve bu özet verilere göre iyileştirme planının geliştirilmesi adımlarını içerir. Plan uygulandıktan sonra yeni duruma göre veriler elde edilir ve tekrar plan geliştirilmesi adımı gibi bu süreç tekrarlanır. Akıllı üretim sistemlerine hazırlık için oluşturulmuş bu yapının amacı, işletmelerin bu hazırlık aşamalarında kendilerinin ne seviyede olduklarını tespit etmelerine ve kendilerine özel bir iyileştirme planı geliştirmelerine yardımcı olmaktır.

4.1. Sisteminin Tasarımı

Yapılan ön çalışmalar sonucunda, üretim sistemine Endüstriyel Robot eklenmesinin sistemi iyileştireceği anlaşılmıştır. Bu durum üretime endüstriyel robot eklenmesi ve sistemin yeniden tasarlanmasını gerektirmiştir. Endüstriyel Robotların ana gövdeleri benzer özellikte olmasına rağmen, çalışma ortamları farklı olabilmektedir. Bunun için endüstriyel robotların bir üretim sisteminin parçası olabilmesi için ilave donanıma ihtiyaç olup, bir sistem tasarımı yapmak gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında planlanan robotun, CNC tezgâhı tarafından işlenecek parçaları bir yerden alıp, CNC tezgâhına yerleştirmesi ve işlenen parçayı tezgâhtan alıp, bir başka yere bırakması istenmektedir. Robotun bu işlemleri yapabilmesi için oluşturulacak sistem tasarımı iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşaması sistemin mekanik unsurlarının oluşturulması ve birleştirilmesi, ikinci aşaması ise sistemin çalışmasını sağlayacak otomasyon yazılımının oluşturulmasıdır.

Tasarlanan sistemin mekanik unsurları aşağıdaki bölümlerden meydana gelmektedir:

- Tutucu Parmak Sistemi
- 360° Döner Tablalı Besleme Ünitesi
- Konveyör Bant Sistemi
- Tel Kafes ve Güvenlik Kilitleri
- Robot Zeminin Oluşturulması

Sistemin bu bölümlerinin detayları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

4.1.1 Tutucu Parmak Sistemi

Planlanan Robot, işlenecek parçaları bir yerden alıp, bir başka yere bırakacağı için parçayı tutması gerekmektedir. Robotların parçaları tutabilmesi için değişik tutma sistemleri vardır (Gil Fuster, 2015). Bu sistemler:

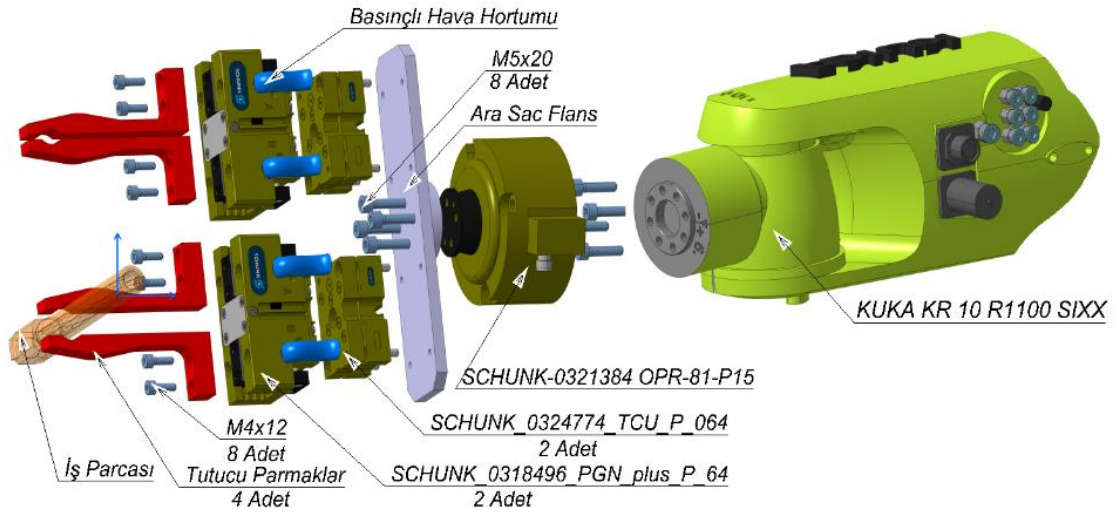
- Mekanik (kavrama, çene vb.) kuvvetli parmaklar
- Saplamalı (pim, iğne, kanca vb.) parmaklar
- Çekici (vakum, manyetik, elektrostatik vb.) parmaklar
- Yapışma (termal, kimyasal vb.) yöntemli parmaklar

Olmak üzere 4 ana gruba ayrılabilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Robot Tutma Sistemleri

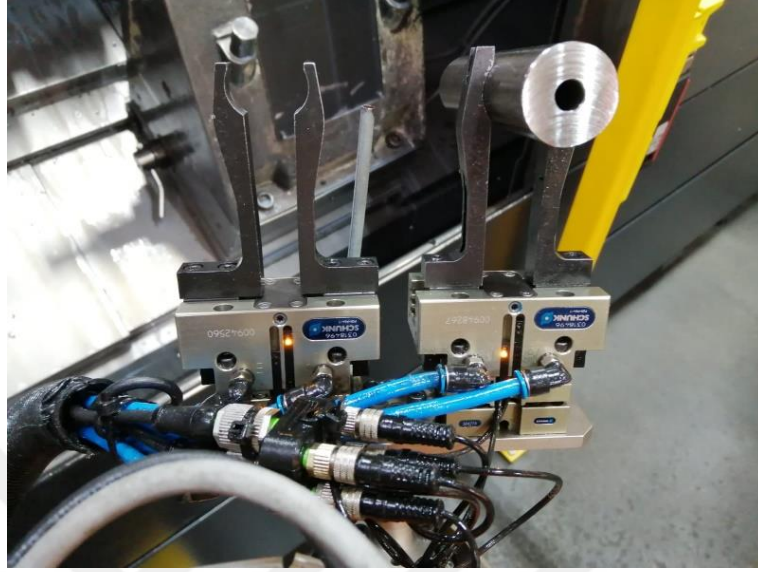
Planlanan sisteme en uygun tutucu mekanik kavramalı tutuculardır. Yarı mamul namluları sistem için özel tasarlanmış olan besleme ünitesi üzerinde ki raflardan alıp makineye bağlamak, makineden ise işlenmiş namluyu alıp konveyör bandının üzerine koymayı sağlamak için, namlunun geometrisine uygun tutucu parmak sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, tutucu parmak, üniversal tutucu, tolerans telafi edici, saç levha ve çarpışma sensöründen meydana gelmektedir (Şekil 4.3). Tasarlanan parmak sistemine hareket kazandırılması için pnömatik (hava basınçlı) bağlantı yardımıyla çalışan üniversal tutucu Schunk (PGN-Plus-64) aparatına bağlandı. PGN-Plus-64 üniversal tutucu aparatını sistemde tasarlanmış olan sac levhaya monte edebilmek için hem bağlantı arayüzü görevi gören hem de ölçü toleranslarından dolayı tutucu parmak sisteminde oluşacak kasıntıları giderme görevi gören tolerans telafi ünitesi Schunk TCU-P-064 aparatından yararlanıldı. İş sağlığı ve güvenliği açısından çevre güvenliği için çarpışma sensörü olan Schunk OPR-81-P15 aparatı kullanıldı. PGN-Plus-64 üniversal tutucu üzerine montajı yapılan parmak başına 6mm hareket imkânı sağlayarak toplamda 12mm açma-kapama mesafesi sunmaktadır. Bu aparat kendisine sağlanan 5bar basınçlı hava sayesinde üzerine monte edilen parmaklara 375N' a kadar kuvvet aktarabilir. Bu şekilde parmaklar 2kg ağırlığa kadar ürünü kaldırır.



Şekil 4.3. Tutucu Parmak Kompleksi Tasarımı Çalışması

Schunk OPR-81-P15 çarpışma sensörü, bir çarpışma anında oluşan veya sistemsel bir sorun sonrasında oluşan istem dışı çevresel kuvvetleri tespit ederek sistemin anında durmasını sağlar. İş parçasını tasarımın başında robot hafızasına kaydedilen güvenli bölge konumuna geri taşımayı sağlar.

Tüm parçaların montajı tamamlanarak oluşturulmuş tutucu parmak sistemi, sistemi otomasyonlu hale getirmek için seçilmiş olan KUKA robotuna monte edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Tutucu Parmak Komplexinin Kullanım Görseli

4.1.2 360° Döner Tablalı Besleme Ünitesi

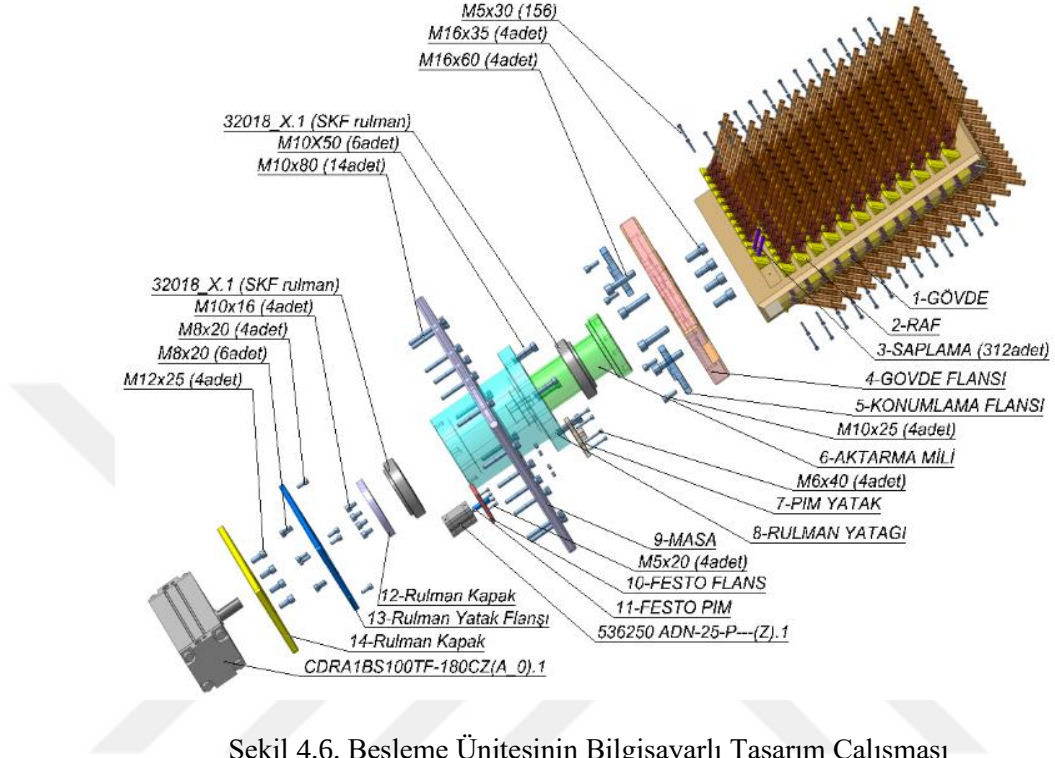
Mevcut sistemde tahta sandıklar içerisinde depolanan işlenmemiş namlular çalışan operatör tarafından alınıp, CNC tezgâhına yerleştirilmekteydi (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Tahta Sandıkta Depolama

Sistemde kullanılacak robot için tasarlanan tutucu parmak kompleksinin namlu parçalarını daha kolay ve sabit bir yerden alabilmesi için 360° dönebilen dikey tablalı besleme ünitesi tasarlandı. Tasarlanmış olan besleme ünitesine döner hareket kazandırmak için tek taraflı 180° toplamda ise 360° dönme açısına sahip döner SMC markasının aktüatörü kullanılmıştır. Bu aktüatör 1Mpa basınçlı hava ile çalışmaktadır. Tasarlanan besleme ünitesinin dikey tablası iki yönlü olup her yönde 13 raf vardır. Her raf 12 adet namlu dizilim kapasitesine sahip olduğundan, dikey tablanın tek tarafı 156

adet namlu olmak üzere toplam depolama kapasitesi 312 adet namludur. Tasarlanan besleme ünitesi sistemin parçaları ve parçaların montaj şeması Şekil 4.6’de görülmektedir. Besleme ünitesinin tamamlanmış hali ve kullanım görüntüsü ise Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Besleme Ünitesinin Bilgisayarlı Tasarım Çalışması

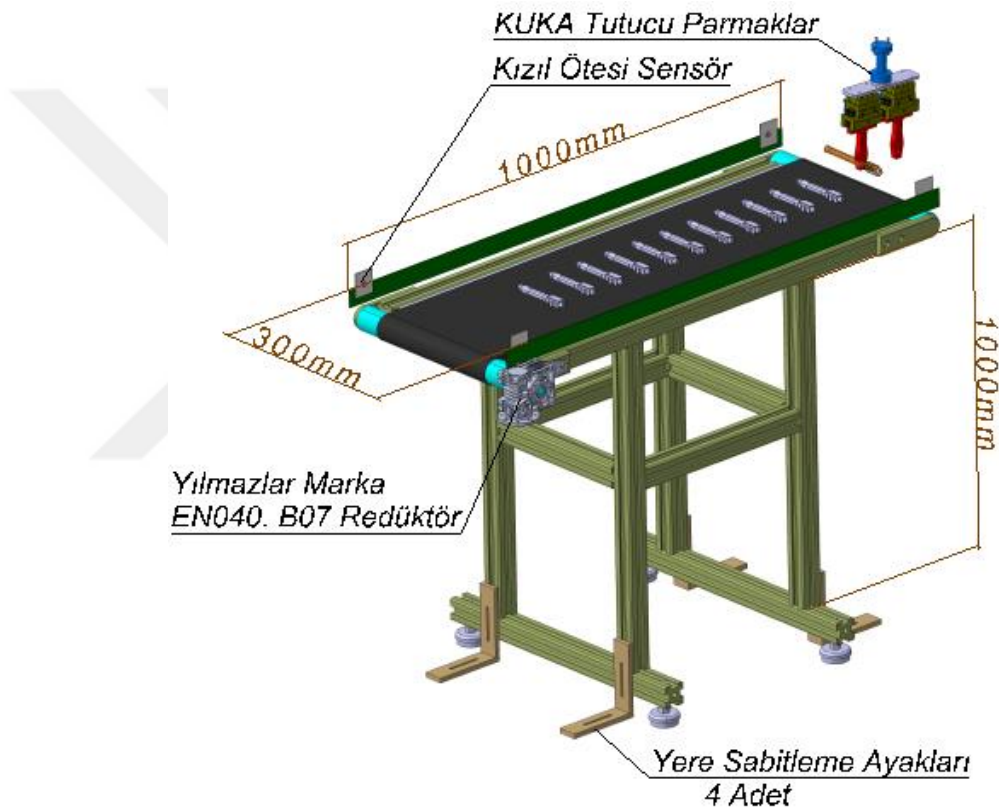


Şekil 4.7. Besleme Ünitesinin Kullanım Görseli

Besleme ünitesine işlenmemiş namlular, sistemde ki görevli operatör tarafından el ile yerleştirilmektedir. Robotun besleme ünitesinin bir yüzündeki son namluyu aldıktan sonra, besleme ünitesine PLC yardımı ile bir sinyal göndererek ünitenin 180° dönmesini sağlamaktadır. Bunun için gerekli olan kodlama yazılımları robot markasının kendi programlama dili olan KUKA KRL programında yazılmıştır.

4.1.3 Konveyör Bant Sistemi

İşlenmiş parçaların, robot kolu tarafından alındıktan sonra bir başka yere bırakılması ve taşınması gerekmektedir. İşlenen parçaların master kontrolü yapılacağı için, parçaların kontrol noktasına taşınması gerekir. İş güvenliği açısından sistemde robot kolu hareket ederken çevresinde belli bir bölgede tehlikeli ve girilmesi yasak bir alan olmalıdır. Bu sebeple işlenmiş namluları robotun tehlikeli çalışma alanından master kontrol noktasına ulaştıracak, yani iki bölge arasında namluların taşınmasını sağlayan güvenli bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaç için bir Bantlı taşıyıcı sistem tasarlanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Konveyör Bant Sistemi Tasarımları

Konveyör sistemi tasarlanırken taşınacak ürünün ağırlığı, ürünün boyutları, taşıma mesafesi ve ilgili operatörün duruş pozisyonuna göre tasarım çalışmaları yapılmıştır. Konveyör zemine sabitlenebilir ayaklı şekilde tasarlanmıştır. İhtiyaç duyulduğunda başka bir yere taşınırken hafiflik özelliği açısından konveyörün gövde profilleri alüminyum malzemelerden seçilmiştir. Konveyör bant yüksekliği 1000mm ve 1300mmx300mm (uzunluk x genişlik) ebatlarında tasarlanmıştır. Konveyör de namlunun geometrik şekli de dikkate alınarak pvc malzemeli bant seçilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Konveyör Bant Sisteminin Kullanımı

Tasarlanan konveyör, üzerine malzeme konduğu zaman Robottan gelen sinyal ile çalışmaya başlıyor ve malzemeyi 70 cm taşıdıktan sonra durmaktadır. Bunun içinde ilerleme hızı ise 10 cm/sn olarak ayarlanmıştır.

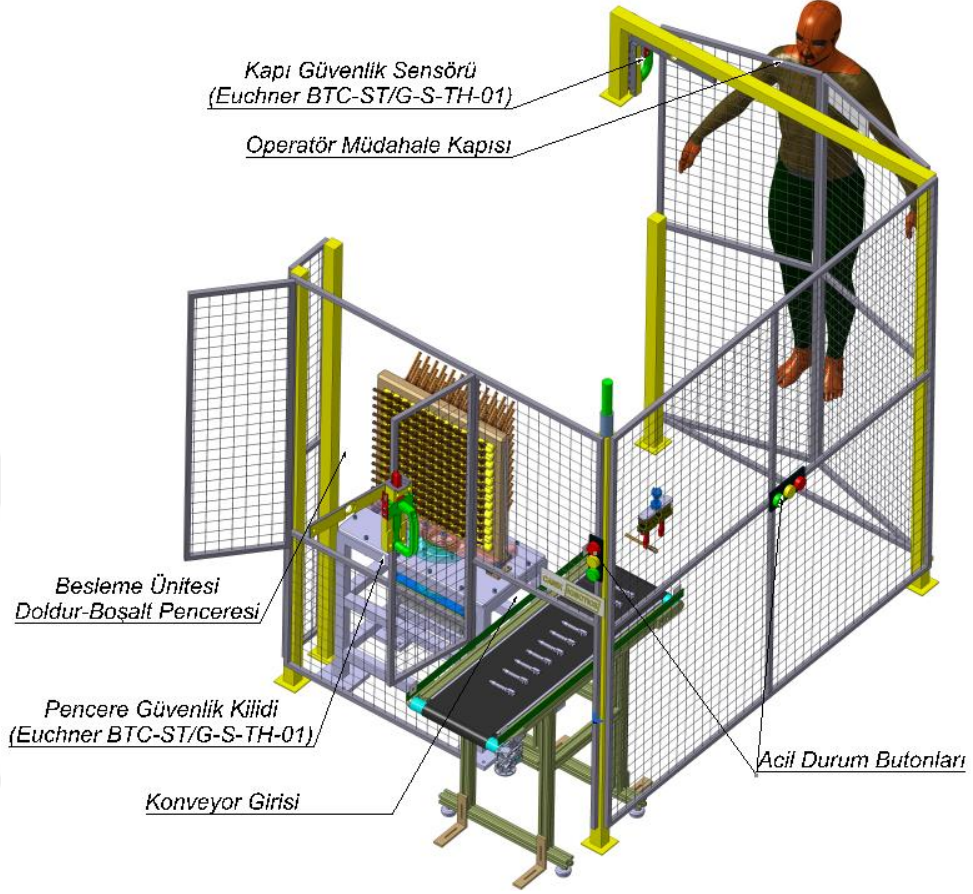
Konveyör bant üzerinde silindir tip serisi reflektörlü fotoelektrik sensör kullanılmıştır. Bu sensörler karşına konulan reflektörden ışığı geri yansıtır, eğer sensör ile reflektör arasına bir cisim girerse ışık reflektörden geri yansımayacağından belirlenen noktada cisim var veya cisim yok bilgileri toplanır. Bu sensörler ile konveyör üzerinde belirlenen bir noktadan kaç adet ürünün geçtiğinin sayılması, istenilen bir cismin belirlenmiş bir alan içerisinde mesafesinin belirlenmesi ya da bir cismin belirlenmiş bir noktadan geçmesiyle otomasyon sisteminin durdurulması işlemleri yapılabilir.

4.1.4 Tel Kafes Tasarımı ve Güvenlik Kilitleri ile Donatılması

İş sağlığı ve güvenliği açısından başta görevli operatörün sağlığı ve güvenliği olmak üzere, çevredeki diğer önemli sayılabilecek elektrik panosu, kontrol ünitesi, bilgisayarlar gibi eşyaları korumak için sistemde çalışan robotun çalışma bölgesini çevreleyerek koruma altına almak için tel kafes sistemi tasarlanmıştır (Şekil 4.10). Ayrıca robot sistemine olabildiğince uzak mesafeden kontrol imkânı sağlanmalıdır. Yani görevli operatörün istenmeyen durumlarda soruna müdahale etmesi için gerekli işlemleri robotun çalışma bölgesi içerisine girmeden yapabilmesi sağlanmalıdır.

Tel kafes sistemi robotun yükseklik erişim mesafesi dikkate alınarak 2200mm yüksekliğinde tasarlanmıştır. Sistemde işlenen ürün, istemsiz şekilde kafes alanı dışına çıkmasını önlemek için ürün ebatlarına bağlı olarak 50mm x 50mm kare tel örgü

kullanılmıştır. Besleme ünitesine kolay erişim imkânı sağlamak için çift kanat açılım pencere yapılmış ve periyodik bakım veya acil müdahale için sistem alanına hızlı girilebilmesi için kolay açılabilir kapı düzeneği tasarlanmıştır.



Şekil 4.10. Tel Kafes Tasarım Çalışması

Robotun çalışması esnasında yaşanacak istemeyen durumlarda sisteme hızlı müdahale etmek için robotun hemen durdurulması gerekebilir. Bu gibi durumlarda sistem içerisinde robotu hemen durdurabilmek için “acil durum butonu” bulunmalıdır (Şekil 4.11). Bu butonlar sadece robotun üniteleri üzerinde değil, robotu çevreleyen tel kafes üzerine ilgili operatörün hemen ulaşabileceği pozisyonlarda ve sayıda olmalıdır.



Şekil 4.11. Acil Durum Butonu

Vardiya değişimlerinde sonraki operatörün sistemi kontrol etmek veya robotun periyodik bakımları gibi durumlarda robotun çalışma bölgesine girmek gerekebilir. Bu gibi durumlara ise sistemdeki acil durum düğmesine ek olarak, tel kafes üzerinde robotun çalışma bölgesine açılmakta olan kapı ve pencere gibi yerlere robotun çalışmasını otomatik olarak durduracak güvenlik kilitleri bulunmalıdır. Sistem için tel kafes sisteminde bir adet pencere ve bir adet kapı bulunmaktadır. Bu iki yer içinde güvenlik kilidi yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Euchner Marka (BTC-ST/G-S-TH-01-F Model) Kapı Kilidi

4.1.5 Robot Zeminin Oluşturulması

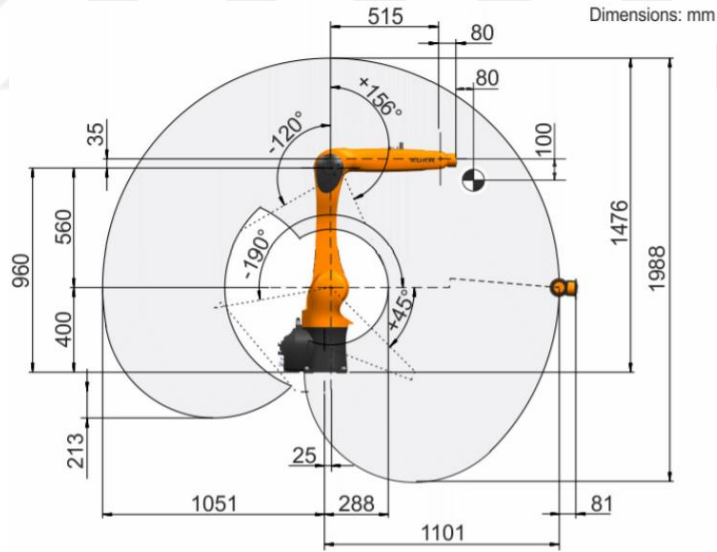
Tasarlanan sistemler ve endüstriyel robot, çalışma faaliyetlerine başlamadan önce zemine sabitlenmeleri gerekmektedir. Sistem için alınacak Robot, sağlam ve dayanıklı bir zemine oturması gerekmektedir. Robotun zemine bağlanması için dökme demir parça tasarlanmıştır. Bu parça 300mm yüksekliğinde ve 80kg ağırlığındadır. Bu parça zemine başsız cıvatalarla monte edilmiş, robot bu parçanın üzerine yerleştirilerek metrik 12 civatalar ile sabitlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Robot Zemin Bağlantısı

4.2. Robot Sistemin Bölümlerinin Birleştirilmesi

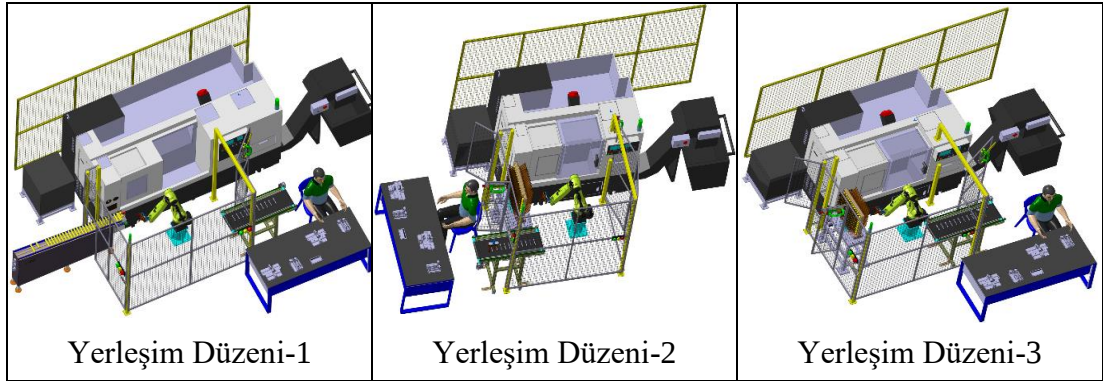
Sistem için planlana robot KUKA firmasının KR 10 R1100 modeli olup, 6 eksen hareket etme kabiliyetine sahip ve maksimum yük kaldırma kapasitesi 10kg'dır (Şekil 4.14). Robotun maksimum erişim mesafesi 1100mm olduğu hesaplanarak, üretimde kullanılan tezgâh ve üretim sahasının en verimli kullanılacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir.



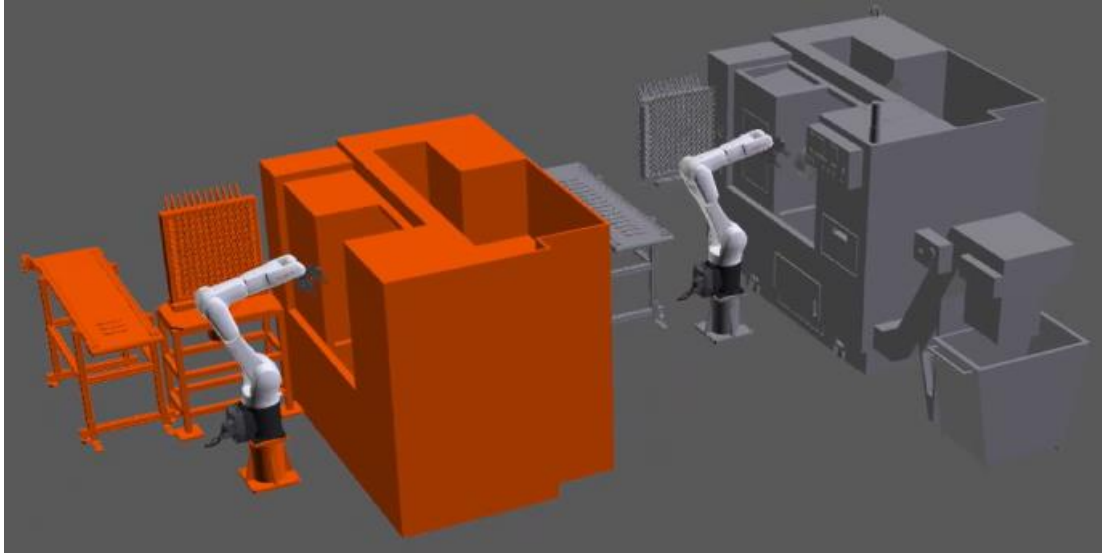
Şekil 4.14. KUKA KR10 Çalışma Eksen Ölçüleri

Ayrıca sistemin parçalarının uyum içinde çalışabilmesi için parçaların birbirlerine göre konumları önemlidir. Bu sebeple fabrika yerleşim kriterleri ve iş güvenliği şartnameleri dikkate alınarak robotun ve ilgili parçaların konumu için farklı tasarımlar ve farklı yerleşim düzenleri oluşturulmuştur. Çünkü sistemi bir defa konumlandırdıktan sonra, düzen üzerinde değişiklik yapmak hem zor hem de maliyetlidir. Bu nedenle en doğru kararı verebilmek için her farklı yerleşim düzeni için

(Şekil 4.15) robot firmasının geliştirdiği *Kuka.Sim 4.0* Analiz ve Simülasyon Programı kullanılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.15 Yerleşim Düzeni Çalışmaları



Şekil 4.16. *Kuka.Sim 4.0* Analiz ve Simülasyon Programından Görüntü

Bu program aracılığı ile farklı yerleşim düzenleri için üretim hızları, robotun dönüş hareketleri ve çalışma süresi, sistemin hareketliliği matematiksel olarak analiz edilerek (Tablo 4.1), robotun minimum çevrim süresi araştırılmıştır.

Tablo 4.1 Yerleşim Düzenleri Çevrim Süreleri

Yerleşim Düzeni	Açıklama	Çevrim Süresi (sn)
1	Rampa Besleme Ünitesi & Ters yönde operatör	40
2	Dikey Besleme Ünitesi & Aynı Yönde operatör	39
3	Dikey Besleme Ünitesi & Ters Yönde operatör	36

Simülasyon çalışmaları sonucunda, 3 nolu yerleşim düzeni minimum çevrim süresini verdiği için tercih edilmiştir.

Simülasyon programında elde edilen sonuçlar bazında, sistemin mekanik parçaları uygun yerlere yerleştirilmiştir (Şekil 4.17).



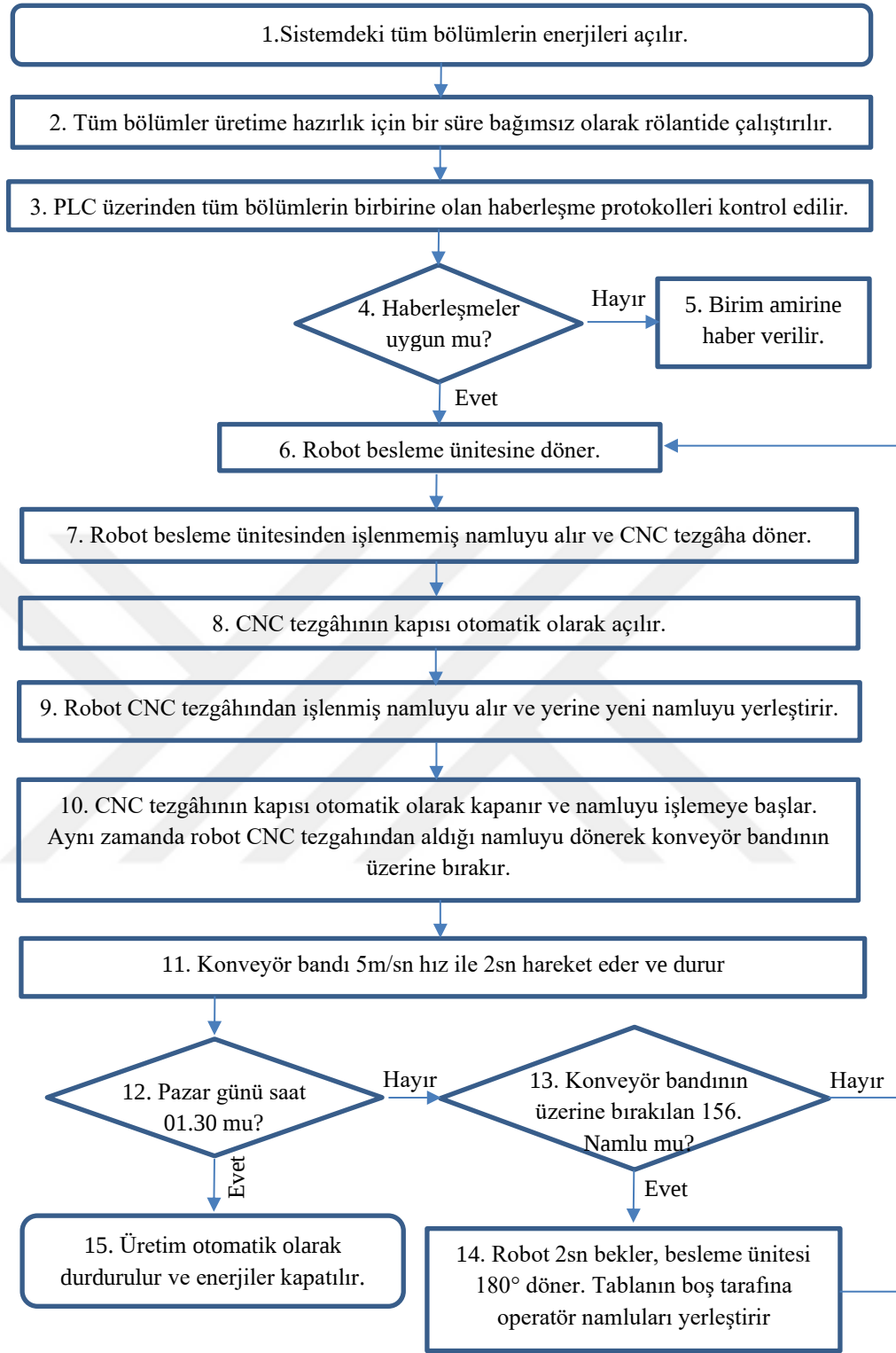
Şekil 4.17. Sistemin Mekanik Parçalarının Yerleşimi

4.3. Sistemin Yazılımı

Mekanik olarak tamamlanan sistemin çalışabilmesi için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu yazılım aşağıda tanımlanan görevleri yerine getirmelidir;

- Robotun hareketi
- CNC tezgâhının Hareketi
- Konveyörün hareketi
- Döner tablanın hareketi

Robot sisteminin yukarıdaki görevleri yerine getirmesi için geliştirilen yazılımın akış şeması Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Robot Sistemi Yazılımı Akış Şeması

Yazılım için KRL (KUKA Robot Language) programlama dili kullanılmıştır. Bu program robot ile birlikte gelmekte ve PASCAL benzeri bir dildir. Robotun bu hareketleri yapabilmesi için gerekli kodlama, geliştirilen akış şemasına uygun olarak firma yetkilileri ile birlikte yazılmıştır.

5. ROBOT YATIRIMININ EKONOMİK ANALİZİ

5.1. Giriş

Herhangi bir yatırımın ekonomik olarak değerlendirilmesi için yatırım miktarının ve işletme dönemi maliyetlerinin ve gelirlerinin belirlenerek belirli bir zaman dilimi için nakit akışlarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için yatırım dönemi giderleri ile işletme dönemi giderleri ve gelirleri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

5.2. Robot Sisteminin Yatırım Miktarı

Üretim hattında Robot teknolojisinden yararlanabilmek için aşağıdaki harcamalar yapılmıştır.

Projelendirme ve Zemin Düzenlemesi: Projelendirme maliyetlerinin hesabı oldukça zordur. Ancak bir yaklaşım yapmak gerekirse, altmış işgününü (2 ay) proje maliyeti olarak kabul edinilebilir. Buna göre;

$$\text{Projelendirme Maliyeti} = 2 \times 10000 = 20000 \text{ TL}$$

Tutucu parmak Kompleksi; İşlenecek parçaların tabladan alınıp, CNC 'ye konması ve geri alınması için tutucu parmak kompleksi tasarlanmış ve yapılmıştır. Bunun toplam maliyeti ise;

$$\text{Tutucu Parmak Kompleksi} = 45000 \text{ TL}$$

Döner tablalı Besleme Ünitesi: Sistemde kullanılacak robot için tasarlanan tutucu parmak kompleksinin namluları daha kolay alabilmesi ve üretim adetinin daha kolay takip edilebilmesi için 360° dönebilen bir besleme ünitesi tasarlandı. Bu tasarımın projelendirme, imalat ve montaj maliyeti ise;

$$\text{Döner Tabla Maliyeti} = 70000 \text{ TL}$$

Konveyör Bant Sistemi Tasarımı ve Kurulumu: CNC 'de işlenen parçaların bir sonraki aşamaya nakli için bir konveyör bant tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bunun maliyeti ise;

$$\text{Konveyör Bant Sistemi Maliyeti} = 15000 \text{ TL}$$

Güvenlik İçin Tel Kafes: İş sağlığı ve güvenliği açısından sistemin etrafına bir tel kafes yapılmıştır. Bunun hem malzeme hem de montaj maliyeti vardır.

Tel Kafes Malzeme Maliyeti = 6000 TL

Tel Kafes İşçilik Maliyeti = 1000 TL

Güvenlik Kilidi Maliyeti = 9000 TL

Toplam Tel Kafes Sistemi = 16000 TL

Robot Maliyeti: Sistemin çalışması için gerekli Robot, öz sermaye ile alınmış olup, yerinde teslim maliyeti toplam maliyet olarak belirlenmiştir. Buna göre;

Robot satın alma ve Nakliye Maliyeti = 200000

Robot Kurulum Maliyeti = 20000 TL

Diğer Giderler: Bu tür çalışmalarda mutlaka beklenmedik giderlerde olmaktadır. Bu giderler projenin karmaşıklığına bağlı olarak toplam yatırımın %3 ile %15'i arasında olabilmektedir. Bu çalışmada %3'lük bir beklenmedik maliyet öngörülmüştür.

Diğer Giderler = 379500 x 0,03 = 11385 TL

Toplam Yatırım Gideri: Farklı yatırım maliyetleri toplanarak toplam yatırım maliyeti hesaplanır. Bu hesaplamalar Tablo 5.1.'de verilmiştir. Buna göre;

Tablo 5.1. Yatırım Maliyet Kalemleri

Maliyet Kalemi	Miktar (TL)
Projelendirme ve Zemin Düzenlemesi	20000
Tutucu parmak Komitesi	45000
Döner tablalı Besleme Ünitesi	70000
Konveyör Bant Sistemi Tasarımı ve Kurulumu	15000
Güvenlik İçin Tel Kafes:	16000
Robot Satın alma ve Kurma	220000
Ara Toplam	386000
Diğer Giderler (%3)	11580
TOPLAM	397580

Toplam Maliyet = 397580 TL

olarak hesaplanmıştır.

5.3. Robot Sistemi İşletme Dönemi Gider ve Gelirleri

Bu sistemin işletme dönemi giderleri sabit ve değişken giderler olarak iki ana grupta incelenir. Bu maliyetler CNC ve Robot sistemi ayrı ayrı olmak üzere başlıca Tamir-bakım, enerji, malzeme ve diğer giderlerdir.

5.3.1 İşletme Dönemi Sabit Maliyetler

CNC Tamir Bakım Maliyeti (CNC_{TBM}): Ekipmanın periyodik bakımı yapıldığı için yıllık sözleşme ile yapılmaktadır. Buna göre;

$$CNC_{TBM} = 20000 \text{ TL/yıl'dır.}$$

ROBOT Tamir Bakım Maliyeti (RBT_{TBM}): Ekipmanın periyodik bakımı yapıldığı için yıllık sözleşme ile yapılmaktadır. Buna göre;

$$RBT_{TBM} = 20000 \text{ TL/yıl'dır.}$$

5.3.2 İşletme Dönemi Değişken Maliyetler

Çalışma süreleri ortalama günlük 24 saat, aylık 26 gün olarak değerlendirilmiştir. Buna göre;

$$\text{Aylık Çalışma Süresi} = 24 \times 26 = 624 \text{ saat/ay}$$

$$\text{Yıllık Çalışma Süresi} = 624 \times 12 = 7488 \text{ saat /yıl}$$

CNC Malzeme Maliyeti (CNC_{MM}): Bu maliyet kalemi CNC 'de kullanılan torna takım maliyetidir. Bunun maliyeti ise kullanım miktarı ile bağlantılıdır. Yapılan incelemeler sonucunda maliyet parça başına **0,46 TL/adet** olarak belirlenmiştir.

CNC Enerji Gideri (CNC_{en}): CNC tezgâhı elektrik enerji ile çalışmaktadır. Kullanılan elektrik motoru 10.4 KW olup, üretim yaparken %80 yük çekip, boşta çalışırken yaklaşık %30 yük çekmektedir. Buna göre detay hesap yapmak gerekir. CNC sürekli olarak çalışmakta, ancak parça işleme süresi değişmektedir. Sistemde kullanılan Hyundai WIA E160LC tezgahının tam yükte enerji tüketim değeri 8,32kWh, boşta bekleme durumunda ise enerji tüketimi 3,12kWh olarak ölçülmüştür. CNC makinesi bir parça için 0,0111 saat çalışmaktadır. CNC 2080 saat mevcut durumda zaten çalışmaktadır. Bu nedenle 5410 saat üzerinden CNC enerji maliyeti hesabı yapılmıştır. Buna göre CNC Enerji maliyeti üretilen parça sayısına bağlı olarak 5.1 bağıntısı ile hesaplanır:

$$CNC_{enj} = [(Q \times 0,0111) \times 8,32] + (5410 - (Q \times 0,0111)) \times 3,12] \times EF$$

$$CNC_{enj} = (0,0578Q + 16880) \times EF \quad (5.1)$$

Burada;

Q: İşlenen parça sayısı,

EF: Elektrik fiyatı (0,88 TL/Kwh)

ROBOT Enerji gideri (RBT_{enj}): Robot enerji tüketimi elektrik motorunun gücüne ve çalıştığı süreye bağlıdır. Sistemde kullanılan KUKA KR10 R1100 tam yükte 3 Kwh enerji tüketmektedir. Ancak robotun sürekli olarak ortalama %80 yükte çalıştığı kabul edilebilir ve %76 üretim artış oranında fazladan 494 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Buna göre robot enerji maliyeti bağıntı 5.2 ile hesaplanır.;

$$\begin{aligned} RBT_{enj} &= (3 \times 0,80) \times (650 + 650 \times \ddot{u}ao) \times EF \\ &= 1560 \times (1 + \ddot{u}ao) \times EF \end{aligned} \quad (5.2)$$

Burada;

üao: üretim artış oranı ,

Bant Konveyör Enerji Gideri (BK_{enj}) : Yapılan hesaplamalardan bant konveyörün yapılan parça başına 10 sn çalışması gerektiği ortaya çıkmıştır. Kullanılan redüktör 0,37 Kw olduğuna göre üretime bağlı olarak konveyör enerji maliyeti bağıntı 5.3’de verildiği gibi hesaplanır.

$$BK_{enj} = (Q \times 10 \times 0,37) / 3600) \times EF = (3,7Q / 3600) \times EF \quad (5.3)$$

Dönel Tabla Enerji Gideri: İhmal edilebilir

Diğer Giderler: İşletme gödeniminde yukarıda bahsedilen giderlerin yanı sıra o giderlerin %3-5 aralığında görülmedik giderler olmaktadır.

İşçilik Gideri (İş): İşletme üretimlerine günde 3 vardiya çalışarak devam etmektedir. Her vardiyada farklı operatör çalışırken toplamda 3 operatör görev almaktadır. İşçinin aylık maliyeti hesaplanırken, işçi aylık maaş gideri, yemek firmasına ödenen kişi başı yemek ücreti, ulaşım için ödenen fiyat ve işletme tarafından sağlanan koruyucu ekipman giderleri dikkate alınmıştır. Tüm bu hesaplamalar

sonucunda namlu üretiminde ki bir işçinin işletmeye aylık maliyeti 5000 TL olarak hesaplanmıştır. Buradan da toplam işçilik maliyeti;

$$\text{İşçilik Maliyeti} = 3 \text{ işçi/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} \times 5000 \text{ TL/ay} = 180000 \text{ TL /Yıl}$$

Namlu Malzeme Maliyeti (Nmlz): Hammadde gideri hesaplanırken namlu üretimi için kullanılan hammaddenin fiyatı 38TL/kg olarak belirlenmiştir. Bir adet namlu üretimi için 200gr ham madde kullanılmaktadır ve bu verilere göre bir adet namlu için ham madde gideri **7,6 TL/adet** olarak hesaplanmıştır.

5.3.3 İşletme Dönemi Giderleri

Yapılan hesaplamalardan sonra işletme dönemi giderleri toplu olarak Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. İşletme Dönemi Giderleri

Maliyet Kalemi		Maliyet (TL/Yıl)
Sabit Maliyetler		
CNC Periyodik Bakım Maliyeti		20000
Robot Periyodik Bakım Maliyeti		20000
Toplam Sabit Maliyetler		40000
Değişken Maliyetler ($Q = 142272$; $EF=0,88$)	(TL/adet)	
CNC Malzeme Maliyeti	0,46	65445
CNC Enerji ($0,0578Q + 16880$) $\times EF$)		22091
ROBOT Enerji ($1560 \times (1 + \text{üao}) \times EF$)		2416
Bant Enerji ($(3,7Q)/3600$) $\times EF$		129
Namlu Malzeme ($Q \times 7,6$)		1081267
İşçilik		180000
Ara Toplam		1391340
Beklenmedik Diğer Giderler (%5)		69567
Genel Toplam		1500915

5.3.4 İşletme Dönemi Gelirleri

Bu projede işletme dönemi geliri olarak üretilen parçanın katma değeri satış fiyatı olarak kabul edilmiştir. Bu fiyat tahmini bir değer olarak 10-15 TL/adet aralığındadır.

5.4. Ekonomik Değerlendirme

İşletmelerin, güçlü finansal yapıya sahip olmak ve gelecek hedeflerine ulaşmak için düzenli olarak takip ettiği konuların başında işletmenin nakit akışı durumu gelmektedir. Nakit akışı, bir işletmenin kasasına belirli zaman aralıklarında (haftalık, aylık, yıllık gibi) giren ve çıkan para anlamına gelmektedir. Nakit akışları incelenirken kasa girdilerine ve kasa çıktılarına eş zamanlı olarak bakılır. Kasaya giren paralara pozitif nakit akışı, kasadan çıkan paralara ise negatif nakit akışı denir. İşletme belirlediği dönemlerde ki kârını bu pozitif ve negatif nakit akışları üzerinden hesaplar. Tüm bu pozitif ve negatif nakit akışlarını gösteren, belirlenmiş dönemde işletme kasasındaki nakit kaynak miktarını, nakit kaynakların nerelerde kullanıldığı, pozitif nakit akışı sağlamayan veya negatif nakit akışı gerektirmeyen işlemleri de bir arada göstermeye yarayan hesap tablosuna nakit akış tablosu denir. Nakit akış tablosunun tanımından da anlaşılacağı üzere nakit girişi sağlayan işlemleri ve nakit çıkışına sebep olan işlemleri çok net ve anlaşılır bir şekilde görmemizi sağlar.

İşletme, namlu üretim hattında yaşadığı operatörün görevlerinden dolayı zaman kaybı problemini gidermek için robotlu otomasyon sistemlerinden yararlanmayı düşünmüş, robot yatırımı yapılmadan önceki sistemin ve demo olarak kurulan robotlu otomasyon sisteminin zaman analizi yapıldıktan sonra sistemdeki %76'lık hızlanma sonucunda robotlu otomasyon sistemi için yatırım yapılmasına karar verilmiştir. Bu kararı takiben, robot yatırımının ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

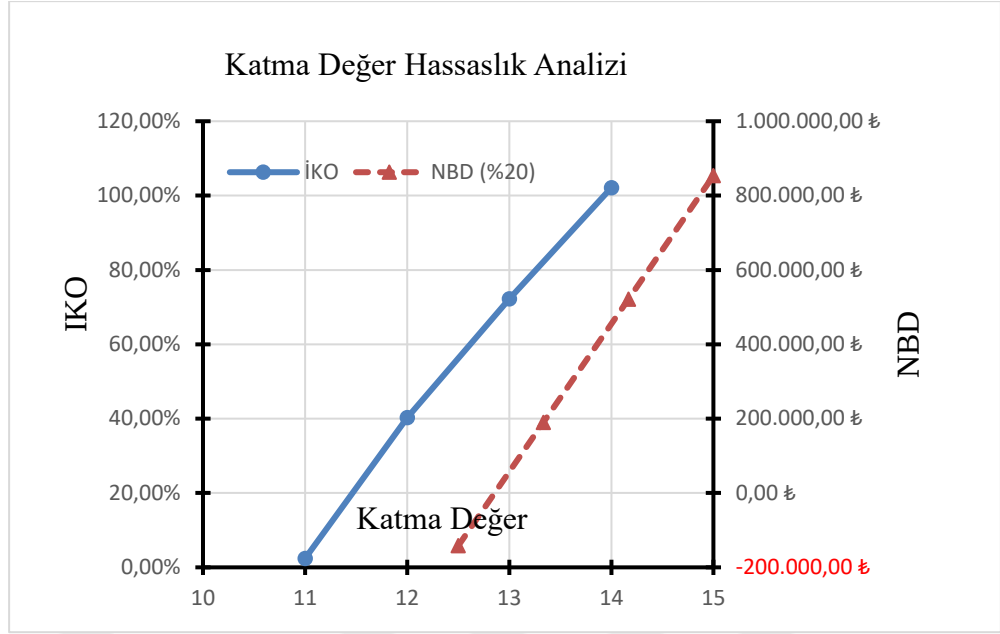
Hazırlanan nakit akış tablosu gelirler ve giderler olarak iki ana başlık altında hazırlanmış ve Tablo 5.3'de verilmiştir. Tablo 5.3'de verilen değerler bölüm 5.2 ve bölüm 5.3'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5.3. Otomasyon Sistemi İçin Net Akış Analizi Çalışması

Robot Yatırımı Yapıldıktan Sonra Net Akış Analizi						
YILLAR	0	1	2	3	4	5
Üretim Miktarı (Adet)		142.272	142.272	142.272	142.272	142.272
Satış Fiyatı		15	15	15	15	15
GELİR (TL)		2.134.080	2.134.080	2.134.080	2.134.080	2.134.080
GİDERLER (TL)	397.580	1.500.915	1.500.915	1.500.915	1.500.915	1.500.915
Projelendirme	20.000					
Robot Yatırım Maliyeti	200.000					
Robot Kurulum Maliyeti	20.000					
Döner Besleme Ünitesi Maliyeti	70.000					
Tutucu Parmak Kompleksi Maliyeti	45.000					
Güvenlik İçin Tel Kafes	16.000					
Konveyör Maliyeti	15.000					
Beklenmedik ve Diğer	11.580					
Ham Madde Giderleri		1.081.267	1.081.267	1.081.267	1.081.267	1.081.267
İşçilik		180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
Tezgah Giderleri						
CNC Tamir ve Bakım Giderleri		20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
CNC Malzeme gideri (Torna Takımlar)		65.445	65.445	65.445	65.445	65.445
CNC Enerji gideri		22.091	22.091	22.091	22.091	22.091
Robot Giderleri						
Periyodik tamir -bakım		20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Enerji Gideri		2.416	2.416	2.416	2.416	2.416
Konveyör Giderleri						
Konveyör Enerji Gideri		129	129	129	129	129
Beklenmedik Diğer (%5)		69.567	69.567	69.567	69.567	69.567
ROBOT Amortisman		40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
NNA (VÖ)	-397.580	633.165	633.165	633.165	633.165	633.165
NBD (VÖ)	1.495.969,59 ₺					
VERGİ (%22)		-139.296	-139.296	-139.296	-139.296	-139.296
Amortisman		40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
NNA (VS)	-397.580,00 ₺	533.868 ₺	533.868 ₺	533.868 ₺	533.868 ₺	533.868 ₺
NBD (VS)	1.199.013,16 ₺					
İKO	132,3%					

Tablo 5.3, üretimin %76 arttığı ve satış fiyatının 15 TL/adet kabul edildiği durum içindir. Bu durumda yatırımın net bugünkü değeri (NBD) 1.119.013 TL ve İç karlılık oranı (İKO) ise %132,3 olarak bulunmuştur.

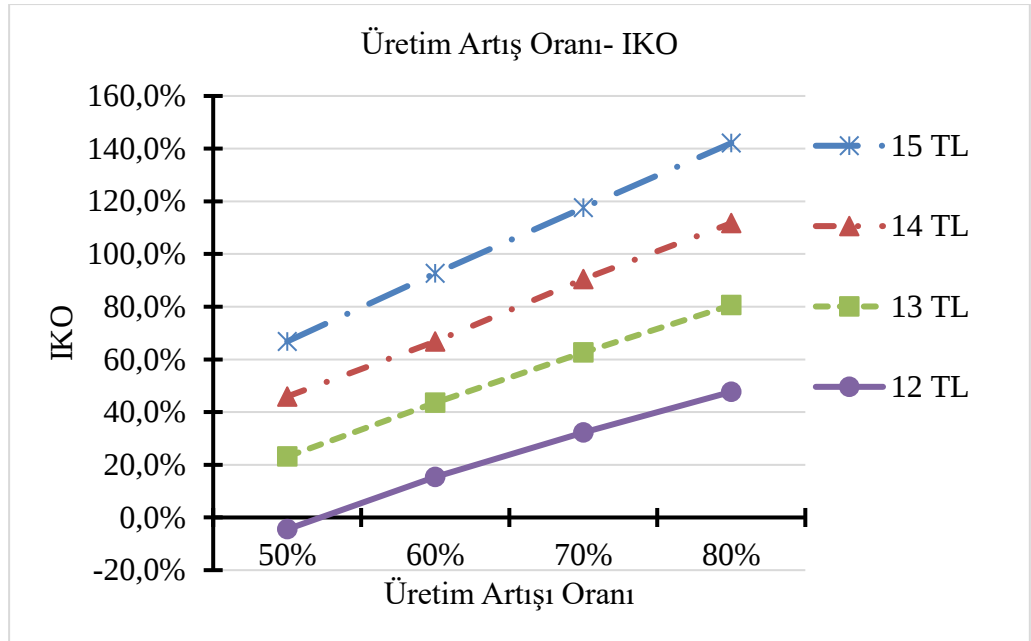
Net bugünkü değer analizi yapılan yatırım projesi için, geleceğe dönük olarak ürünün satış fiyatı, satış adeti, girdi maliyetleri gibi değerlerde yaşanabilecek olumsuz değişimler için, değişimlerin aralığını saptamak, etkilerini belirlemek ve bu gibi durumlara optimal çözümler hazır bulundurmak için projenin ekonomik duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi, farklı katma değerler ve değişen üretim artış oranına göre İKO ve NBD değişimini görme amaçlıdır. Katma değer değişimine bağlı olarak NBD ve İKO değişimleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Farklı Katma Değerlere Göre İKO ve NBD

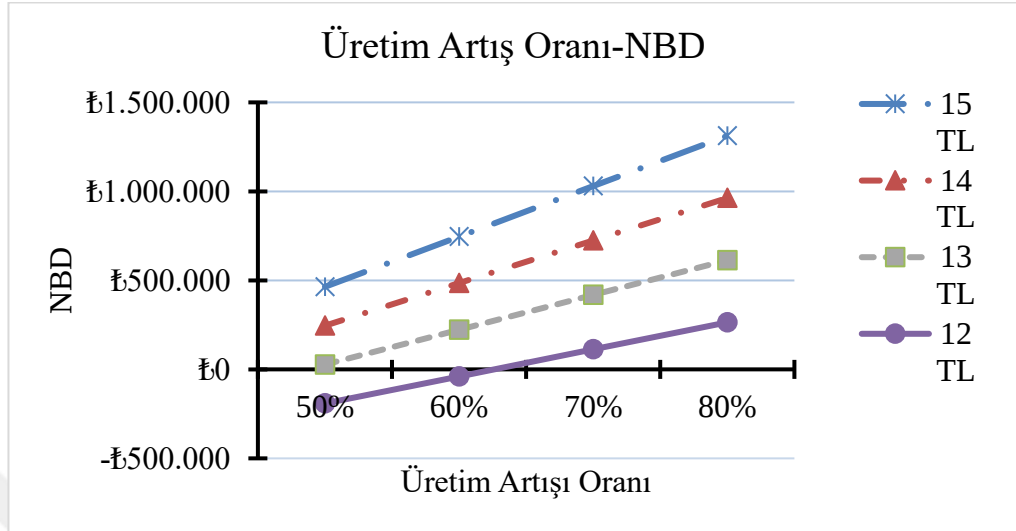
Şekil 5.1'den görüleceği üzere, bu yatırım katma değere çok duyarlıdır. Katma değerdeki %10'luk bir değişim, İKO ve NBD'ı neredeyse %40 oranında değiştirmektedir. Katma değer 12 TL/adet altına düştüğü durumlarda bu yatırım ekonomik olmaktan çıkmaktadır.

ROBOT yatırımının üretim miktarında yapacağı artış oranına bağlı olarak da NBD ve İKO değişimleri ayrıca farklı fiyatlar için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların grafikleri ise Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Üretim Artış Oranına Karşılık İKO Değişimi

Şekil 5.2’den görüleceği üzere, projenin üretim artış oranına duyarlılığı fiyat kadar değildir. Ancak artış oranının %50 olması durumunda fiyatın 13 TL’den fazla olması gerekmektedir.



Şekil 5.3. Üretim Artış Oranı ile NBD Arasındaki İlişki

Şekil 5.3’den görüleceği üzere, bu projenin ekonomik olması için en az %50 üretim artışı sağladığı zaman, fiyatında en az 14 TL civarında olması gerekmektedir. Aksi durumda proje ekonomik olmayabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, seri üretim yapan bir fabrikanın, üretimin bir operasyonunda kullandığı ekipmanın kapasitesinden yetersiz seviyede yararlanması sonucu oluşan zaman kayıpları ve buna bağlı meydana gelen dar boğaz problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında endüstriyel otomasyon sistemleri tasarlanmış ve endüstriyel robot teknolojisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tez konusu olan problemin çözümü gerçekleşmiştir.

Bu kapsamda zaman etüdü çalışması yapılmış, robotlu üretim sistemi yatırımının 5 yıllık zaman dilimi için ekonomik analizi yapılmıştır.

Bağıntıların kullanılması sonucu hesaplanmış olan gerekli gözlem sayısı dikkate alınarak yapılmış olan zaman etüdü çalışması neticesinde, yatırım yapılmadan önce operasyonun faaliyetleri tespit edilmiş ve yapılan incelemelerde bu faaliyetlerin tamamlanması sonucu operasyonun toplam çevrim süresi 132sn olarak ölçülmüştür. Operasyonun faaliyetleri incelendiğinde bu çevrim süresinin operatörün sorumlu olduğu görevlerden dolayı gereğinden fazla uzun sürdüğü ve buna bağlı olarak tezgâhın kapasitesinden tam olarak yararlanamayarak zaman israfı yaşandığı tespit edilmiştir. Operatörün sorumlu olduğu görevlere yardımcı olacak şekilde tasarlanmış olan otomasyon sistemleri sayesinde görevlerin endüstriyel robot ve operatör arasında paylaştırılması sonucunda yeni çevrim süresi 75sn olarak ölçülmüştür. Eski sisteme göre bir operasyonda kazanılan 57sn'lik iyileştirme sonucunda tezgâh kapasitesinin kullanım oranını %76 kadar arttırılabileceği ortaya konmuştur.

Temel sorun olan zaman israfının çözümünden sonra bu yatırımın ekonomik analizi yapılmıştır. Bu ekonomik analizde yatırım maliyetleri, işletme dönemi maliyetleri ve gelirleri detaylı olarak hesaplanarak net nakit akışı tablosu hazırlanmıştır. NNA tablosu kullanılarak, yatırımın net bugünkü değeri, iç karlılık oranı hesaplanmıştır. Yatırım sonucunda elde edilmiş olan %76'lık iyileştirmeye göre ürünün 15TL katma değer yaratacağı kabulü ile net bugünkü değeri (NBD) 1.119.013 TL ve İç karlılık oranı (İKO) ise %132,3 olarak bulunmuştur.

Ayrıca ürünün sağlayacağı katma değer farklı olması ve/veya üretimdeki artış oranında daha düşük olabileceği gibi hususları değerlendirmek için ekonomik duyarlılık analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda yatırımın ürünün sağlayacağı katma değere daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Katma değer 12TL olması durumunda iç karlılık oranının 21% gibi oldukça sınırdaki olduğu tespit edilmiştir. Bir

başka ifade ile katma değerin 12TL olduğu durumda üretimdeki artış 76% dan daha az olursa yatırım ekonomik olmaktan çıkmaktadır.

Teknoloji yatırımları hem maliyetli hem de riskli yatırımlardır. Bu nedenle teknolojik yatırımlar ile ilgili mutlaka ekonomik hassaslık analizleri yapılması gerektiği bu çalışma ile ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın devamında veya yapılması planlanan yeni uygulamalar için mevcut sisteme ilave olarak aşağıdaki çalışmalar denenebilir ve teknik analizleri mukayese edilerek karar verilebilir;

- Sistemin yerleşim düzeni için farklı yerleşim planları yapılarak hem fabrika içerisinde kullanılan alanı optimize edilebilir hem de robotun çalışma hareketi açısını minimuma indirerek sistemdeki hareket süresini kısaltılabilir.
- Kullanılan besleme ünitesinin namlu kapasitesi artırılarak, operatörlerin gün içinde bitmiş yüzeyi doldurmak için sistemi durdurma sayıları azaltılarak üretimde süreklilik sağlanabilir.
- Mevcut sistemde operatör bir önceki operasyondan tahta sandıklar içinde depolanmış namluları tek tek dizerek vakit kaybetmektedir. Bu tahta sandıklar yerine besleme ünitesi için portatif raflar tasarlanarak, önceki operasyondan dolu şekilde gelecek olan rafları boş olan raflar ile hızlıca değiştirerek vakit kazanılabilir.
- Robotun besleme ünitesinden namluları almasını kolaylaştırmak ve hızlandırmak için namluların diziliş açıları robotun bilek açısıyla day uyumlu olarak revize edilebilir ya da farklı parmak sistemleri tasarım çalışmaları yapılabilir.
- Mevcut sistemdeki dikey besleme ünitesi yerine yatay dikdörtgen tabla tasarımını deneyerek namlu besleme sayısını, robotun hareket alanlarını ve namluları alması için gereken süreler kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Akı, M. O. (2019). *Robot Bilimi Robotların Sınıflandırılması*. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 3-18 Trakya
- Albalasie, A. (2016). *Modelling, kinematics, dynamics and control design for under-actuated manipulators*. Doctoral Thesis, Birzeit University, 1-3 Berlin
- Anderl, R. (2014). *Industrie 4.0 Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. Darmstadt University of Technology, 1-3
- Asaolu, O. S. (2006). *On the Emergence of New Computer Technologies*. Department of Industrial & Information Engineering, University of Tennessee, 1-2 USA
- Arslan, U. (2019). *Fabrika Üretim Otomasyonunda Robotlu Simülasyon Uygulamaları ve Yatırım Analizleri*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 3-8 İstanbul
- Balakrishna, S. ve M. Thirumaran (2018). *A Framework for IoT Sensor Data Acquisition and Analysis*. Department of Computer Science and Engineering, Pondicherry Engineering College 1-3, India
- Bülbül, H. ve Güleş, H. (2004). *Türk Sanayi İşletmelerinde İleri İmalât Teknolojileri Kullanımı ve Performansa Etkisi*. ODTU Geliştirme Dergisi, 1-11
- B. J. G. Van der Kooij (2015). *The Invention of the Steam Engine*. Delft University of Technology, 42-87 Netherlands
- Çakır, K. (2017). *Akıllı Üretim Sistemlerinin Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, 19-29, İzmir
- Demirkazık, S., Özdemir, S., Özbey, E. (2019). *6 Eksenli Robot Kol ile Lazer Kesim ve Markalama İşlemi*. Bitirme Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 15-23, Karabük
- Dislitas, S. (2015). *Endüstriyel Robot Proglama Eğitimi İle Mesleki ve Teknik Eğitim Güçlendirilmesi*. Erpe-Meteg, 22-30
- Doğan, A. (2019). *Scara Robot Tasarımı, İmalatı ve Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 9-25, Şanlıurfa
- Duman, A. (2019). *Endüstri 4.0 ile akıllı üretimin işletme performansı üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı 38-46, Manisa
- El NAsar, Y.H., Karayel, D., S. S., & Atali, G. (2017). *Talashlı İmalatta Otomatik Capak Alma İşlemi İcin Endüstriyel Robot Kol Tasarımı*. In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science
- E, Goldscheim. (2012). *Shocking Pictures of Child Labor in America Less Than 100 Years Ago*. <https://www.businessinsider.com/shocking-pictures-of-child-labor-in-america-less-than-100-years-ago-2012-2> (Erişim tarihi: 25.10.2021)
- Gasparotto, A. ve Scelara, A. (2019). *From the Unimate to the Delta robot: the early decades of Industrial Robotics*. University of Udine Polytechnic Department of Engineering and Architecture 3-5, Italy
- Ghobakhloo, M. (2019). *Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing*. University of Hormozgan Department of Industrial Engineering, Minab Higher Education Center 2-8, Iran

- Gil Fuster, A. (2015). *Gripper design and development for a modular robot*. Technical University of Denmark Electrical Engineering 9-12, Denmark
- Gürgöze, G. Ve Türkoğlu, İ (2018). *Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 3-11
- Gürsoy, A. (2020). *Yalın Üretim Sisteminde Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Uygulamaları ile Süreç İyileştirme Analizi: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama*. Doktora Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı 20-26, Aydın
- Hashimoto, Y. (2018). *Half a century of Kawasaki Robotics: The Kawasaki Robot Story*. Kawasaki Heavy Industries, Ltd. 5-8, Japan
- Johannsen, G. (2006). *Human-Machine Interaction*. Department of Mechanical Engineering, University of Kassel 1-5, Germany
- Jung, K. ve Kulvatunyou1, B. (2017). *An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment*. 1National Institute of Standards and Technology 2-3, Gaithersburg
- Kagermann, H., Helbig, j. ve Wahlster, W. (2013). *Recommendtions for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Securing the future of German manufacturing industry*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group Forschungsunion.
- Karaduman, E. (2019). *İleri İmalat Teknolojilerinin Başarılı Bir Şekilde Uygulanmasında Etkili Olan Faktörler*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı 5-15, Sakarya
- Kingsford, Peter W. (2021). <https://www.britannica.com/biography/james-watt> (Erişim tarihi: 29.09.2021)
- Koçak, F. (2005). *İleri Üretim Teknolojilerinin Karlılık/Verimlilik Üzerine Etkileri*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı 3-11, Ankara
- Kusiak, A. (2017). *Smart Manufacturing Must Embrace Big Data*. <https://www.nature.com/articles/544023a> (Erişim tarihi: 18.03.2021)
- Kusiak, A. (2017). *Smart Manufacturing*. *International Journal of Production Research* 2-10, Los Angeles
- Külahlı, C. (2012). *İnegöl Orman Ürünleri Sanayi İşletmelerinde Üretim Stratejileri ve İleri İmalat Teknolojilerinin Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı 10-19, Trabzon
- K. Laird, (2017). *Understanding the Digital Transformation Called Industry 4.0: Manufacturing Today Requires More Brain Than Brawn*. *Plastics Engineering* 24-28
- Liu, Y., ve X. (2017). *Industry 4.0 And Cloud Manufacturing: AComparative Analysis*. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*
- Liu, Q., Zhang, H., Leng, J. ve Yan, D. (2021). *Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system*. *Journal of Manufacturing Systems* 2-3
- Mittal, S., Khan, M. ve Purohit, J (2019). *A smart manufacturing adoption framework for SMEs*. *International Journal of Production Research* 3-13
- Numanoğlu, M. (2019). *Robot Türleri ve Eğitsel Amaçlı Robotlar*. Ankara Üniversitesi Eğitim Birimleri Fakültesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Lisans Programı 4-20
- Oncul, M. (2020). *Determination of Problems in Transition to Smart Manufacturing Model and Suggestions for Enterprises*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı 15-

- Özsöy, C. E. (2018). *Endüstri 4.0 ve İstihdam Üzerindeki Potansiyel Etkisi*. Journal of Current Researches on Business and Economics 4-6
- Ramakrishna, S. ve T.C., Khong. (2016). *International Conference on Sustainable and Intelligent Manufacturing*. RESIM; 2016:14-17
- Sert, D., Yılmaz, Z., Ertunç, S. (2019). *Endüstri 4.0 Uygulamaları Mevcut Durumu ve Kimya Mühendisliğindeki Yeri*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı 2-16, Ankara
- Dafarra, S. (2020). *Predictive Whole-Body Control of Humanoid Robot Locomotion*. University of Genoa Robotics and Computer Engineering 10-12, Italy
- Tamer, H. (2010). *Kahramanmaraş ve Gaziantep ilinde faaliyet gösteren imalat işletmelerinin ileri üretim teknolojileri kullanım potansiyeli ve işletme performansına etkisi üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı 5-15, Kahramanmaraş
- Tomaş, M. (2019). *Konutta Yenilikçi Tasarım: Akıllı Evler Üzerine Bir Değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Mimari Tasarım Ana Bilim Dalı 11-19, İstanbul
- Tomar, R. (2021). *Information Communication Technology*. Department of Library and Information Science Master of Library and Information Science, Dr. Bhimrao Ambedkar University, India
- Zhang, Y. ve Tao, F. (2016). *Optimization of Manufacturing Systems Using the Internet of Things*. Academic Press. United States
- Web1, (2021), <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-nearly-doubled-globally> (Erişim tarihi: 10.01.2022).
- Web2, (2022), <https://www.ticaret.gov.tr/blog/sektor-haberleri/turkiye-otomasyon-ve-robot-kullanimi-acisindan-gelisime-acik-bir-ulke> (Erişim tarihi: 14.02.2022).
- Web3, (2021), <https://www.northernlifemagazine.co.uk/queen-street-mill> (Erişim tarihi: 07.11.2021).
- Web4, (2021), <https://digital.library.wayne.edu/item/wayne:CFAIEB01a019> (Erişim tarihi: 07.11.2021).
- Web5, (2021), <http://www.teamgiga.it/plc-scada/?lang=en> (Erişim tarihi: 09.11.2021).
- Web6, (2021), <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate> (Erişim tarihi: 09.11.2021).

ÖZGEÇMİŞ

Furkan KURUMAHMUT, Bafra Kızılırmak Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gemi İnşaatı Meslek Yüksek Okulundan 2010 yılında mezun oldu. Daha sonra 2015 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliğinden mezun olduktan sonra 2022 yılında OMÜ LEE Akıllı Sistemler Mühendisliği Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Ar-Ge Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri

Öğrenci no :18211314

ORCID ID :0000-0001-9088-5647

Yayınlar

1. Kurumahmut, F., Elevli, B. (2021) “*Methods Of Advanced Manufacturing Technology, Usage Areas, Their Effects On Produstion Performance*” 2. Uluslararası 1 Mayıs Sosyal Politikalar ve Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 2021. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)