

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ROBOTİK SİSTEMLER KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN TERMOS  
ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYONU, OTOMASYON UYGULAMASI VE  
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal YALÇIN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2023  
İSTANBUL

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ROBOTİK SİSTEMLER KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN TERMOS  
ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYONU, OTOMASYON UYGULAMASI VE  
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal YALÇIN  
210003006

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

AĞUSTOS 2023  
İSTANBUL



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 210003006 numaralı öğrencisi Erdal YALÇIN'ın tez çalışması, 27/07/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

- 1) Tez Danışmanı : Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**
- 2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Haydar ŞAHİN**
- 3) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sezgin ERSOY**

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Termos Üretim Hatlarında Montaj Dengeleme Problemi, Robotik Sistemlerin Simülasyonu Ve Robotik Sistemlerin Uygulanması başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. (27/08/2023)

Erdal YALÇIN



## ÖNSÖZ

Başta temizi hazırlarken bana yol gösteren ve tez danışmanlığımız yapan Gedik Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Savaş DİLİBAL'a saygılarımı sunar, teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam sırasında saha uygulama ve testleri konusunda yardımcı olan Çin Halk Cumhuriyeti'nde faaliyet gösteren Jackson Intelligent Machinery Co. Ltd. şirketine, benim de çalışmakta olduğum termos üretimi üzerine faaliyet gösteren 7T Steel Çelik şirketine bana olan destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Beni yetiştiren aileme, tezimi hazırlarken kendisini ihmal ettiğim halde bana her türlü desteği sağlayan, beni sürekli destekleyen eşim Sümeyra YALÇIN'a teşekkürlerimi iletir, tezimi biricik kızım Defne Deren YALÇIN'a armağan ederim.

Ağustos 2023

Erdal YALÇIN

---

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TERMOS VE ROBOTLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ .....</b>	<b>2</b>
2.1 Termos ve Termos Üretim Tesisleri .....	2
2.2 Robotlar, Tarihiçesi ve Sınıflandırılması .....	6
2.2.1 Robotların Tanımı ve Sınıflandırılması .....	6
2.2.2 Robotların Tarihsel Gelişimi .....	9
<b>3. TERMOS ÜRETİM HATLARINDA MONTAJ DENGELEME .....</b>	<b>11</b>
3.1 Montaj Dengeleme Problemi için Temel Kavramlar ve Bu Kavramların Termos Üretim Hattı için Tanımlanması .....	12
3.1.1 Proses .....	12
3.1.2 Proses Süresi .....	13
3.1.3 İstasyon .....	14
3.1.4 İstasyon zamanı .....	15
3.1.5 Çevrim Süresi .....	15
3.1.6 İstasyon Boş Zaman / Toplam Boş Zaman .....	16
3.1.7 Denge gecikmesi .....	17
3.1.8 Hat etkinliği.....	17
3.1.9 Düzgünlük indeksi .....	18
3.1.10 Öncelik diyagramı .....	19
3.1.11 Öncelik matrisi .....	19
3.1.12 Esneklik Oranı .....	19
3.2 Montaj Dengeleme Problemindeki Kısıtlar .....	20
3.3 Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaçlar .....	22
3.4 Montaj Hatlarının Sınıflandırılması .....	23
3.4.1 Yerleşim Şekline Göre Montaj Hatları .....	23
3.4.1.1 Doğrusal Hatlar .....	23
3.4.1.2 U Tipi Hatlar .....	23
3.4.1.3 Döngüsel Hatlar .....	24
3.4.1.4 Hibrit Montaj Hatları.....	24
3.4.2 Ürün Model Sayısına Göre Montaj Hatları .....	24
3.4.2.1 Tek Modelli Hatlar .....	24
3.4.2.2 Çok Modelli Hatlar .....	25
3.4.2.3 Karışık Modelli Hatlar.....	25
3.4.3 Montaj / Üretim Süreçlerine Göre Göre Montaj Hatları.....	26

3.4.3.1	Gecikmeli Montaj Hatları.....	26
3.4.3.2	Gecikmesiz Montaj Hatları.....	27
3.4.4	İşlem Süresine Göre Montaj Hatları .....	27
3.4.4.1	Deterministik Montaj Hatları.....	27
3.4.4.2	Stokastik Montaj Hatları.....	28
3.4.5	Otomasyon Seviyesine Göre Montaj Hatları .....	29
3.4.5.1	Otomatik Montaj Hatları .....	29
3.4.5.2	Manuel Montaj Hatları .....	30
3.5	Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Tanımlanması.....	31
3.6	Termos Hattı için Montaj Hattı Dengeleme Problem Çözümü .....	32
3.6.1	Uygulama amacı.....	32
3.6.2	Uygulama kapsamı .....	32
3.6.3	Uygulama yapılacak Makineler.....	32
3.6.4	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Analizi .....	38
3.6.5	Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Hat Analizi .....	39
3.6.6	Montaj Hattı Dengeleme İşlemi Analizi .....	42
<b>4.</b>	<b>TERMOS ÜRETİM HATTI İÇİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA SİMÜLASYONU VE TASARIM ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>43</b>
4.1	Simülasyon .....	43
4.1.1	Simülasyon Kriterleri.....	43
4.1.2	Simülasyonu yapılacak makinelerin belirlenmesi .....	43
4.1.3	Simülasyon Yapılması .....	45
4.1.3.1	Tek İstasyon Makinelerin Simülasyon Çalışması .....	45
Aşama	51	
4.1.3.2	Üç İstasyonlu Makinelerin Simülasyonu .....	52
4.1.4	Simülasyondan elde edilen veriler.....	67
4.2	Termos İçin Robotik Tutucu Tasarımı.....	69
4.2.1	Tutucunun Mühendislik Hesaplamaları.....	70
4.2.2	Bilgisayar Ortamında Tutucu Tasarımı .....	72
4.2.3	Tutucunun Bilgisayar Destekli Analizi.....	79
4.2.3.1	Termos Üretiminde Kullanılacak Borunun Statik Analiz Çalışmaları	80
4.2.3.2	Tutucu -1 Modelinin Statik Analiz Çalışmaları.....	92
4.2.3.3	Tutucu-2 Modelinin Statik Analiz Çalışmaları.....	96
<b>5.</b>	<b>ROBOTİK SİSTEMLERİN TERMOS ÜRETİM HATLARINA UYGULANMASI.....</b>	<b>100</b>
5.1	Uygulama Öncesi Hazırlık .....	100
5.1.1	Uygulama Yapılacak Makinelerin Belirlenmesi .....	100
5.1.2	Uygulama Yapılacak Tesisin Belirlenmesi.....	101
5.1.3	Uygulama Yapılacak Robotların Belirlenmesi .....	101
5.1.4	Uygulama Yapılacak Tutucunun Üretilmesi.....	103
5.2	Robotik Sistemlerin Uygulanması.....	103
5.3	Uygulama Sonuçları .....	103
5.3.1	Montaj Hattı Dengelemenin Uygulama Sonrası Değerlendirilmesi...104	
5.3.1.1	Çevrim Süresi .....	104
5.3.1.2	İş İstasyonu Sayısı .....	104
5.3.1.3	Hat Etkinliği .....	104
5.3.2	Tutucunun Uygulama Testleri.....	105
<b>6.</b>	<b>TERMOS ÜRETİM HATLARINDA KULLANILAN ROBOTLARIN İNSAN İŞ GÜCÜYLE KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>110</b>

6.1	Robot ve İnsan İş Gücünün Yatırım Maliyeti Karşılaştırılması. ....	111
6.2	Robot ve İnsan İş Gücünün İşletme Maliyeti Karşılaştırılması. ....	111
6.3	Robot ve İnsan İş Gücünün Üretim Kapasitesine Olan Etkisinin Karşılaştırılması. ....	112
6.4	Robot Ve İnsan İş Gücünün Bakım, Onarım Açısından Karşılaştırılması. ....	112
6.5	Robot Ve İnsan İş Gücünün Kaliteye Etkisinin Karşılaştırılması. ....	113
6.6	Robot Ve İnsan İş Gücünün İş Kazaları Açısından Karşılaştırılması. ....	113
<b>7.</b>	<b>ROBOTİK SİSTEMLERİN DİĞER TEKNİK FAYDALARI .....</b>	<b>115</b>
7.1	Dijital İkiz .....	115
7.2	Kestirimci Bakım.....	118
7.3	Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP).....	119
<b>8.</b>	<b>SONUÇ.....</b>	<b>121</b>
<b>9.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>123</b>
<b>EKLER.....</b>		<b>128</b>
	Ek A: Saha Uygulama Testleri Yapılan Makine Görselleri .....	128
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>		<b>133</b>



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Termos Üretim Hatlarında Alt Prosesler Listesi .....	13
Çizelge 3.2 Termos Üretim Hattı İçin Proses Adı ve Süreleri .....	13
Çizelge 3.3: Termos Üretim Hatlarındaki Prosesler ve Gerçekleştirildikleri İstasyonlar .....	14
Çizelge 3.4: İstasyon zamanları .....	15
Çizelge 3.5: İstasyon Boş Zamanı ve Toplam Boş Zaman .....	16
Çizelge 3.6: Örnek Termos Üretim Projesi Öncelik Matrisi .....	19
Çizelge 3.7: Dengeleme Öncesinde Makine Parkuruna Ait Bilgiler .....	38
Çizelge 3.8: Dengeleme Öncesinde Makine Parkuruna Ait Bilgiler-2 .....	38
Çizelge 3.9: Dengeleme İçin Eklenecek Makine Adetleri .....	39
Çizelge 3.10: Dengeleme Çalışması / Çevrim Süresi / Üretim Kapasitesi ve Verimlilik .....	40
Çizelge 3.11: Dengeleme Sonrası Bilgiler .....	41
Çizelge 3.12: Dengeleme Sonrası Karşılaştırma .....	42
Çizelge 4.1: Boru Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri .....	80
Çizelge 4.2: Boru Malzemelerinin Mukavemet Özellikleri .....	80
Çizelge 4.3: Boru Kalınlıklarına Göre Mesh Bilgileri .....	81
Çizelge 4.4: Malzeme ve Et Kalınlıklarına Göre Gerilim ve Yer Değiştirme Değerleri .....	91
Çizelge 4.5: Tutucu Parçalarının Fiziksel Özellikleri .....	93
Çizelge 4.6: Alüminyum (Alaşım 1060) Mukavemet Özellikleri .....	93
Çizelge 4.7: Tutucunun Mesh Bilgileri .....	94
Çizelge 4.8: Tutucu Parçalarının Fiziksel Özellikleri .....	97
Çizelge 4.9: Tutucunun Mesh Bilgileri .....	98
Çizelge 5.1: GSK Marka RB08 Model Robotun Teknik Özellikleri .....	102
Çizelge 5.2: Dengeleme Sonrası ve Saha Testleri Karşılaştırma .....	105
Çizelge 6.1: Robotik Sistemleri Olumlu ve Olumsuz Yönleri .....	110

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: James Dewar Tarafından İcat Edilen İlk Termos .....	2
Şekil 2.2: Termos İçin Alınan İlk Patent.....	3
Şekil 2.3: Termos Üretim Aşamalarının Sembolik Gösterimi.....	4
Şekil 2.4: “ <i>Programmed Artivle Transper</i> ” Başlığı ile Alınan Patent.....	9
Şekil 3.1: Öncelik Diyagramı.....	19
Şekil 3.2: Doğrusal Hatlar .....	23
Şekil 3.3: U Tipi Hatlar.....	23
Şekil 3.4: Boru Bölme Makinesi (Proses – I).....	33
Şekil 3.5: Boyun İşleme Makinesi (Proses – II).....	33
Şekil 3.6: Uç Kesme Makinesi (Proses – III).....	34
Şekil 3.7: Alt Şekillendirme Makinesi (Proses – IV).....	35
Şekil 3.8: Yuvarlama Makinesi (Proses – V).....	36
Şekil 3.9: Kenar Bükme Makinesi (Proses – VI) .....	36
Şekil 3.10: Diş Açma Makinesi (Proses – VII) .....	37
Şekil 3.11: Trimleme Makinesi (Proses – VIII).....	37
Şekil 4.1: Tek İstasyonlu Makinelerin Solidworks Programında Sembolik Çizimi .....	44
Şekil 4.2: Üç İstasyonlu Boyun İşleme Makinesinin Solidworks Programında Sembolik Çizimi .....	45
Şekil 4.3: Robodk Programında Makinelerin Konumlandırılması.....	46
Şekil 4.4: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 0 .....	47
Şekil 4.5: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 1 .....	47
Şekil 4.6: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 2 .....	48
Şekil 4.7: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 3 .....	48
Şekil 4.8: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 4 .....	49
Şekil 4.9: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 5 .....	49
Şekil 4.10: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 6 .....	50
Şekil 4.11: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 7 .....	50
Şekil 4.12: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 8 .....	51
Şekil 4.13: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 9 .....	51
Şekil 4.14: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 10 .....	52
Şekil 4.15: Robodk Programında Makinelerin Konumlandırılması.....	53
Şekil 4.16: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 0 .....	53
Şekil 4.17: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 1 .....	54
Şekil 4.18: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 2 .....	54
Şekil 4.19: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 3 .....	55
Şekil 4.20: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 4 .....	55
Şekil 4.21: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 5 .....	56
Şekil 4.22: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 6 .....	56
Şekil 4.23: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 7 .....	57
Şekil 4.24: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 8 .....	57

Şekil 4.25: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 9	58
Şekil 4.26: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 10	58
Şekil 4.27: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 11	59
Şekil 4.28: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 12	59
Şekil 4.29: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 13	60
Şekil 4.30: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 14	60
Şekil 4.31: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 15	61
Şekil 4.32: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 16	61
Şekil 4.33: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 17	62
Şekil 4.34: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 18	62
Şekil 4.35: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 19	63
Şekil 4.36: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 20	63
Şekil 4.37: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 21	64
Şekil 4.38: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 22	64
Şekil 4.39: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 23	65
Şekil 4.40: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 24	65
Şekil 4.41: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 25	66
Şekil 4.42: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 26	67
Şekil 4.43: Bölme Makinesi ve Robotun Bağlı Pozisyonları	68
Şekil 4.44: Boyun İşleme Makinesi ve Robotun Bağlı Pozisyonları	68
Şekil 4.45: Plastik Şekillendirme Hattındaki Makinelerin Bağlı Pozisyonları	69
Şekil 4.46: Boru Ağırlığının Tespit Edilmesi	71
Şekil 4.47: Sabit Noktaya Uzaklığa Göre Sehım Miktarı Grafiği	74
Şekil 4.48: Sabit Noktaya Uzaklığa Göre Sehım Miktarı Grafiği- 2	75
Şekil 4.49: Tutucu Tasarımı Çalışması- 1	75
Şekil 4.50: Tutucu Tasarımı Çalışması- 2	76
Şekil 4.51: Tutucu Tasarımı Çalışması- 3	76
Şekil 4.52: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Perspektif Görünüş)	77
Şekil 4.53: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Üst Görünüş)	77
Şekil 4.54: 180 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Perspektif Görünüş)	78
Şekil 4.55: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Üst Görünüş)	78
Şekil 4.56: Robot ve 90 Derece Açılı Tutucu	79
Şekil 4.57: Robot ve 180 Derece Açılı Tutucu	79
Şekil 4.58: Boruya Etkiyen Yayılı Yüklerin Gösterimi	81
Şekil 4.59: Mesh Yapıları	81
Şekil 4.60: 0,5mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı	82
Şekil 4.61: 0,5mm, C1010 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	82
Şekil 4.62: 1mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı	83
Şekil 4.63: 1mm, C1010 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	83
Şekil 4.64: 2mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı	84
Şekil 4.65: 2mm, C1010 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	84
Şekil 4.66: 0,5m, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı	85
Şekil 4.67: 0,5mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	85
Şekil 4.68: 1mm, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı	86
Şekil 4.69: 1mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	86
Şekil 4.70: 2mm, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı	87
Şekil 4.71: 2mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı	87
Şekil 4.72: 0,5mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı	88
Şekil 4.73: 0,5mm, AISI316 Yer Değiştirme Gerilme Dağılımı	88
Şekil 4.74: 1mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı	89

Şekil 4.75: 1mm, AISI316 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı .....	89
Şekil 4.76: 2mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı .....	90
Şekil 4.77: 2mm, AISI316 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı .....	90
Şekil 4.78: Et Kalınlığına Bağlı En yüksek Gerilim Grafiği.....	91
Şekil 4.79: Et Kalınlığına Bağlı En yüksek Yer Değiştirme Grafiği .....	92
Şekil 4.80: 90 derece açılı Gripper Simülasyon Parçaları .....	93
Şekil 4.81: 90 Derece Açılı Tutucuya Etkiyen Kuvvetler .....	94
Şekil 4.82: 90 Derece Açılı Tutucunun Mesh Yapısı.....	95
Şekil 4.83: 90 Derece Açılı Tutucunun Gerilme Dağılımı.....	95
Şekil 4.84: 90 Derece Açılı Tutucunun Yer Değiştirme Dağılımı .....	96
Şekil 4.85: 180 Derece Açılı Tutucunu Simülasyon Parçaları .....	96
Şekil 4.86: 180 Derece Açılı Tutucuya Etkiyen Kuvvetler.....	97
Şekil 4.87: 180 Derece Açılı Tutucunun Mesh Yapısı.....	98
Şekil 4.88: 180 Derece Açılı Tutucunun Gerilme Dağılımı.....	99
Şekil 4.89: 180 Derece Açılı Tutucunun Yer Değiştirme Dağılımı.....	99
Şekil 5.1: Makinelerin Test Edileceği Tesis.....	101
Şekil 5.2: Kullanılacak Robotun Görseli .....	102
Şekil 5.3: Üretilen Termos Gövdeleri .....	103
Şekil 5.4: Tutucu Aşama - 1.....	106
Şekil 5.5: Tutucu Aşama – 2.....	106
Şekil 5.6: Tutucu Aşama - 3.....	107
Şekil 5.7: Tutucu Aşama – 4.....	107
Şekil 5.8: Tutucu Aşama - 5.....	108
Şekil 5.9: Tutucu Aşama - 6.....	109
Şekil 6.1: Robot Yatırımları Sonucunda İşgücü Maliyetlerinde Tasarruf .....	112
Şekil A.1: Bölme Makinesi (Proses I) .....	128
Şekil A.2: Boyun İşleme Makinesi (Proses II).....	129
Şekil A.3: Uç Kesme Makinesi (Proses III) .....	129
Şekil A.4: Alt Şekillendirme Makinesi (Proses IV).....	130
Şekil A.5: Yuvarlama Makinesi (Proses V).....	130
Şekil A.6: Kenar Bükme Makinesi (Proses VI) .....	131
Şekil A.7: Diş Açma Makinesi (Proses VII) .....	131
Şekil A.8: Trimleme Makinesi (Proses VIII) .....	132
Şekil A.9: Termos Üretim Hattı .....	132

# **ROBOTİK SİSTEMLER KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN TERMOS ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYONU, OTOMASYON UYGULAMASI VE ANALİZİ**

## **ÖZET**

Termos son yıllarda daha popüler bir ürün haline gelmiş ve kullanımını giderek artmıştır. Ürünün yurtiçi pazar talebinin günden güne artması, Türkiye'nin iş gücü ve üretim teknolojileri avantajı, Türkiye'nin yurtdışı pazarlarına ulaşım kolaylığı gibi nedenlerle ülkemizde termos üretimi avantajlı hale gelmektedir. Bütün bunlar göz önüne alınarak yeni bir termos üretim fabrikası kurulmaya karar verilmiş olup, bu tez çalışmasında kurulacak olan bu tesisin üretim makinelerinden özellikle plastik şekillendirme diye tabir edilen borunun talaşlı ve talaşsız olarak çeşitli makinelerde işlendiği bölüm incelenmiştir.

Soğuk şekillendirme bölümündeki makineler için montaj hattı dengeleme problemi ele alınmış ve sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiştir. Dengeleme çalışmaları neticesinde eklenmesi gereken makineler tespit edilmiş ve parkurdaki makine sayılarına karar verilmiştir. Makine hattının teknik verileri, montaj dengeleme işlemi öncesi ve sonrasına göre hesaplanmış ve verilere karşılaştırılarak dengeleme işleminin işletmeye katacağı değer görülmüştür.

Belirlenen makine parkuru üzerinde robot hareketlerinin simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları kapsamında robot hareketleri iyileştirilmiştir. Ayrıca makinelerin ve robotların ideal konumları belirlenmiştir. Saha uygulama çalışmaları sırasında makinelerin konumları simülasyon çalışmasında elde edilen verilere göre ayarlanmıştır.

Robotik sistemlerde kullanılacak tutucuların tasarım parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelere göre tasarımları tamamlanmıştır. 2 farklı geometride tutucu tasarımı yapılarak, makine veya robotların fiziki kısıtlarına göre uygun tutucu seçimine olanak sağlanmıştır. Tasarımı yapılan tutucuların solidwork programının analiz modülü kullanılarak statik analizleri yapılmış ve statik olarak uygunluğu görülmüş, kullanılmasına onay verilmiştir.

Yapılan bütün bilgisayar çalışmaları hayata geçirilmiş, makineler, robotlar ve tutucular üretilmiştir. Bilgisayar ortamında hesaplanan ve elde edilen değerlere göre termos üretim hattının saha uygulamaları yapılmış ve numune termos üretimi gerçekleştirilmiştir. Makinelerin üretimi sonrasında saha testleri yapılarak, bilgisayardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve konu hakkında yorumlar yapılmıştır.

Termos üretim tesisine uyarlanan çalışmaların dışında robotik sistemleri diğer avantajları incelenmiştir. İnceleme kapsamında robotik sistemlerin insan iş gücü ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca robotik sistemler dijital ikiz, kestirimci bakım ve malzeme ihtiyaç planlaması konularında incelenmiş, literatür tarama çalışmaları yapılmış ve örnek uygulamalar anlatılmıştır. Bu konuların termos üretim tesisine uyarlanması yapılmamış fakat gelecekte termos üretim tesisi veya benzer farklı bir

Üretim tesisinde uygulanması için gerekli konular tespit edilmiş ve alt yapı oluşturması için çalışmalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Termos, Robotik Simülasyon, Tutucu Tasarımı, Statik Analiz, Dijital İviz.*



# **SIMULATION, AUTOMATION APPLICATION AND ANALYSIS OF THE VACUUM FLASK PRODUCTION LINE DEVELOPED USING ROBOTIC**

## **ABSTRACT**

The vacuum flask has become a more popular product in recent years and its use has gradually increased. Vacuum flask production in our country becomes advantageous due to reasons such as the increase in the domestic market demand of the product, Turkey's labor force and production technologies advantage, and Turkey's ease of access to foreign markets. Considering all these, it was decided to establish a new vacuum flask production factory, and in this thesis, the production machinery of this plant, which will be established, especially the part called plastic forming, where the pipe is processed in various machines with machining and chipless has been examined.

For the machines in the cold forming section, the assembly line balancing problem has been discussed and the results have been evaluated in detail. As a result of balancing studies, the machines that should be added were determined and the number of machines in the machine line was decided. The technical data of the machine line were calculated according to the before and after the assembly balancing process, and the value that the balancing process would add to the business was seen by comparing the data.

Simulation studies of robot movements were carried out on the determined machine line. The robot movements have been improved within the scope of simulation studies. In addition, the ideal positions of machines and robots have been determined. During the field application studies, the process of reducing the positions of the machines was adjusted according to the data obtained from the studies that has been gathered.

The design parameters of the grippers to be used in robotic systems have been determined and the designs have been completed according to these parameters. By designing the gripper in 2 different geometries, suitable gripper selection is enabled according to the physical constraints of the machine or robot. Static analyzes of the designed grippers were made using the analysis module of the solidwork program, and it was found that they were statically suitable and approved for use.

All the computer studies have been implemented and machines, robots and grippers have been produced. According to the values calculated and obtained in the computer environment, field applications of the vacuum flask production line were made and sample vacuum flask production was carried out. After the production of the machines, field tests were carried out, the results obtained from the computer were compared and comments were made on the subject.

Apart from the studies that has been adapted to the vacuum flask production facility, the other advantages of robotic systems were examined. Robotic systems has been compared with human labor and these comparisons were made within the scope

of the study. In addition, robotic systems have been examined on digital twin, predictive maintenance and material requirement planning, literature review studies have been made and sample applications have been explained. The adaptation of these subjects to the vacuum flask production facility has not been made, but the necessary subjects have been determined for their future application in a vacuum flask production facility or a similar different production facility, and studies have been carried out to create the infrastructure.

**Keywords:** *Vacuum Flask, Robotic Simulation, Gripper Design, Static Analysis, Digital Twin.*



## 1. GİRİŞ

Günümüz işletmelerinin çoğu atölye tarzı çalışma şartlarına sahip orta ölçekli işletmelerdir. Fakat son yıllarda büyük ölçekli firma yatırımları ve sayıları artış eğilimindedir [1]. Büyük ölçekli firmaların genelde emek yoğun işler yerine fabrikasyon üretim anlayışını benimsemiştir. Bu noktada robotlar, birbiri ile haberleşmeli sistemler, sıralı makineler, bulut sistemleri gibi Endüstri 4.0 kapsamındaki konular çok daha önemli duruma gelmiştir.

İşletmelerin büyük veya küçük ölçekli olduğu fark etmeksizin sahip oldukları personel, makine ve teçhizat gibi çeşitli kaynakları daha etkin kullanabilmeleri üzerine düşünülme, çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Firma rekabetlerinin giderek daha zor şartlarda yapılması da göz önüne alındığında etkinlik çalışmaları çok daha yüksek öneme sahip olmaya başlamıştır. Firmalar için bir işi sadece yapmış olmak rekabet için yeterli olmamakta, o işin daha verimli yapılması, çalışan personel, makine ve teçhizatların performansın artırılması gibi kavramların kullanımı artmıştır [2].

Seri üretim hatları, üretim işlemlerinin verimliliğini artırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu makalede, termos üretimi için kurulacak bir seri üretim hattı incelenecek, bu üretim hattında kullanılacak robotik sistemlerin bilgisayar ortamında çalışmaları yapılacak ve bu çalışmalar sonucunda robotik sistemlerin termos üretim hattına uygulanması incelenecektir.

## 2. TERMOS VE ROBOTLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ

### 2.1 Termos ve Termos Üretim Tesisleri

Termos, içindeki sıcak veya soğuk sıvının ısınıı koruyan ve taşınabilen bir kap olarak bilinir. Günümüzde sürahi, bardak, şişe tipi gibi çeşitli modelleri kullanılmaktadır. James Dewar tarafından gazların sıvılaştırılması çalışmaları sırasında sıvılaştırılmış gazları soğuk tutabilmek için 1892 yılında icat edilmiştir [3].



**Şekil 2.1: James Dewar Tarafından İcat Edilen İlk Termos**

Reinhold Burger bu buluşu ticari amaçlı kullanmak için 1907 yılında “Double walled vessel with a space for a vacuum between the walls” ismiyle patentini almıştır [4]. Patent başvurusu şekil 2.2’de gösterilmiştir [5].

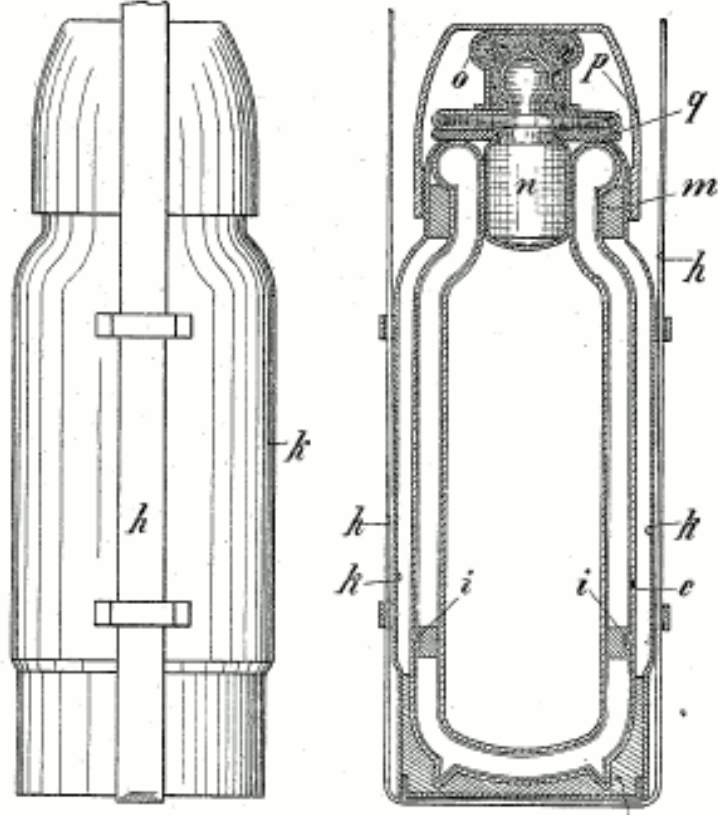
No. 872,795.

PATENTED DEC. 3, 1907.

R. BURGER.

DOUBLE WALLED VESSEL WITH A SPACE FOR A VACUUM  
BETWEEN THE WALLS.

APPLICATION FILED OCT. 23, 1906.



**Şekil 2.2: Termos İçin Alınan İlk Patent**

Termos genel olarak gövde ve kapaktan oluşur. Bazı modellerinde tutmak için kulp da olabilir. İçindeki malzemenin ısınıı koruyabilmek için yalıtım uygulanmalıdır. Yalıtım temel olarak çift katmanlı gövde ile sağlanır.

Termos üretimi çeşitli aşamalardan oluşur. Bu aşamalar sırasıyla plastik şekillendirme, yıkama, kaynak, vakum, elektroliz, polisaj, boyama, plastik enjeksiyon, montaj ve paketlemedir. (Şekil 2.2)



**Şekil 2.3: Termos Üretim Aşamalarının Sembolik Gösterimi**

Üretim aşamalarının başlangıcı olan plastik şekil verme aşamasında, rulo halindeki sac levhalar öncelikle boru haline getirilir. Sonrasında üretilmek istenilen termos model ve şekline göre uygun olan makinelerde işlenir ve borular genel olarak termos şeklini alır. Bu aşamada bir termos için iç ve dış olmak üzere iki adet boru üretilir. İç ve dış borunun üretimi genellikle iki hatta paralel olarak gerçekleşir. İç ve dış borular birbirinden farklı olsa bile üretim yöntemleri ve gereksinimleri aynı olduğundan birbirinin aynısı iki hat plastik şekil verme hattı kurulur. Hatlarda yer

alan makinelerin ayarları farklı yapılarak ve farklı kalıplar kullanılarak birbirine benzer fakat birebir aynı olmayan iç ve dış borular üretilir. Borular üretilmesi ile eş zamanlı olarak termosun alt parçası yuvarlak parçasının da üretilmesi gerekmektedir. Bu işlem için ise mekanik pres makinelerin kullanılır ve rulo şeklindeki levhalardan istenilen ölçülerde yuvarlak parçalar kesilir.

Plastik şekil verme ile üretilen iç boru, dış boru, iç alt parça ve dış alt parça bir sonraki işlem için kaynakhaneye iletilir. İç boru ve iç alt parça birbirine kaynatılarak, termosun iç haznesi oluşturulur. Bu hazne termosun hacmini belirler. Sonrasında dış boru ve dış alt parça da kaynatılarak termos şeklini almış olur. Kaynak işlemleri arasında isteğe bağlı olarak çeşitli yalıtım işlemleri de uygulanabilir.

Termos iç haznesinin iç yüzeyi elektroliz yöntemi ile temizlenir. Bu işlem sırasında satın alınan metalin üzerinde bulunan çeşitli kirlerin ve partiküllerin, plastik şekillendirme ve kaynak işlemleri sırasında makinelerden bulaşması muhtemel kirlerin ve yağların uzaklaştırılarak temizlenmesi ve termos iç haznesinin parlatılması amaçlanmaktadır.

Termosun içindeki sıvıyı içerken dudak ile temas eden boruların uç kısmı zımpara ile işlenir ve dudağa zarar vermeyecek hale getirilir. Ayrıca termosun dış kısmında yer alan kaynak izlerini de yok etmek ve termosu daha güzel bir görünüm kazandırmak için zımpara ve polisaj işlemleri uygulanır.

Termosların satın alım cazibesi artırılması için dış yüzeylerine boya veya çeşitli kaplama işlemleri uygulanır. Yaş boya, statik toz boya, suya daldırarak boyama, serigraf boyama gibi çeşitli boyama yöntemleri kullanılabilirdiği gibi boyama işlemi yapılmadığı, sadece polisaj yapılarak dış yüzeyin görselleştirildiği durumlar da olabilir.

Termosların temel parçalarından biri de kapaklarıdır. Kapağın görevleri termos içindeki sıvının dökülmesini engellemek, ısı yalıtımına katkı sağlamak, çeşitli renk ve desenlerle görselliği arttırmak ve kapak üzerindeki pipet, askı, kilit sistemi gibi çeşitli fonksiyonlar sağlamaktır. Kapakları üretim kolaylığı ve şekil çeşitliği açısından fayda sağladığı için plastik enjeksiyon yöntemleri ile üretilir. Fabrikanın plastik enjeksiyon bölümlerinde çeşitli adet ve özelliklerdeki plastik enjeksiyon

makineleri için termos kapakları ile birlikte kulp, alt taban ve gerekir ise çeşitli aksesuarlar üretilir.

Üretilen kapak, buton, sızdırmazlık parçaları ve çeşitli aksesuar, termos gövdesi üzerine montajı yapılır ve uygun şekilde paketlenerek depolayama veya sevkiyata hazır hale getirilir.

## **2.2 Robotlar, Tarihçesi ve Sınıflandırılması**

Robotlar, programlanabilir, otomatik veya uzaktan kontrol edilebilen karmaşık makinelerdir [6]. Bu makineler, mekanik ve elektronik sistemlere sahip olup çevrelerini algılamak için sensörler, kararlar almak için kontrol sistemleri ve bu kararlar doğrultusunda fiziksel eylemler gerçekleştirmek için aktüatörler kullanırlar.

### **2.2.1 Robotların Tanımı ve Sınıflandırılması**

Robotlar, insanların yerine belirli görevleri gerçekleştirmek, insanlara yardımcı olmak, çalışma süreçlerini otomatikleştirmek, tehlikeli veya zorlu ortamlarda görevleri üstlenmek, üretkenliği artırmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek amacıyla tasarlanır ve kullanılır. Endüstriyel, tıbbi, hizmet, tarım, keşif, eğitim ve birçok diğer alanlarda çeşitli amaçlarla kullanılabilirler [7]. Robotlar, tekrar eden işlemleri otomatik olarak gerçekleştirme, hassas hareketleri yapma, yük taşıma, veri analizi, görsel algılama, konuşma tanıma gibi yeteneklere sahip olabilirler.

Robotlar çok farklı kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalardan en temel olanı işlevsel özelliklerine göre sınıflandırılmasıdır.

- Endüstriyel Robotlar: Fabrika ortamında üretim ve montaj gibi görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmış robotlardır. Bu robotlar genellikle tekrar eden ve yüksek hassasiyet gerektiren işlemleri otomatik olarak gerçekleştirirler. Kolay programlanabilirlik, hızlı hareket yetenekleri ve güvenlik önlemleri endüstriyel robotların özellikleridir [8].
- Servis Robotları: Hizmet sektöründe kullanılan robotlardır. Örnek olarak, otellerde resepsiyonist robotlar, hastanelerde bakım robotları veya evlerde temizlik robotları verilebilir. Servis robotları genellikle insanlarla etkileşimde bulunabilme, nesnelere taşıma ve basit işleri yerine getirme yeteneklerine sahiptirler [9].

- Tıbbi Robotlar: Tıp alanında kullanılan özel amaçlı robotlardır. Cerrahi robotlar, minimal invaziv ameliyatları gerçekleştirmek için kullanılırken, rehabilitasyon robotları, fiziksel terapi süreçlerinde yardımcı olur. Tıbbi robotlar, hassas ve kontrollü hareket yetenekleriyle doktorlara yardımcı olur ve hastaların tedavi sürecini iyileştirmeyi hedefler [10].
- İnsansı Robotlar: İnsan benzeri görünüm ve davranışlara sahip olan robotlardır. Bu robotlar, insanların sosyal etkileşimde bulunabilecekleri, konuşabilecekleri ve belirli görevleri yerine getirebilecekleri karmaşık yapay zeka ve robotik sistemlere sahiptirler. İnsansı robotlar genellikle araştırma, eğitim ve eğlence alanlarında kullanılır.
- Askeri ve Keşif Robotları: Askeri operasyonlarda kullanılan robotlar, tehlikeli bölgelerde keşif yapma, güvenlik sağlama veya patlayıcıları etkisiz hale getirme gibi görevleri yerine getirirler. Bu robotlar genellikle uzaktan kontrol edilebilir veya otonom özelliklere sahip olabilirler [11].
- Eğitim Robotları: Eğitim amaçlı tasarlanmış robotlardır. Bu robotlar, öğrencilere bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik konularında pratik deneyimler sunmak için kullanılır. Öğrencilerin programlama becerilerini geliştirmelerine, problem çözme yeteneklerini artırmalarına ve yaratıcı düşünme becerilerini uygulamalarına yardımcı olurlar [12].
- Tarım Robotları: Tarım sektöründe kullanılan özel amaçlı robotlardır. Bu robotlar, bitki dikimi, sulama, gübreleme, ot alma, hasat gibi tarımsal işlemleri otomatize ederler. Tarım robotları, verimliliği artırırken insan emeği ve kaynak kullanımını azaltmaya yardımcı olur [13].
- Denizaltı Robotları: Denizaltı ortamında kullanılan robotlardır. Keşif, denizaltı haritalama, sualtı araştırmaları, denizaltı kurtarma gibi görevleri gerçekleştirmek için tasarlanırlar. Bu robotlar, sualtı koşullarında çalışabilme yeteneklerine sahip olup, deniz tabanını incelemek veya su altındaki yapıları onarmak gibi işlemleri gerçekleştirebilirler [14].
- Temizlik Robotları: Ev veya işyerlerinde temizlik işlemlerini otomatize eden robotlardır. Vakum robotları, pencereleri temizleyen robotlar, zemin temizleme robotları gibi çeşitli tipleri bulunur. Temizlik robotları, süpürme, silme, toz alma gibi görevleri yerine getirerek kullanıcılara zaman ve çaba tasarrufu sağlar [15].

- Uzak Robotları: Uzay keşfi ve araştırmaları için tasarlanmış robotlardır. Uzay araştırma robotları, yüzey keşfi, uzay araçlarının bakımı, uzay istasyonlarının inşası gibi görevleri yerine getirebilirler. Bu robotlar, uzaydaki zorlu koşullara dayanıklı olacak şekilde tasarlanır ve astronotların güvenliği ve görevlerin başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik rol oynarlar [16].

Robotları teknik olarak hareket mekanizmalarına göre sınıflandırmak gerekirse şu şekilde bir sınıflandırma yapılabilir.

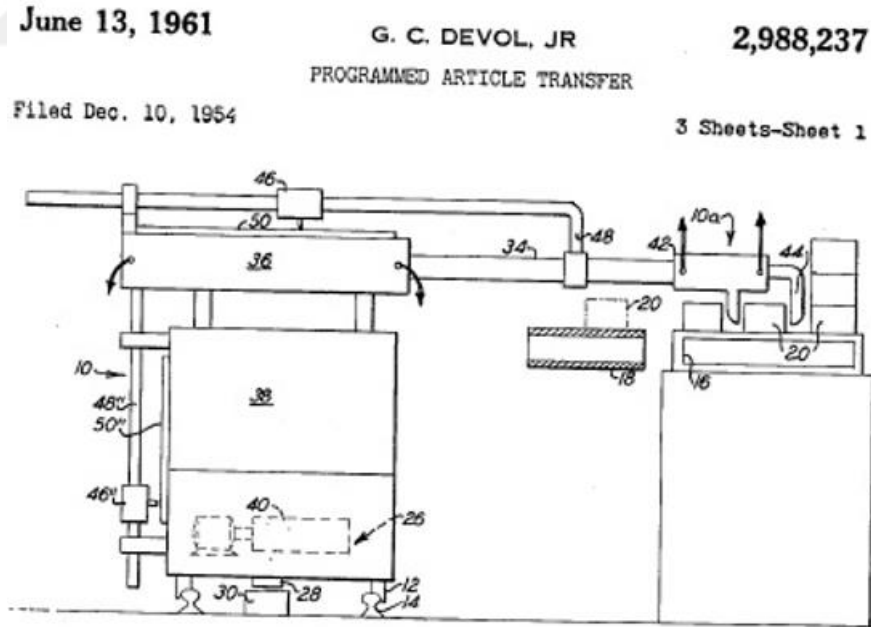
- Kartezyen Robotlar: Eksenleri lineer olarak hareket eden ve bu lineer eksenlerin birbirlerine dik açılarla birleştirilmesiyle oluşturulmuş endüstriyel robotlardır. Diğer robot mekanizmalarına göre daha basit yapıda oldukları için kontrol etmek, bakım yapmak daha kolaydır. İstifleme, pozisyonlama ve yüksek tekrar gerektiren işlerde sıklıkla kullanılırlar [17].
- Scara Robotlar: Scara kelimesi, Selective Compliance Assembly Robotic Arm kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Seçici Uyumlu Montaj Robot Kolu anlamında kullanılır. İnsan kollarına benzer eklemli yapıdadır. Yüksek hız, yüksek tekrar ve yüksek hassasiyet gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılır [18].
- Mafsallı Robotlar: Hareket kabiliyetleri insan koluna en benzer robot koldur. Robotun serbestlik derecesine göre çeşitli sayıda eklem bulunur ve bu eklemlerin bazıları yatay bazıları ise dikey eksen çalışır. Diğer robot sınıflarıyla karşılaştırıldığında daha karmaşık bir yapıda ve kinematik hesaplamaları daha zordur. Bundan dolayı programlanması da diğer tür robotlara göre daha zordur. Hareket yetenekleri sayesinde daha zor denebilecek hareketleri yapabilirler. Kaynak, montaj, polisaj, temizleme gibi daha fazla ve karmaşık hareket gerektiren proseslerde kullanılırlar [19].

Endüstri 4.0 kavramının oluşması ve yaygınlaşması ile beraber robotlar daha fazla ilgi çekmeye başlamış ve robotlar üzerine daha fazla ticari ve akademik çalışmaların sayısı artmıştır. Literatür taraması yapıldığında, tıp sektöründe robotların kullanılması üzerine çalışmalar [20], işbirlikçi robotlar üzerine çalışmalar [21], mobil robotlar üzerine çalışmalar [22], hizmet sektöründe robotların kullanılması üzerine [23] farklı çalışmalar bulunmuştur.

## 2.2.2 Robotların Tarihsel Gelişimi

Otomatik olarak görevleri gerçekleştirebilen bir makine olan robot fikri yüzyıllardır var olmasına rağmen, bugünkü robotların gerçek gelişimi 20. yüzyılın başlarında başladı. "Robot" kelimesi, Çekçe “ağır iş”, “hizmet eden”, “zorla çalıştırılan” anlamlarına gelen “robota” kelimesinden türemiştir [24] ve ilk kez 1920'de Çek yazar Karel Čapek tarafından "Rossum'un Evrensel Robotları" isimli tiyatro oyununda kullanıldı [25]. Oyun, bir fabrikada yaratılan yapay insanları ve insan yaratıcılarına karşı dönen köle olarak çalışmaya zorlanmalarını konu edindi.

İlk gerçek robot, 1954 yılında George Devol ve Joseph Engelberger tarafından geliştirildi [26]. Unimate adı verilen robot, bir montaj hattında çalışmak için tasarlandı ve kaynak yapma ve nesnelere hareket ettirme gibi temel görevleri yerine getirebiliyordu. Bu, otomasyon endüstrisinde bir devrim niteliğindedi ve daha gelişmiş robotik teknoloji için yol açtı. Ayrıca George Devol bu buluşu için “programmed artivle transfer” başlığı altında bir patent aldı [27] ve bu çalışmalarından sonra “robot kolların babası” sıfatıyla anılmaya başlandı. (Şekil 2.4) G. Devol'un almış olduğu patent şekil 2.4'te gösterilmiştir. [28]



Şekil 2.4: “Programmed Artivle Transper” Başlığı ile Alınan Patent

Sonraki on yıllarda, robot teknolojisi hızla ilerledi. Irati Zamalloa robotlardaki teknolojik gelişmeleri inceleyerek gruplandırdı ve robotları 4 nesil olarak şu şekilde tanımlamıştır [29].

Birinci Nesil Robotlar (1950-1967): Bu nesil, basit sensörlere ve sınırlı işlem gücüne sahip robotlardan oluşur. Genellikle, bu robotlar önceden belirlenmiş görevleri gerçekleştirebilen sabit programlama ile kontrol edilirler.

İkinci Nesil Robotlar (1968-1977): Bu nesil, daha gelişmiş sensörler, daha güçlü işlemciler ve daha gelişmiş programlama yetenekleri ile donatılmıştır. Bu robotlar daha esnek ve öğrenebilir hale gelirler.

Üçüncü Nesil Robotlar (1978-1999): Bu nesil, karmaşık sensörler, daha güçlü işlemciler ve daha gelişmiş programlama yetenekleri ile donatılmıştır. Bu robotlar, insan benzeri davranışlar sergileyebilirler ve öğrenme kabiliyetleri daha yüksektir.

Dördüncü Nesil Robotlar (2000-): Bu nesil, yapay zeka ve derin öğrenme teknolojilerinin kullanımı ile öne çıkar. Bu robotlar, karmaşık görevleri gerçekleştirebilirler, karmaşık problemleri çözebilirler ve daha özgürce hareket edebilirler.

Bugün, robotlar geniş bir uygulama alanında kullanılmaktadır. Üretimde, insan iş gücünün daha karmaşık ve yaratıcı işlere kullanılması için tekrarlayan görevleri hızlı, hassas ve doğru bir şekilde yerine getirebilirler. Sağlık hizmetlerinde, robotlar cerrahi işlemlere yardımcı olabilir ve yaşlı, engelli veya bakıma ihtiyacı olan hastaların bakımını sağlayabilirler. Ayrıca, uzay keşfi, askeri operasyonlar ve sayısız diğer alanlarda kullanılırlar.

Teknoloji ilerledikçe, robotların olasılıkları sınırsız hale gelmektedir. Yapay zeka ve makine öğrenmesinin geliştirilmesiyle, robotlar artık daha önce hiç olmadıkları kadar akıllı ve uyarlanabilir hale gelmişlerdir. Artık sadece önceden programlanmış görevleri yerine getirmeyle sınırlı olmamakta, yeni durumları öğrenip onlara uyum sağlama konusunda da yeteneklidirler.

### 3. TERMOS ÜRETİM HATLARINDA MONTAJ DENGELEME

Montaj üretim hattı, üretim sürecinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, bir ürünün üretimi önceden belirlenmiş bir dizi adımda gerçekleştirilir ve her adımda belirli bir işlem tamamlanır. Montaj hattı, çeşitli istasyonlardan oluşur ve her istasyonda belirli bir işlem gerçekleştirilir. Her istasyon, bir işlemi tamamlamak için gerekli ekipman, araçlar ve işçileri içerebilir. Ürün, montaj hattı boyunca bir konveyör veya taşıma sistemi kullanılarak hareket ettirilir.

Montaj hattının amacı, üretim sürecini hızlandırmak, verimliliği artırmak, üretim kalitesini iyileştirmek ve maliyetleri düşürmektir. Her işlem, belirli bir süre içinde tamamlanır ve montaj hattının genel hızına bağlı olarak üretim hattından belirli bir sürede bir ürün çıkar. Montaj hattı, karmaşık ürünlerin büyük miktarlarda seri üretimi için ideal bir uygulamadır. Bu yöntem, tekrarlanabilir işlemler ve optimize edilmiş iş akışı sayesinde verimlilik sağlar. Ayrıca, işçi eğitimini basitleştirir ve hataları en aza indirir.

Montaj hatlarında sıklıkla karşılaşılan bir kavram olan montaj hattı dengeleme işlemi kayıp süreleri azaltmak olarak tanımlanabilir. [30]. Dengeleme işlemi, iş istasyonları arasındaki iş yükünü eşit dağıtılmasını sağlar, istasyonlarında gecikmeleri ve aşırı yüklenmeleri engeller. Böylece üretim verimliliğini artırır. Verimliliğin artması, gecikmelerin azalması ve üretim hızlanması ile toplam üretim maliyetleri düşer. İş yükünün istasyonlara eşit dağıtılması ile hata olasılıkları azalır ve kalite artışı sağlar. İş yoğunluğunun dengelenmesi ve hata oranlarının azalması ile çalışan motivasyonunu olumlu etkiler. Model değişimlerine daha kolay adapte olunmasını sağlayarak üretim hattına esnekler kazandırır. Özetle montaj hattının dengelemesi, yüksek verim, daha düşük maliyetler, hızlı üretim ve esneklik gibi avantajlar sağlayarak şirketin karlılığını artırır.

Montaj hatlarında robotik sistemlerin önemi bilinse proseslerin tamamının robotlar tarafından yapılması yapılamamaktadır. Bu doğrultuda robot ve insan iş birliği kavramı önemli hale gelmektedir. Üretim hatlarında sadece insan çalıştırılması veya sadece robot çalıştırılması görece olarak daha kolay tasarlanabilir. Fakat

birbirinden çok farklı gereksinimleri olan robot ve insanın aynı üretim hattında birlikte çalıştırılması çok daha zor bir problemdir [31].

Bu bölümde termos hattı dengeleme problemi ele alınacak, gerekli teknik analizler yapılacak ve en uygun çözüme ulaşılmaya çalışılacaktır.

Termos üretim hatlarında var olan 8 makineden en kritik ve işleme süresi en uzun olan makine boyun işleme makinesidir. Bu makine paslanmaz çelik boruların boyun diye tabir edilen üst kısmını sıvama yöntemi ile işleyerek şekillendiren makinedir. İşlem süresi uzun olduğu için çevrim süresini belirleyici olan makinedir. Üretim kapasitesini arttırmak için ikinci bir hat almak yerine çevrim süresi uzun olan boyun işleme makinesinin hızlandırmak daha makul bir çözümdür. Bu makineyi hızlandırma için üreticiler iki, üç ve dört istasyonu makine çözümleri geliştirmiştir. Böylece makul bir maliyet ile hat üretim kapasitende ciddi oranda artışlar sağlanmıştır.

Ele alınan montaj dengeleme probleminde boyun işleme makinesinin iki, üç veya dört istasyonlu olması durumunda elde edilecek sonuçlara karşılaştırılacak ve en verimli sonuç üzerinden tartışılacaktır. Bunun için her bir adımda üç farklı senaryo için de hesap ve gerekli işlemler yapılacaktır.

### **3.1 Montaj Dengeleme Problemi için Temel Kavramlar ve Bu Kavramların Termos Üretim Hattı için Tanımlanması**

Montaj hattı dengeleme problemlerini çözmek için öncelikle bazı temel kavramları açıklamak ve bu kavramları uygulanacak termos üretim hatları için hesaplamak ve belirlemek gereklidir.

#### **3.1.1 Proses**

Bir üretim hattında yapılması gereken işlerin en küçük birimidir. Bir prosesin belirlenmesi, iş istasyonunun sorumluluğunu ve yapması gereken işi tanımlamayı içerir. Proses belirleme süreci, montaj hattı dengelemesinin ilk adımıdır. Bu adımda, montaj sürecindeki iş istasyonları analiz edilir ve her bir istasyonun yapması gereken prosesler belirlenir. Proseslerin doğru bir şekilde belirlenmesi, montaj hattı dengelemesinin etkin bir şekilde yapılabilmesi için önemlidir. Bu, iş istasyonlarının

rollerini netleştirir ve her bir istasyonun montaj sürecindeki iş yükünün doğru bir şekilde tahsis edilmesini sağlar [32].

Termos üretim hatlarındaki alt proseslerin listesi Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1 Termos Üretim Hatlarında Alt Prosesler Listesi**

No	Proses Adı
1	Boru Bölme (P-I)
2	Boyun İşleme (P-II)
3	Boru Uç Kesme (P-III)
4	Boru Alt Şekillendirme (P-IV)
5	Boru Üst Kenar Yuvarlama (P-V)
6	Boru Üst Kenar Bükme (P-VI)
7	Diş Açma (P-VII)
8	Kenar Fazlalıklarını Kesme (P-VIII)

### 3.1.2 Proses Süresi

Bir prosesin tamamlanabilmesi için gereken süredir. Bu süre, insan veya robot olarak kullanılan iş gücü kaynağının belirli bir süreci tamamlaması, ekipmanın kullanılması veya işlemlerin gerçekleştirilmesi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Doğru proses süreleri, montaj hattının etkin bir şekilde yönetilmesi ve performansının optimize edilmesi için önemlidir.

Termos üretim hatlarında termos gövdesini üretmek için gerekli prosesler ve süreleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2 Termos Üretim Hattı İçin Proses Adı ve Süreleri**

No	Proses Adı	Proses Süresi (sn)
1	Boru Bölme (P-I)	4
2	Boyun İşleme (P-II)	28
3	Boru Uç Kesme (P-III)	4
4	Boru Alt Şekillendirme (P-IV)	5
5	Boru Üst Kenar Yuvarlama (P-V)	8
6	Boru Üst Kenar Bükme (P-VI)	6
7	Diş Açma (P-VII)	9
8	Kenar Fazlalıklarını Kesme (P-VIII)	4
9	Toplam Proses Süresi	68

TPS: Toplam proses süresi

N: Montaj hattındaki istasyon sayısı

$t_i$ : i numaralı prosesin süresi

$$TGS = \sum_{i=1}^N (t_i) \quad (3.1)$$

$$TGS = 68 \text{ sn}$$

### 3.1.3 İstasyon

Bir montaj hattındaki prosesler, çeşitli kısıtlar göz önünde bulundurularak istasyon adı verilen bölümlerde gerçekleştirilir. İstasyonlar, üretim sürecinin farklı aşamalarını temsil eden ve proseslerin tamamlandığı noktalarlardır. Her istasyon, sırasıyla işin tamamlanması ve ürünün montaj hattı boyunca ilerlemesi için bir sonraki istasyona aktarılmasını sağlar. İstasyonlar arasındaki iş yükü ve görev dağılımı, işin akışının optimize edilmesi ve verimliliğin artırılması için önemlidir.

Termos üretim hatları için prosesleri gerçekleştirecek iş istasyonlarının/makinelerin isimleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3: Termos Üretim Hatlarındaki Prosesler ve Gerçekleştirildikleri İstasyonlar**

No	Proses Adı	İstasyon Adı
1	Boru Bölme	Bölme Makinesi
2	Boyun İşleme	Boyun İşleme Makinesi
3	Boru Uç kesme İşlemi	Uç Kesme Makinesi
4	Boru Alt Şekillendirme İşlemi	Alt Şekillendirme Makinesi
5	Boru Üst Kenar Yuvarlama İşlemi	Yuvarlama Makinesi
6	Boru Üst Kenar Bükme İşlemi	Kenar Bükme Makinesi
7	Diş Açma İşlemi	Diş Açma Makinesi
8	Kenar Fazlalıklarını Kesme İşlemi	Trimleme Makinesi
9	Toplam İstasyon Sayısı	8

### 3.1.4 İstasyon zamanı

Bir istasyonda tamamlanması gereken bütün proseslerin sürelerin toplamı, istasyon zamanını oluşturur.

Termos üretim hattında yer alan her bir istasyon için proses süreleri aşağıdaki Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Her bir istasyona bir adet proses tanımlandığı için proses ve istasyon süreleri eşit çıkmaktadır.

**Çizelge 3.4: İstasyon zamanları**

Sıra No	İstasyon Adı	İstasyon Zamanı (sn)
1	Bölme Makinesi	4
2	Boyun İşleme Makinesi	28
3	Uç Kesme Makinesi	4
4	Alt Şekillendirme Makinesi	5
5	Yuvarlama Makinesi	8
6	Kenar Bükme Makinesi	6
7	Diş Açma Makinesi	9
8	Kenar Fazlalıklarını Kesme Makinesi	4
9	Toplam İstasyon Zamanı	68

### 3.1.5 Çevrim Süresi

Tekrarlı işlerde iki tekrar arasındaki süreye çevrim süresi denir. Montaj hatları için ardışık olarak işlenen iki ürün arasında geçen süreyi ifade eder ve işlem süreleri farklı olsa bile hat içerisindeki bütün makineler için bu süre çevrim süresi olarak kabul edilir. Çevrim süresi, iş istasyonunun verimliliğini ve üretkenliğini yansıtır. Doğru çevrim süreleri belirlemek, montaj hattı dengelemesinin başarılı bir şekilde yapılabilmesi ve iş istasyonları arasında dengeli bir iş yükü dağılımının sağlanabilmesi için önemlidir.

Termos üretim makineleri için çevrim süresi işlem süresi en uzun olan boyun işleme prosesinin süresi kadar, yani 28 saniyedir. Termos hattı için yapılacak dengeleme işleminde ve çevrim süresi belirleme işleminde robot hareketleri ihmal edilmiştir. Bu çevrim zamanı verisine göre hesaplanan üretim kapasitesi aşağıdaki verilmiştir. Üretim kapasitesi günde 1 vardiya 8 saat olarak çalışacak şekilde hesaplanmıştır. (3.2)

ÜK(sa): Saatlik üretim kapasitesi

C : Çevrim süresi (saniye / adet)

ÜK(g) : Günlük üretim kapasitesi. Günde 1 vardiya 8 saat çalışacağı varsayılmıştır.

$$\text{ÜK(sa)} = \frac{1}{C} \times \frac{60 \text{ sn}}{dk} \times \frac{60 dk}{sa} \quad (3.2)$$

$$= \frac{1}{28} \times \frac{60 \text{ sn}}{dk} \times \frac{60 dk}{sa} = 128 \text{ adet/saat}$$

$$\text{ÜK(g)} = \text{ÜK(sa)} \times \frac{8 \text{ sa}}{\text{gün}} \quad (3.3)$$

$$= 128 \times \frac{8 \text{ sa}}{\text{gün}} = 1024 \text{ adet/gün}$$

### 3.1.6 İstasyon Boş Zaman / Toplam Boş Zaman

İstasyon boş zamanı, bir iş istasyonunun belirli bir zaman diliminde gerçekleştirdiği proses süresinden daha kısa bir süreyle çalışması durumunda ortaya çıkar. İstasyon boş zamanı, verimsizlik veya beklemlerin bir göstergesi olabilir. Bütün istasyonların boş zamanlarının toplamı toplam boş zaman olarak tanımlanır. Montaj hattı dengelemesinde, istasyon boş zamanlarının minimize edilmesi ve iş istasyonlarının sürekli olarak verimli bir şekilde çalışması hedeflenir.

Termos üretim projedeki her bir istasyonun boş zamanı ve buna bağlı olarak toplam boş zaman aşağıdaki Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5: İstasyon Boş Zamanı ve Toplam Boş Zaman**

Sıra No	İstasyon Adı	Çevrim Süresi (sn)	İstasyon Zamanı (sn)	İstasyon boş Zamanı (sn)
1	Bölme Makinesi	28	4	24
2	Boyun İşleme Makinesi		28	0
3	Uç Kesme Makinesi		4	24
4	Alt Şekillendirme Makinesi		5	23
5	Yuvarlama Makinesi		8	20
6	Kenar Bükme Makinesi		6	22
7	Diş Açma Makinesi		9	19
8	Trimleme Makinesi		4	24
9	Toplam		68	156

TBZ: Toplam istasyon boş zamanı

$$TBZ = \sum_{i=1}^N (C - t_i) \quad (3.4)$$

$$TBZ = 156 \text{ sn}$$

### 3.1.7 Denge gecikmesi

Bir montaj hattındaki ürün için toplam boş zamanın, ürünün işlenmesi için harcanan toplam zamana oranı denge gecikmesi denir. Hat üzerindeki kayıp zamanı oransal olarak ifade eder ve verimlilik ölçütü olarak kullanılabilir. İdeal hatlarda sıfırdır. Dengele işlemi yapılmış hatlarda sıfıra yaklaşır [33].

Örnek termos üretim hattı projesinde denge gecikmesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. (3.5)

DG: Denge gecikmesi (%)

$$DG = \frac{C - C^*}{C} \times 100 \quad (3.5)$$

$$= \frac{n \cdot C - \sum_{i=1}^N (t_i)}{n \cdot C} \times 100 \quad (3.5a)$$

$$= \frac{n \cdot C - TGS}{n \cdot C} \times 100 \quad (3.5b)$$

$$= \frac{8 \times 28 - 68}{8 \times 28} \times 100$$

$$= \% 69,6$$

### 3.1.8 Hat etkinliği

Montaj hattındaki toplam proses zamanını yani ürüne işlem yapılan sürelerinin toplamının ürünün hat içinde geçirdiği zamana oranına hat etkinliği denir. Verimlilik kriteri olarak değerlendirilebilir. İdeal hatlar için istasyonlarda boş zaman olmamakta, ürünün hat içinde geçirdiği zamanın tamamında işlem yapılmaktadır. Bu hatlarda hat etkinliği 100, denge gecikmesi 0'dır [34].

Örnek termos üretim hattı projesinde hat etkinliği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. (3.6)

HE: Hat etkinliği (%)

$$HE = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i)}{n \times C} \times 100 \quad (3.6)$$

$$= \frac{TGS}{n.C} \times 100 \quad (3.6a)$$

$$= \frac{68}{8 \times 28} = 0,304$$

$$= \%30,4$$

### 3.1.9 Düzgünlük indeksi

Dengeleme probleminde istasyonlara iş yükünün eşit bir şekilde dağılımının bir ölçütüdür. En küçük kareler yöntemi ile hesaplanır. Her bir istasyon için, en büyük istasyon süresi ile arasındaki farkların kareleri toplanır. Elde edilen değerlerin karekökünün toplam süreye oranı hesaplanarak düzgünlük indeksi elde edilmiş olur. Mükemmel dengelenmiş hatlarda düzgünlük indeksi değeri sıfırdır [35].

Termos hattı projesinde düzgünlük indeksi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. (3.7)

DI :Düzgünlük indeksi

$t_{maks}$  : İstasyonlardaki en büyük işlem süresi

$t_i$  : Herhangi bir istasyondaki proses süresi

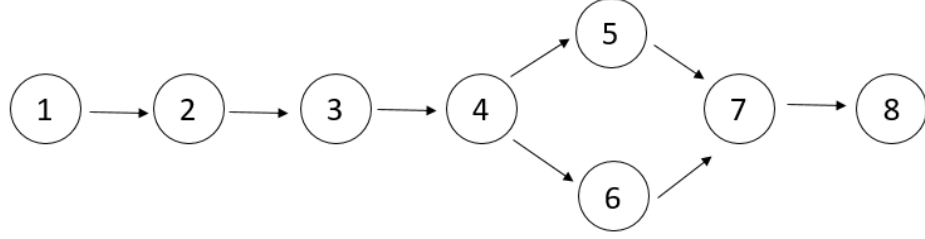
$$DI = \frac{\sqrt{\sum (t_{maks} - t_i)^2}}{n \times (t_{maks})} \times 100 \quad (3.7)$$

$$= \frac{\sqrt{3502}}{8 \times 28} \times 100$$

$$= \%26$$

### 3.1.10 Öncelik diyagramı

Var ise prosesler arasında öncelik ilişkilerini ifade eder. Termos hattı üretim projesi için öncelik diyagramı aşağıda şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Öncelik Diyagramı

### 3.1.11 Öncelik matrisi

Prosesler arasındaki öncelik ilişkilerinin ifade edildiği matristir. Ardıl iş öğelerinde belirtilen istasyonlar, öncül iş öğeleri tarafında belirtilen iş öğelerini takip ediyorsa matrisin ilgili elemanı “1” değerini aksi durumda “0” değerini alır.

Örnek termos üretim projesi için öncelik matrisi aşağıdaki Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6: Örnek Termos Üretim Projesi Öncelik Matrisi

	Ardıl İş Öğeleri								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Öncül İş Öğeleri	-	1	1	1	1	1	1	1	1
1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
2		-	1	1	1	1	1	1	1
3			-	1	1	1	1	1	1
4				-	1	1	1	1	1
5					-	0	1	1	1
6						-	1	1	1
7							-	1	1
8								-	1

### 3.1.12 Esneklik Oranı

Bir Montaj hattında, kısıtlar göz önüne alınarak elde edilebilen uygun sıraların sayısının ölçüsüne esneklik oranı denir. Bu oran öncelik diyagramında bütün makineleri sıralı olması durumunda sıfıra (0), hiçbir öncelik ilişkisi olmayan diyagramlar da ise 1’e eşittir [36].

Termos hattı projesinde esneklik oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. (3.8)

E: Esneklik Oranı

N: Toplam istasyon sayısı

Y: Öncelik matrisinde sıfır (0) değerine sahip göz sayısı

$$\begin{aligned} E &= \frac{2.Y}{N(N-1)} \times 100 & (3.8) \\ &= \frac{2 \times 1}{8 \times (8-1)} \times 100 \\ &= \%3,5 \end{aligned}$$

### 3.2 Montaj Dengeleme Problemindeki Kısıtlar

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde bir takım kısıtlar bulunmaktadır. İş istasyonlarının eşit yük altında çalışması, kesintisiz iş akışının sağlanması ve optimum verimlilik hedeflenirken, bu kısıtların etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde bu kısıtların dikkate alınması ve uygun stratejilerin kullanılması önemlidir. Karşımıza çıkabilecek kısıtların genel listesi aşağıda verilmiştir.

- Bütün proseslerin süreleri bellidir ve bilinmektedir.
- Her bir alt proses montaj hattındaki istasyonlara atanmalıdır ve prosesler iki farklı istasyona atanamaz.
- Prosesler arasındaki öncelik ilişkileri vardır ve bilinmektedir.
- Proseslerin bölünmesine izin verilmemektedir.
- Bir istasyona atanan proseslerin işlem sürelerinin toplamı, çevrim süresinden daha büyük olamaz.
- Prosesler istasyonlara atanırken öncelik ilişkileri dikkate alınmalıdır. Önceliğe sahip proseslerin atanması yapılmadan diğer prosesler atanamaz.
- İstasyonların fiziki konumları belirli şartlara göre belirlenmiştir. (İstasyon ebatları, fabrika içindeki forklift yolu, kolon ve çeşitli fiziksel engeller gibi.)
- İstasyonlar arasındaki ara stoklara izin verilmemektedir.

- Her bir istasyonda sadece bir iş gücü kaynağı çalışabilir, bu kaynak robot veya insan olabilir. (Bazı üretim hatları için geçerli değildir.)
- İş istasyonunun, üretilecek ürünün ve işi yapacak operatör veya robotun konumları arasında bazı kısıtlamalar olabilir. Bir operatör iki farklı istasyona iki farklı işi yapması gerekebilir veya istasyondaki bir işi iki farklı operatör yapması gerekebilir.
- İnsan-robot operatör maliyetleri bellidir ve bilinmektedir.
- İnsana ve robotlara ait olan görevler bilinmektedir.
- Tüm robotlar herhangi bir sınırlama olmaksızın çalışmaktadır.
- Bir üretim hattı, kesinlikle olması gereken ve değiştirilmesi mümkün olmayana istasyon veya ekipmanlar olabilir. Bu duruma sabit donanım kısıtı denir. Bu kısıt, işlerin istasyonlarına atanmasındaki esnekliği azaltır.
- Bir üretim hattında, birbirine benzer işler yapılabilir. Benzer işlerin verimliliği arttırmak için üretim süreleri de göz önüne alınarak aynı iş istasyonlarına atanması istenebilir. Bu durum da dengeleme problemlerinde karşımıza çıkan bir kısıttır.
- İstasyonların ayar süreleri ve ürünlerin elleçleme süreleri ihmal edilmiştir.
- Üretim sırasındaki zorunlu veya operasyonel duruşlar ihmal edilmiştir.

Termos hattı için kısıtlar ve kabul edilen varsayımlar aşağıdaki gibidir.

- Bütün proseslerin süreleri bellidir ve bilinmektedir.
- Montaj hattındaki bütün prosesler istasyonlara atanmıştır.
- Prosesler arasındaki öncelik ilişkileri belirlenmiştir.
- Bir istasyona atanan proseslerin işlem sürelerinin toplamı, çevrim süresinden daha büyük olamaz.
- İstasyonların ve fabrikanın fiziki durumları ihmal edilmiştir.
- Her istasyonda sadece bir robot çalıştırılacaktır.
- İnsan-robot operatör maliyetleri ihmal edilmiştir.
- Termos üretim hattında kullanılacak robotlar zaman veya fiziksel bir kısıtlama olmadan çalışmaktadırlar.
- İstasyonların ayar süreleri ve ürünlerin elleçleme süreleri ihmal edilmiştir.
- Üretim sırasındaki zorunlu veya operasyonel duruşlar ihmal edilmiştir.

### 3.3 Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaçlar

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümleri hattın fiziksel ve operasyonel yapısına göre, üretilecek ürünün niteliksel ve niceliksel özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Problem çözümünde asıl amaç, üretim verimini arttırmak ve üretim maliyetlerini düşürerek karlılığı arttırmaktır. Problemin bütün girdileri değerlendirilerek en uygun çözümün bulunması hedeflenir [37].

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde ulaşılması istenilen hedefler aşağıdaki gibidir.

- Montaj hattındaki istasyon sayısını azaltmak, mümkün olan en az sayıya ulaşmak,
- Üretim hattındaki insan veya robot iş gücü kaynağını en aza indirmek.
- Bütün fiziksel ve operasyonel kısıtları mümkün olduğunda iş istasyonlarına dağıtılması,
- Alt proses işlemlerinin mümkün olan en kısa zamanda yapılması,
- Kapasite kullanımını optimize etmek,
- Malzeme akışının düzenlenmesi,
- Kayıp zamanların en aza indirilmesi,
- Üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi,
- İşgücü verimliliğini arttırmak.

Yukarıdaki genel maddelerin yanında montaj hattı problemlerini çözümünde iki adet temel hedef vardır. Bunlar gerekli olan en az personel sayısını veya en düşük çevrim süresini tespit etmektir. En düşük personel sayısını tespit etmek için gerekli çevrim süresi ve öncelik kısıtları tespit edilmeli ve belirlenmelidir. En düşük çevrim süresini tespit etmek için ise personel sayısı, görev zamanı ve öncelik kısıtları tespit edilip belirlenmelidir.

Montaj hatlarında üretim maliyetleri istasyon sayısına ve istasyonlarda çalışan nitelikli insan veya robot işgücü maliyetleri ile doğru orantılıdır. Maliyetlerin azaltılması için yukarıda sayılan diğer hedeflerin yerine getirilmesi ile gerekmektedir.

### 3.4 Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj hatları, yapılarına, iş süreçlerine veya işlevlerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. İşte montaj hatlarının yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden bazıları:

#### 3.4.1 Yerleşim Şekline Göre Montaj Hatları

İş istasyonlarının fabrika içerisinde fiziki olarak yerleştirilmesine göre yapılan sınıflandırma şeklidir.

##### 3.4.1.1 Doğrusal Hatlar

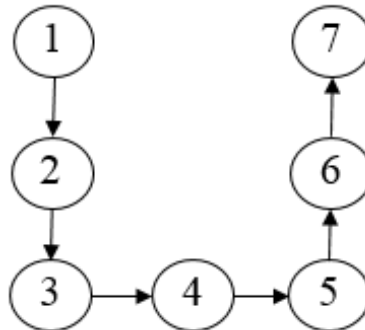
Doğrusal montaj hatları, ürünlerin bir noktadan diğerine doğrusal olarak ilerlediği görece basit hatlardır. İş istasyonları ardışık olarak dizilir ve ürünler belirli bir sıra ile monte edilir, işlenir. Bu tür hatlar, tek tip veya standart ürünlerin seri üretimi için uygundur. Doğrusal hatlar şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Doğrusal Hatlar

##### 3.4.1.2 U Tipi Hatlar

U harfi şeklindeki montaj üretim hatlarıdır. İstasyonlarda çalışacak insan veya robot iş gücünün azaltılmasına katkı sunar. Niteliksel ve niceliksel değişikliklere kolay çözüm üretimi için elverişlidir. Bundan dolayı tam zamanlı üretim tesislerinde sıklıkla uygulanır. U tipi hatlar şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: U Tipi Hatlar

### **3.4.1.3 Döngüsel Hatlar**

Döngüsel montaj hatları, ürünlerin bir döngü veya dairesel yol boyunca hareket ettiği bir hattır. İş istasyonları dairesel olarak düzenlenir ve ürünler döngü boyunca ilerlerken monte edilir. Bu tür hatlar, birden fazla varyasyona sahip ürünlerin üretimi için uygundur.

### **3.4.1.4 Hibrit Montaj Hatları**

Hibrit montaj hatları, farklı yapı ve işlemlere sahip hat türlerinin kombinasyonunu içerir. Örneğin, bir lineer hat üzerinde döngüsel bir bölüm bulunabilir veya paralel hatlar birleştirilebilir. Bu tür hatlar, farklı ürün ve iş gereksinimlerine uyum sağlamak için esneklik sağlar.

## **3.4.2 Ürün Model Sayısına Göre Montaj Hatları**

Ürün modeline göre montaj hatlarının tasarımları ve uygulamaları değişiklik gösterebilir. Bu doğrultuda uygulanabilecek montaj hatları; tek modelli montaj hatları, çok modelli montaj hatları ve karışık modelli montaj hatları olarak üç başlık altında incelenmiştir.

### **3.4.2.1 Tek Modelli Hatlar**

Tek modelli montaj hatları, tek tip ürünün sürekli olarak üretildiği hatlardır. Bu tür hatlarda iş istasyonları ve iş süreçleri tek bir modele odaklanır. Her bir iş istasyonu, ürünün belirli bir bileşenini ekler veya belirli bir işlemi gerçekleştirir. İş istasyonları sıralı olarak düzenlenir ve ürünler belirli bir sıra ile ilerler.

Tek modelli montaj hatları, aynı ürünün sürekli olarak monte edilmesi nedeniyle yüksek bir verimlilik sağlar. İşçiler, belirli bir ürünün montajı konusunda uzmanlaşabilir ve verimli bir şekilde çalışabilir. Hat üzerindeki iş süreleri, optimum üretim hızını sağlamak için dikkatlice planlanır ve dengelemeye çalışılır. Ürünlerin tasarımı ve özellikleri sabit olduğu için, hat üzerindeki iş süreçleri ve ekipmanlar genellikle istikrarlı bir şekilde çalışır.

Tek modelli montaj hatları, yüksek hacimli üretimlerde etkili bir şekilde kullanılır. Standartlaştırılmış iş süreçleri ve optimize edilmiş hat düzeni, verimliliği artırırken, maliyetleri düşürmeye yardımcı olur.

### **3.4.2.2 Çok Modelli Hatlar**

Çok modellenli montaj hatları, farklı ürün ve modellerin aynı hatta işlem gördüğü hatlardır. Bu tür hatlarda, birden çok ürünün montajı ve işlenmesi aynı zamanda gerçekleştirilir. Her bir ürün, montaj hattının farklı noktalarında belirli bir sıra ile ilerler ve ilgili iş istasyonlarında gerekli bileşenler eklenir veya işlemler gerçekleştirilir.

Çok modellenli montaj hatları, farklı ürünlerin farklı özelliklere sahip olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılır. Her bir ürün, belirli montaj adımlarını ve işlemlerini gerektirir ve bu adımlar ve işlemler, montaj hattının farklı iş istasyonlarında gerçekleştirilir.

Bu hatlarda, iş istasyonlarının düzenlenmesi ve süreleri, her bir ürünün montaj gereksinimlerine göre esneklik sağlamak üzere tasarlanır. İş istasyonlarında kullanılan ekipmanlar ve araçlar, farklı ürünlerin gereksinimlerini karşılayacak şekilde seçilir ve ayarlanır.

Çok modellenli montaj hatları, üretimdeki ürün çeşitliliğine uyum sağlamak için önemlidir. Farklı ürünlerin aynı hatta montajı, üretim süreçlerindeki esnekliği artırır ve üretim hattının kullanım oranını maksimize eder. Bu tür hatlarda, işçiler genellikle birden çok ürünün montajına ve işlemine aşına olmalı ve hızlı bir şekilde geçiş yapabilmelidir.

Bu tür montaj hatları, iş süreçlerindeki değişiklikleri ve üretim taleplerini karşılamak için hızlı bir şekilde uyarlanabilir. Esneklikleri ve ürün çeşitliliğine uyum sağlamaları, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde yanıt verebilme yeteneği sağlar. Ancak çok modellenli hatlar, iş süreçlerinin daha karmaşık olabileceği ve koordinasyon gerektirebileceği için planlama ve yönetim açısından daha zorlu olabilir.

### **3.4.2.3 Karışık Modelli Hatlar**

Benzer ürünlerin aynı zamanda üretildiği hatlardır. Bu tür hatların zorluğu ürün ve model farklılıklarından dolayı farklı görev, istasyon ve akışların oluşmasıdır. Bundan dolayı eşit olmayan istasyon sürelerine, görece olarak daha düşük hat verimliliklerine ve montaj dengeleme işlemlerinin daha zor yapılmasına neden olur. Bu zorluklardan dolayı görece olarak daha yüksek yarı mamül stoklarına ihtiyaç duyulur. Hatların tasarımları da aynı orada zorluk içerir. Avantajları ise farklı

esneklik özellikleri yüksek olduğu için pazarın isteklerine ve siparişlere kolay adapte olunmasıdır. Böylece bitmiş ürün stoğuna çok fazla ihtiyaç duyulmaz.

### **3.4.3 Montaj / Üretim Süreçlerine Göre Göre Montaj Hatları**

Süreçlere göre montaj hatları incelendiğinde gecikmeli montaj hatları ve gecikmesiz montaj hatları olarak iki sınıflandırma görebiliriz.

#### **3.4.3.1 Gecikmeli Montaj Hatları**

Gecikmeli montaj hatları, ürünlerin montajının ve işlenmesinin belirli bir süre geciktirildiği hatlardır. Bu tür hatlarda, ürünler genellikle bir iş istasyonundan diğerine geçiş yaparken belirli bir bekleme tabi tutulurlar.

Gecikmeli montaj hatları, ürünlerin montaj sürecinin düzenlenmesinde ve senkronizasyonunda esneklik sağlar. İş istasyonları arasında oluşan bekleme, montaj süreçlerinin optimize edilmesi ve iş istasyonlarının yük dengesinin sağlanması için kullanılabilir.

Bu hatlarda, her bir iş istasyonu, ürünü alır ve belirli bir işlemi gerçekleştirir. Ardından, ürün bir sonraki istasyona geçmeden önce belirli bir süre bekletilir. Bu bekleme, iş istasyonlarının performanslarının dengelemesine ve montaj hattının genel verimliliğinin artırılmasına yardımcı olur.

Gecikmeli montaj hatları, ürünlerin montaj süreçlerini düzenlemek ve hattın yüksek verimlilikle çalışmasını sağlamak için kullanılır. Bekleme süreleri, iş istasyonlarındaki iş süreleriyle dengelenir ve hat üzerinde oluşan aşırı yüklenmelerin önlenmesine yardımcı olur.

Bu tür hatlar, işçilerin iş istasyonlarında daha etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanır. Bekleme süreleri, işçilerin bir ürün üzerindeki işlemleri tamamlamasına ve bir sonraki ürün için hazırlık yapmasına izin verir.

Gecikmeli montaj hatları, ürün çeşitliliği ve değişken taleplerin olduğu durumlarda kullanışlıdır. Ürünlerin montaj süreçleri arasındaki bekleme, hattın farklı ürünlerin gereksinimlerine göre kolayca ayarlanabilmesini sağlar.

Bu tür hatlar, işçilerin yüksek hacimli üretimleri daha verimli bir şekilde gerçekleştirmesine ve montaj süreçlerindeki dengeyi sağlamasına yardımcı olabilir. Ancak, gecikmeli montaj hatları, iş istasyonlarının bekleme süreleri ve montaj

adımlarının dikkatlice planlanmasını gerektirir ve hat üzerindeki süreçlerin koordinasyonunu zorlaştırabilir.

### **3.4.3.2 Gecikmesiz Montaj Hatları**

Gecikmesiz montaj hatları, ürünlerin montaj ve işlem adımlarının arasında herhangi bir gecikme olmadan doğrudan akışının sağlandığı hatlardır. Bu tür hatlarda, ürünler hızla bir iş istasyonundan diğerine geçer ve montaj süreci kesintisiz bir şekilde ilerler.

Gecikmesiz montaj hatları, yüksek hızlı ve sürekli montaj gerektiren üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır. Ürünlerin işlem adımları hızlı bir şekilde tamamlanır ve bir sonraki iş istasyonuna hızla ilerler.

Bu hatlarda, iş istasyonları ve operasyonlar, ürünün montaj sürecinin akışını kesintiye uğratmadan optimize edilir. İşçiler, ürünleri hızlı bir şekilde alır, montaj adımlarını tamamlar ve bir sonraki işlem için ürünü aktarır. Bu şekilde, montaj süreci kesintisiz bir şekilde devam eder.

Gecikmesiz montaj hatları, verimlilik ve zaman tasarrufu sağlar. Ürünlerin beklemesi veya duraklaması olmadığı için, montaj süreci hızlı bir şekilde ilerler ve üretim hızı maksimize edilir.

Gecikmesiz montaj hatları, hızlı teslimat süreleri ve yüksek üretim hızı sağlama avantajına sahiptir. Ancak, hat üzerinde herhangi bir gecikme veya aksamaya neden olan bir iş istasyonu veya süreç, tüm hat üzerindeki verimliliği etkileyebilir. Bu nedenle, hattın sürekli olarak izlenmesi ve bakımının yapılması önemlidir.

### **3.4.4 İşlem Süresine Göre Montaj Hatları**

İşlem süreleri montaj hattında en önemli konulardan biridir, doğrudan üretim kapasitesini ve verimliliği etkiler. Montaj hatları işlem sürelerine göre sınıflandırılırken deterministik ve stokastik montaj hatları olarak ikiye ayrılırlar.

#### **3.4.4.1 Deterministik Montaj Hatları**

Deterministik montaj hatları, montaj sürecindeki adımların ve zamanların tam olarak belirlendiği hatlardır. Bu tür hatlarda, her bir montaj adımı için belirli bir süre

ve sıralama önceden tanımlanmıştır. Her ürün, aynı adımları aynı sıra ile geçer ve iş istasyonlarından geçişleri önceden belirlenen bir zaman çizelgesine göre gerçekleşir.

Deterministik montaj hatları, üretim sürecinde tahmin edilebilirlik ve tekrarlanabilirlik sağlar. Her ürün, aynı adımları ve süreleri takip eder, bu da üretim sürecinin istikrarlı bir şekilde ilerlemesini sağlar.

Bu tür hatlarda, üretim planlaması ve zamanlama önemlidir. Montaj adımları ve iş süreleri dikkatlice hesaplanmalı ve iş istasyonları arasında dengeli bir akış sağlanmalıdır.

Deterministik montaj hatları, üretim süreçlerinde verimliliği artırır ve ürün kalitesini iyileştirir. Her adımın ve sürenin belirlenmiş olması, hataların azalmasına ve ürünlerin tutarlı bir şekilde monte edilmesine yardımcı olur.

Bu tür hatlar, seri üretim ve yüksek hacimli üretimlerde etkilidir. İşçiler, belirlenen adımları takip eder ve iş istasyonları arasında ürünleri hızlı bir şekilde aktarır.

#### **3.4.4.2 Stokastik Montaj Hatları**

Stokastik montaj hatları, montaj sürecindeki adımların ve zamanların değişebildiği hatlardır. Bu tür hatlarda, her bir montaj adımının süresi ve sıralaması istatistiksel olarak değişken olabilir. Her ürün, farklı adımları ve zamanlamaları takip edebilir.

Stokastik montaj hatları, üretim süreçlerinde belirsizlik ve varyasyonun olduğu durumlarda kullanılır. Ürünlerin montajı için gereken süreler, iş istasyonlarındaki faktörler, işçi becerileri, ekipman etkinliği gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Stokastik montaj hatları, gerçek dünya koşullarını ve belirsizlikleri yansıtır. Üretim sürecindeki varyasyonları ve beklenmedik durumları yönetmek için kullanılırlar.

Bu tür hatlar, üretim esnekliği sağlar ve değişken taleplere uyum sağlar. Ürünlerin montajı için gereken sürelerdeki değişkenlik, hat üzerinde farklı ürünlerin aynı anda monte edilmesine ve üretim süreçlerinin çeşitlilik ve özelleştirme taleplerine uyum sağlamasına olanak tanır.

Stokastik montaj hatları, üretim süreçlerinde daha fazla planlama ve izleme gerektirir. Montaj adımları, iş istasyonlarındaki süreçler ve varyasyonlar dikkatlice yönetilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

Bu tür hatlar, üretim süreçlerindeki verimlilik ve kaliteyi iyileştirmek için sürekli olarak optimize edilmelidir. Varyasyonları minimize etmek, beklenmedik durumlarla başa çıkmak ve hat üzerindeki dengenin sağlanması için sürekli olarak izleme ve iyileştirme yapılmalıdır.

### **3.4.5 Otomasyon Seviyesine Göre Montaj Hatları**

Otomasyon seviyelerine göre montaj hatları incelendiği zaman otomatik ve manuel montaj hatları olarak iki sınıflandırma yapılabilir.

Otomasyon düzeyi, montaj hatlarının hangi ölçüde otomatize edildiğini ve insan katılımının ne kadar olduğunu belirtir. Montaj hatları, otomasyon düzeylerine göre manuel ve otomatik montaj hatları şeklinde sınıflandırılabilir:

#### **3.4.5.1 Otomatik Montaj Hatları**

Otomatik montaj hatları, üretim sürecindeki montaj adımlarının büyük ölçüde otomatize edildiği hatlardır. Montaj hattının otomatize edilme yoğunluğuna göre yarı otomatik, otomatik ve tam otomatik gibi terimler kullanılabilir. Bu tür hatlarda, çeşitli robotlar, otomatik taşıma sistemleri, görüntüleme ve algılama sistemleri gibi tam otomasyon teknolojileri kullanılarak üretim gerçekleştirilir.

Otomatik montaj hatları, yüksek hızlı ve hassas montaj gerektiren üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır. İnsan iş gücüne kıyasla daha yüksek bir üretim hızı ve tutarlılık sağlarlar.

Bu hatlarda, robotlar ve diğer otomatik ekipmanlar, ürünlerin montaj adımlarını gerçekleştirir. Sensörler ve görüntü işleme sistemleri kullanarak, parçaların doğru konumlandırılması, birleştirilmesi ve kontrol edilmesi sağlanır.

Bu hatlar, insan iş gücünden daha yüksek bir üretim hızı ve verimlilik sağlar. Robotlar ve otomasyon ekipmanları, sürekli ve kesintisiz bir montaj akışı sağlar. Otomatik montaj hatları, üretim sürecinde işçi güvenliği ve ergonomi açısından avantajlar sağlar. Tehlikeli veya ağır işlemler robotlar tarafından gerçekleştirildiği için işçilerin yaralanma riski azalır ve daha ergonomik çalışma koşulları sağlanır.

Bu tür hatlar, yüksek hacimli üretimlerde ve sürekli çalışma gerektiren işlerde özellikle etkilidir. Otomatik ekipmanlar, sürekli olarak yüksek kalitede ve yüksek hızda montaj yapabilirler. Otomatik montaj hatları, verimlilik, kalite ve maliyet tasarrufu sağlar. İnsan faktöründen kaynaklanan hatalar minimize edilir.

Bu tür hatlar, sürekli izleme ve bakım gerektirir. Robotlar ve otomasyon ekipmanları düzenli olarak kontrol edilmeli, programlamaları güncellenmeli ve işletimlerinin düzgün bir şekilde devam ettiği sağlanmalıdır.

### **3.4.5.2 Manuel Montaj Hatları**

Manuel montaj hatları, üretim sürecindeki montaj adımlarının insana dayalı işçilikle gerçekleştirildiği hatlardır. Bu tür hatlarda, insanlar ürünlerin montajını gerçekleştirir, parçaları birleştirir ve işlem adımlarını tamamlar.

Manuel montaj hatları, daha esnek ve çeşitli üretim süreçlerinde kullanılır. Ürünlerin montajı için işçi becerileri ve el işçiliği önemlidir. İşçiler, parçaları doğru şekilde yerleştirir, vidaları sıkar, kaynak yapar ve diğer montaj adımlarını tamamlar.

Bu hatlarda, işçilerin dikkatli ve yetenekli olması önemlidir. Parça hatalarını ve kalite sorunlarını tespit etmek, montaj adımlarını doğru bir şekilde takip etmek ve verimli bir şekilde çalışmak için işçilerin eğitimi önemlidir.

Manuel montaj hatları, daha küçük ölçekli üretimlerde ve daha özelleştirilmiş üretimlerde sıkça kullanılır. Ürünlerin yapısı, montaj adımlarının karmaşıklığı ve değişkenlik göz önünde bulundurularak manuel işçilik tercih edilebilir.

Bu tür hatlarda, iş istasyonları ve işçilerin düzeni önemlidir. İş istasyonları, işçilerin kolaylıkla erişebileceği ve montaj adımlarını etkili bir şekilde gerçekleştirebileceği şekilde düzenlenmelidir.

Manuel montaj hatları, işçilerin esneklik ve uyum sağlama yeteneğini gerektirir. Talebe göre üretim yapabilme yetenekleri, farklı ürün tiplerine uyum sağlama ve değişken taleplere hızlı yanıt verme avantajına sahiptirler. Bu tür hatlarda, kalite kontrol önemlidir. İşçiler, montaj adımlarını doğru bir şekilde gerçekleştirmeli, ürünlerin kalitesini gözlemlemeli ve hataları tespit etmelidir.

Manuel montaj hatları, düşük otomasyon maliyeti ve esneklik sağlama avantajına sahiptir. Ancak, üretim hızı ve tutarlılık otomasyonlu hatlara kıyasla daha düşük olabilir.

Manuel montaj hatları, doğru eğitim, deneyimli işçiler ve etkili iş düzeni gerektirir. İşçi güvenliği ve ergonomi açısından da dikkatli olunmalıdır. İşçilerin yorulmaması ve iş kazalarının önlenmesi için uygun çalışma koşulları sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, manuel montaj hatları, daha küçük ölçekli, özelleştirilmiş veya değişken taleplere sahip üretimlerde tercih edilen bir yöntemdir. İnsan becerilerine dayalı montaj işlemleri, esneklik, uyum sağlama ve düşük otomasyon maliyeti avantajları sunar.

### **3.5 Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Tanımlanması**

Montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan belli başlı çözüm yöntemleri, kesin çözüm yöntemleri, sezgisel yöntemler ve benzetim teknikleri şeklinde üç başlık altında toplanabilir.

Kesin çözüm veren yöntemler, tamsayılı programlama [38], dal sınır algoritması [39], dinamik programlama [40] ve hedef programlama [41] gibi alt başlıklara ayrılır.

Yaklaşık çözüm veren yöntemler görece olarak daha hızlı bir şekilde daha iyi çözümler bulabilir. Bu nedenler yöntemin tercih sebebidir. Bu yöntemler sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlardan oluşur. Sezgisel yaklaşımlar belirli bir problemin çözümünde odaklanırken çeşitli meta-sezgisel yaklaşımlar ise çok farklı tipte optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır [42].

Benzetim teknikleri üretim süreçlerinin modellenmesinin zor olduğu durumlarda tercih edilir. Üretim sistemi bilgisayar ortamına aktarılıp, bilgisayar ortamında denemelerin yapılmasına olanak sağlayan çözüm yöntemlerindedir [43].

Termos üretim hattı dengeleme problemin çözümünde istasyon paralelliğinden yararlanan matematiksel bir yöntem kullanılacaktır. Bu yöntemde en uzun iş süresine sahip olan istasyonlar birbiri ile aynı ekipman ve donanıma sahip olacak şekilde iki veya daha fazlası paralel olarak sıralanır [44]. Buna bağlı olarak verimlilik artar ve çevrim süresi düşmektedir [45].

### **3.6 Termos Hattı için Montaj Hattı Dengeleme Problem Çözümü**

#### **3.6.1 Uygulama amacı**

Özellikle seri üretim yapan fabrikalar için, montaj hattı dengeleme problemi son derece önemlidir. Montaj hattına dengeleme yapılması ile verimlilik artacak, üretim giderleri azalacak, kapasite artacak ve sonuç olarak firma karlılığı artacaktır.

Termos üretim hattına dengeleme yapılarak, istasyon sayısı ve yerleşimi belirlenmeye çalışılacaktır. Sonrasında verimlilik hesapları yapılacak, dengeleme işlemi öncesine göre karşılaştırma yapılacaktır.

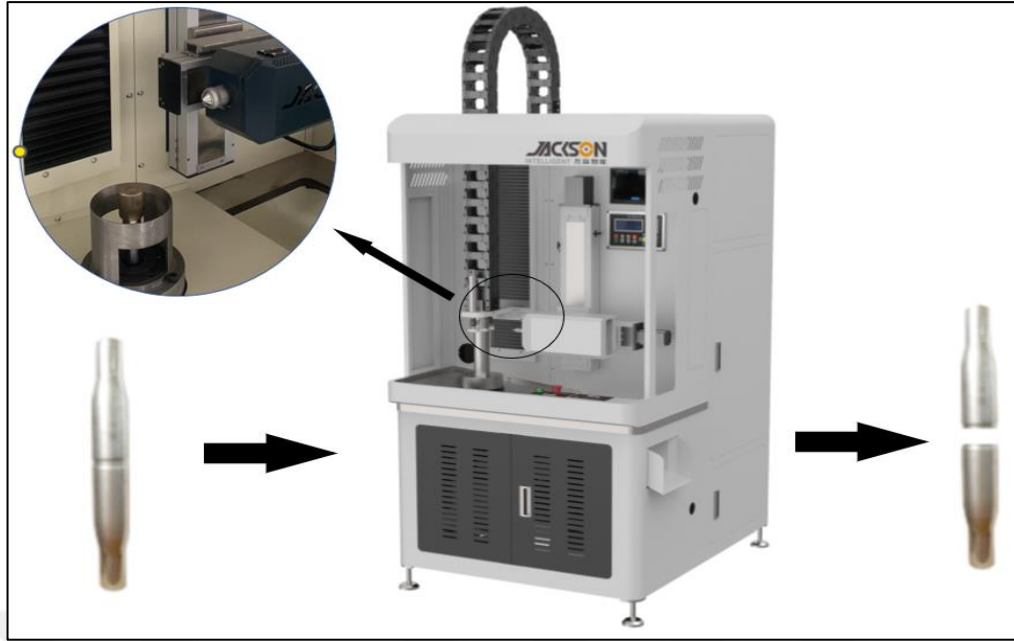
#### **3.6.2 Uygulama kapsamı**

Termos ve termos üretim tesislerinden bölüm “2.1 Termos ve Termos Üretim Tesisleri” kısmında bahsedilmiştir. Bütün bölümler birbirinden bağımsız çalışmakta ve ara stoklar yapılmaya müsaittir. Ayrıca plastik şekillendirme dışındaki diğer bölümlerdeki çalışmalar genellikle tek bir istasyondan oluşmaktadır. Plastik şekillendirme kısmında ise robotik çalışmaya müsait 8 adet istasyondan oluşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı montaj hattı dengeleme problemi plastik şekillendirme diye tabir edilen kısmı için yapılacaktır.

#### **3.6.3 Uygulama yapılacak Makineler**

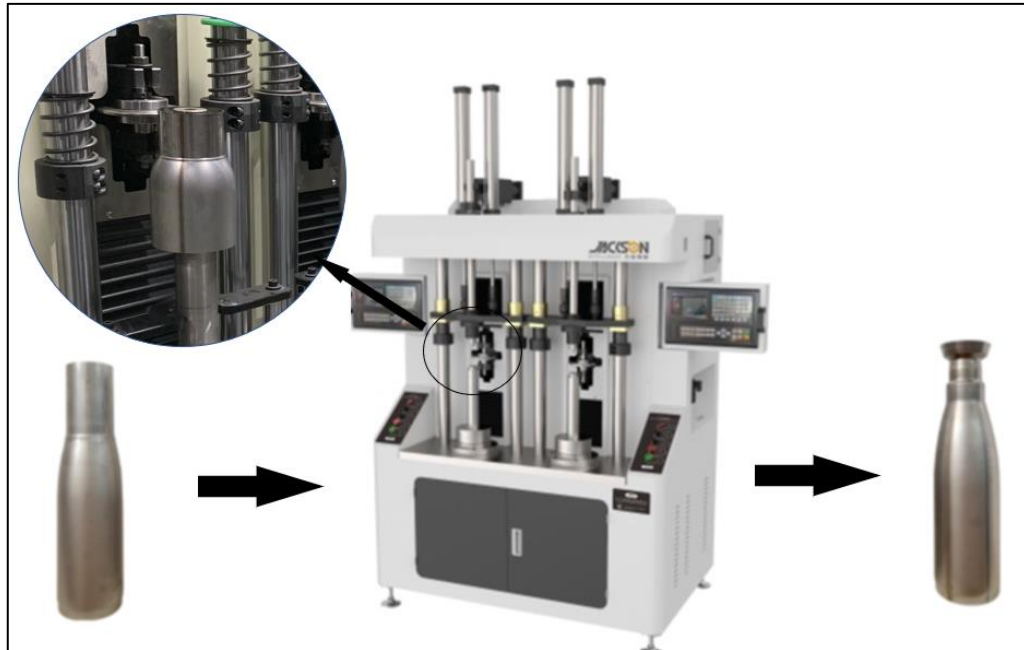
Uygulaması yapılacak makinelerden “**3.1.3 İstasyon**” bölümünde bahsedilmiş ve “**Çizelge 3.3**’te” liste olarak gösterilmiştir. Bu makineler aşağıda anlatılmıştır ve gösterilmiştir.

Boru Bölme Makinesi (**Şekil 3.4**), boru yapma ve var ise ilave işlemlerden sonraki boruyu ikiye bölerek termos üretimi için gerekli boru boyuna getirir. Bu işlemi makaslama yöntemi ile talaşsız fakat temas ederek gerçekleştiren makineler olduğu gibi, temassız lazer yöntemi ile gerçekleştiren makineler de mevcuttur. Örnek termos üretim projesinde lazer kesim yöntemi tercih edilmiştir.



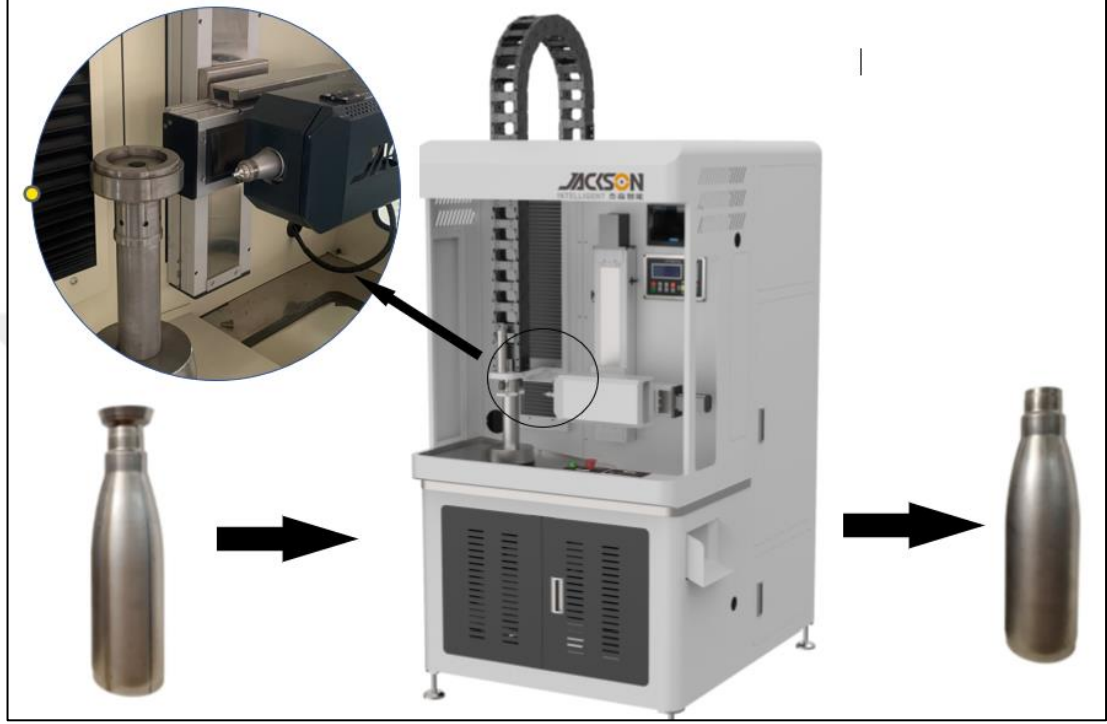
**Şekil 3.4: Boru Bölme Makinesi (Proses – I)**

Boyun işleme makineleri (Şekil 3.5) termos üretim hattı içindeki işleme süresi en uzun olan makinedir. Dolayısıyla üretici firmalar çözüm olarak iki veya daha çok istasyonlu boyun işleme makineleri geliştirmiştir. Bu makinelerin boyun diye tabir edilen borunun uç kısmını işleyerek termos şeklini kazandırır. Bu işleme sonraki adımlarda yapılacak olan dış açma veya plastik kapak parçalarının takılması için gerekli geometrik alt yapıyı sağlar.



**Şekil 3.5: Boyun İşleme Makinesi (Proses – II)**

Borunun boyun kısmı işlendikten sonra fazlalık olan kısmı uç kesme makinesinde kesilir (**Şekil 3.6**). Bu işlem termosun istenilen ölçüde olmasını sağlar. Bu işlemi makaslama yöntemi ile talaşsız fakat temas ederek gerçekleştiren makineler olduğu gibi, temassız lazer yöntemi ile gerçekleştiren makineler de mevcuttur. Örnek termos üretim projesinde lazer kesim yöntemi tercih edilmiştir.



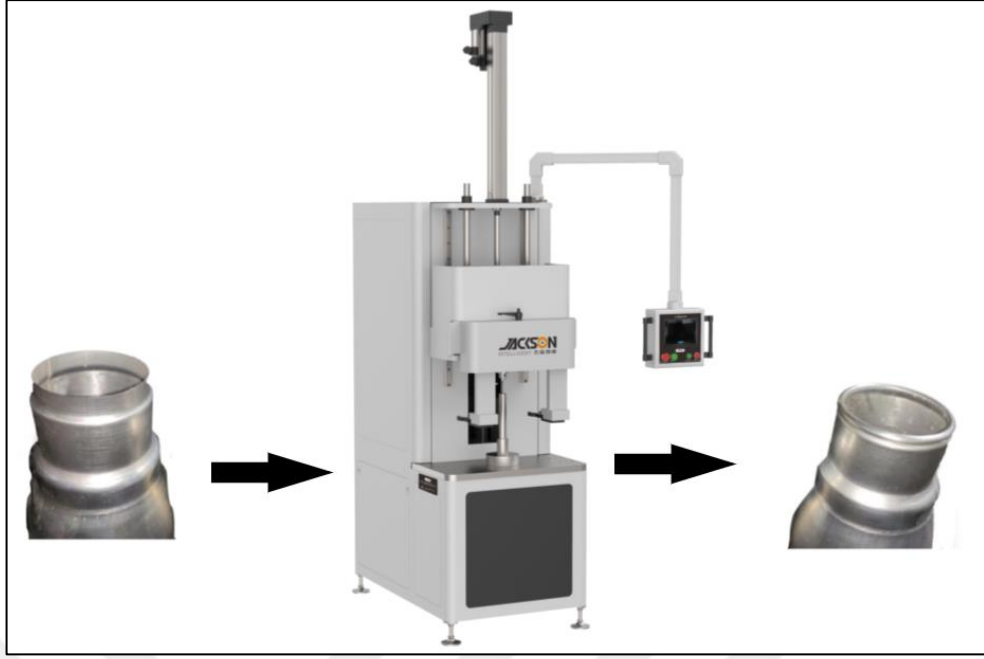
**Şekil 3.6: Uç Kesme Makinesi (Proses – III)**

Boru olarak üretilen ve belirli oranda şekillendirilen termos sonraki aşamalarda kap şekline getirilecektir. Bu işlem için borunun alt kısmına başka bir metal parça kaynatılması gerekecektir. Bu kaynak işleminden önce, parçanın boruya rahat geçmesi için borunun alt kısmı alt şekillendirme makinesinde (**Şekil 3.7**) bir miktar genişletilmelidir.



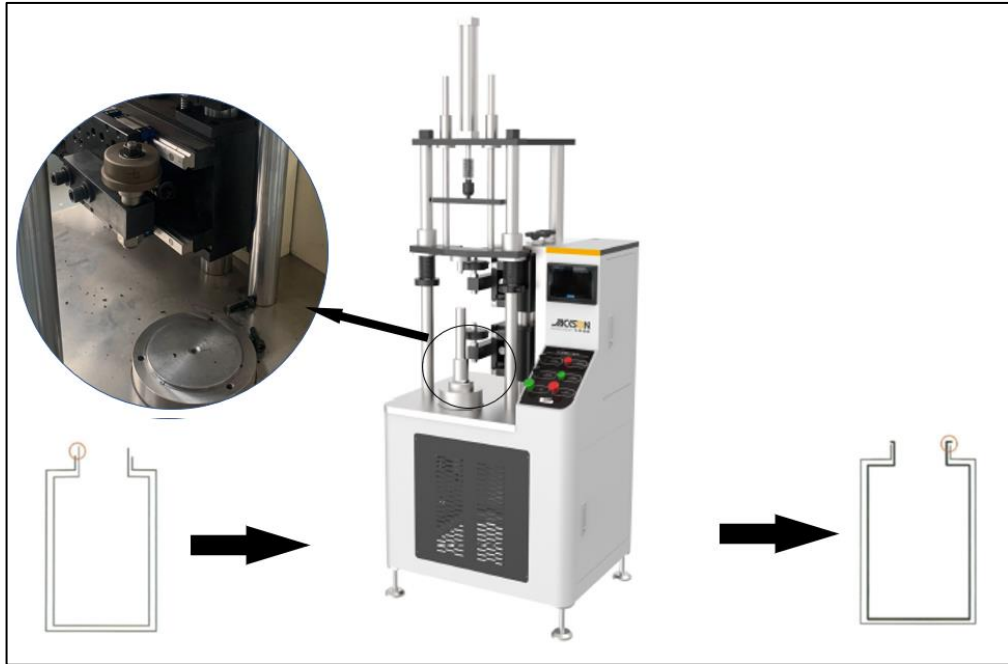
**Şekil 3.7: Alt Şekillendirme Makinesi (Proses – IV)**

Termosun içindeki sıvıyı içmek için bardak kullanılabilir veya direkt olarak termotan içilebilir. Direkt olarak termotan içilmesi durumunda paslanmaz sacın dudağı kesmemesi için bir önlem alınması gereklidir. Borunun üst kenarı yuvarlama makinesinde (**Şekil 3.8**) yuvarlatılarak keskinliği yok ediliyor ve rahat bir içim sağlanmış olur.



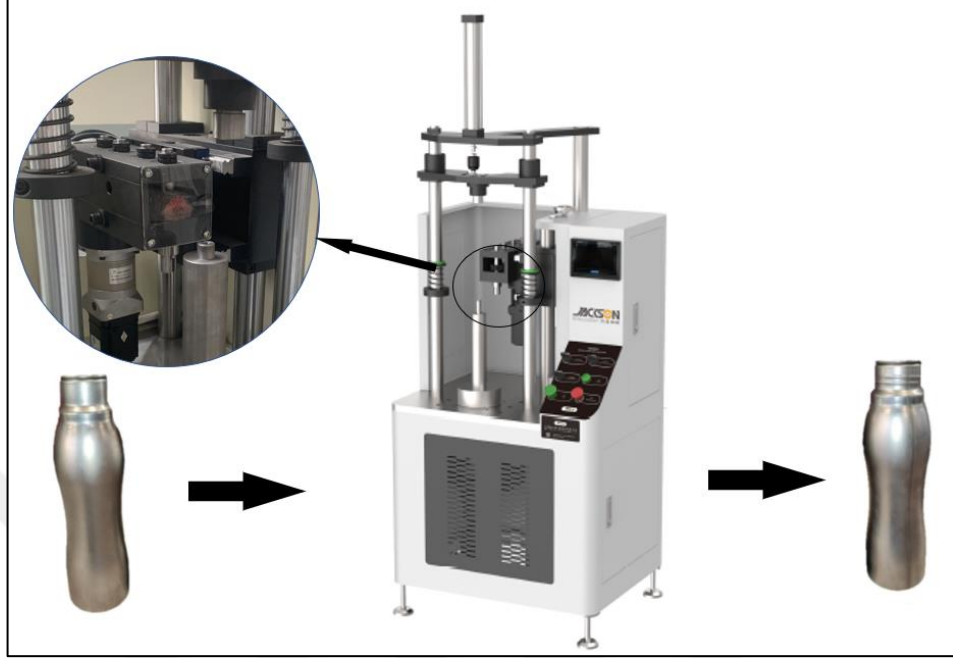
**Şekil 3.8: Yuvarlama Makinesi (Proses – V)**

Termos içine konan sıcak veya soğuk sıvıyı sıcak veya soğuk tutabilmesi için yalıtımlı olması gerekmektedir. Yalıtım termosun çift cidarlı yapısı ve çift cidar arasındaki havanın emilerek boşluk oluşturulmasıyla sağlanır. Çift cidar yapılabilmesi için iç ve dış olmak üzere iki adet boru üretilir. Sonrasında bu iki boru birbirine kaynatılır. Kaynak işleminin daha kolay ve rahat yapılması için iç borunun üst kenarı, dış borunun üzerine gelecek şekilde bir miktar bükülür. (Şekil 3.9)



**Şekil 3.9: Kenar Bükme Makinesi (Proses – VI)**

Borular üretildikten ve birbirine kaynatıldıktan sonra genellikle plastikten üretilen kapak parçası borunun üzerine monte edilir. Monte edilebilmesi için boruya ve plastik parçaya diş açılır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10: Diş Açma Makinesi (Proses – VII)**

Çelik gövdenin şekillendirilme aşamasının son işlemi fazlalıkların kesilerek gövdenin nihai ölçüye getirilmesidir. Bu işlem sırasında gövde istenilen ölçüye getirilir (Şekil 3.11). Bu işlemi talaşlı imalat yöntemleriyle veya lazer kesim ile gerçekleştirilebilir. Termos üretim projesinde lazer kesim yöntemi tercih edilmiştir.



**Şekil 3.11: Trimleme Makinesi (Proses – VIII)**

### 3.6.4 Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Öncesi Hat Analizi

Dengeleme öncesinde makine parkuru ve bu parkura ait bilgiler Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7: Dengeleme Öncesinde Makine Parkuruna Ait Bilgiler**

Sıra No	İstasyon Adı	İstasyon Adeti	Çevrim Süresi (sn)	İstasyon Zamanı (sn)	İstasyon boş Zamanı (sn)
1	Bölme Makinesi	1	28	4	24
2	Boyun İşleme Makinesi	1		28	0
3	Uç Kesme Makinesi	1		4	24
4	Alt Şekillendirme M.	1		5	23
5	Yuvarlama Makinesi	1		8	20
6	Kenar Bükme Makinesi	1		6	22
7	Diş Açma Makinesi	1		9	19
8	Trimleme Makinesi	1		4	24
9	Toplam	9		68	156

Dengeleme yapılmamış durumda hesaplanan değerler özet şekilde Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.8: Dengeleme Öncesinde Makine Parkuruna Ait Bilgiler-2**

Çevrim süresi	28sn
Günlük Üretim Kapasitesi	1024 adet / gün
Denge gecikmesi	% 69,6
Hat etkinliği	% 30,4
Düzensizlik indeksi	%26

Yukarıdaki tabloyu yorumlayacak olur isek; çevrim süresi 28 saniye olarak gözükmektedir. En uzun işleme süresine sahip boyun işleme makinesinin proses süresidir. Diğer makinelerin tamamı bu süreye oranla çok daha düşük işleme sürelerine sahiptir. Bu durum termosun ara işlemler sırasında diğer makinelerde uzun süreler beklemesine neden olmaktadır. Bunu matematiksel ifadesini hat etkinliğinde görebiliriz. Hat etkinlik değeri %30,4 olarak görülmektedir. Hat üzerindeki makineler yaklaşık olarak 1 birim süre iş yaparken 2 birim süre de beklemektedir.

### 3.6.5 Montaj Hattı Kapasite Dengeleme Sonrası Hat Analizi

Termos üretim hattının iyileştirmek, %30,4 olan verimliliği ve üretim kapasitesini artırmak için parkura makine eklenilmesi düşünülmektedir. Bu doğrultuda eklenmesi düşünülen makine işlem süreleri diğerlerine göre daha uzun olan boyun işleme, diş açma ve yuvarlama makineleridir. Bu makinelerin eklenmesiyle ulaşılması olası makine parkuru Çizelge 3.9'daki gibi şekilde olacaktır.

**Çizelge 3.9: Dengeleme İçin Eklenecek Makine Adetleri**

Sıra No	İstasyon Adı	Mevcut Makine Adeti	Eklenecek Makine Adeti	Toplam Makine Adeti
1	Bölme Makinesi	1	0	1
2	Boyun İşleme Makinesi	1	3	4
3	Uç Kesme Makinesi	1	0	1
4	Alt Şekillendirme M.	1	0	1
5	Yuvarlama Makinesi	1	1	2
6	Kenar Bükme Makinesi	1	0	1
7	Diş Açma Makinesi	1	1	2
8	Trimleme Makinesi	1	0	1
9	Toplam	8	5	13

Çizelge 3.9'da belirtildiği gibi boyun işleme makinesinden 1, 2 veya 3 eklenebilir. Yuvarlama ve diş açma makinelerinden ise birer tane eklenebilir. Bu seçeneklerin ve olasılıkların hepsi aynı anda olabileceği gibi sadece bir kısmı da gerçekleşebilir. Ya da hiçbir ekleme yapılmama durumu da söz konusudur. İhtimaller hesaplandığı zaman toplam 16 adet farklı makine parkuru söz konusudur. Bu 16 ihtimalin her biri için çevrim süreleri, günlük üretim kapasiteleri ve hat etkinliği hesaplanmıştır. (Çizelge 3.10)

**Çizelge 3.10:** Dengeleme Çalışması / Çevrim Süresi / Üretim Kapasitesi ve Verimlilik

Sıra Numarası	Bölme Makinesi (P-I)	Boyun İşleme Makinesi (P-II)	Uç Kesme Makinesi (P-III)	Alt Şekillendirme Makinesi (P-IV)	Yuvarlama Makinesi (P-V)	Kenar Bükme Makinesi (P-VI)	Diş Açma M Makinesi (P-VII)	Trimleme Makinesi (P-VIII)	Çevrim süresi	Günlük Üretim Kapasitesi	Verimlilik
1	1	1	1	1	1	1	1	1	28	1029	%30
2	1	2	1	1	1	1	1	1	14	2057	%48
3	1	3	1	1	1	1	1	1	9,33	3086	%66
4	1	4	1	1	1	1	1	1	9	3200	%65
5	1	1	1	1	2	1	1	1	28	1029	%29
6	1	2	1	1	2	1	1	1	14	2057	%45
7	1	3	1	1	2	1	1	1	9,33	3086	%61
8	1	4	1	1	2	1	1	1	9	3200	%60
9	1	1	1	1	1	1	2	1	28	1029	%28
10	1	2	1	1	1	1	2	1	14	2057	%44
11	1	3	1	1	1	1	2	1	9,33	3086	%60
12	1	4	1	1	1	1	2	1	8	3600	%66
13	1	1	1	1	2	1	2	1	28	1029	%27
14	1	2	1	1	2	1	2	1	14	2057	%41
15	1	3	1	1	2	1	2	1	9,33	3086	%55
16	1	4	1	1	2	1	2	1	7	4114	%69

Tabloda ilk dört sırada bütün makineler 1 adet, boyun işleme makinesinin adeti için 4 farklı kombinasyon söz konusudur.

5, 6, 7 ve 8. sıralarda yuvarlama makinesi iki adet, boyun işleme makinesi için 4 farklı kombinasyon söz konusu olup, diğer bütün makineler bir adettir.

9, 10, 11 ve 12. sıralarda diş açma makinesi iki adet, boyun işleme makinesi için 4 farklı kombinasyon söz konusu olup, diğer bütün makineler bir adettir.

13, 13, 15 ve 16. sıralarda yuvarlama makinesi ve diş açma makinesi iki adet, boyun işleme makinesi için 4 farklı kombinasyon söz konusu olup, diğer bütün makineler bir adettir.

Yukarıdaki tablo incelendiği zaman; ilk 4 sıra için en verimli seçenek boyun işleme makinesinin 3 adet olmasıdır. Boyun işleme makinesinin 4 adet olması durumunda üretim kapasite artmasına rağmen hat verimliliği düşmektedir.

Tabloda ikinci dört sıra incelendiği zaman görülmektedir ki yuvarlama makinesi 2 adete çıkarmak üretim adetini arttırmadığı gibi hat verimliliğini de düşürmektedir.

Tabloda üçüncü dört sıra incelendiği zaman görülmektedir ki dış açma makinesi 2 adete çıkarmak boyun işleme makinesinin 1,2 ve 3 adet olması durumunda üretim adetine etkisi olmamakla birlikte hat verimliliğini düşürmektedir. Fakat dış açma makinesinin 2 adet ve boyun işleme makinesinin 4 adet olması durumunda ise üretim kapasitesinde ve verimlilikte artış göstermiştir.

Tabloda dördüncü dört sıra incelendiği zaman görülmektedir ki yuvarlama ve dış açma makinesi 2 adete çıkarmak boyun işleme makinesinin 1,2 ve 3 adet olması durumunda üretim adetine etkisi olmamakla birlikte hat verimliliğini düşürmektedir. Fakat yuvarlama ve dış açma makinesinin 2 adet ve boyun işleme makinesinin 4 adet olması durumunda ise üretim kapasitesi ve verimlilik en yüksek değerine ulaşmıştır.

En yüksek verim 16. sırada elde edilmiştir. Bu durumda boyun işleme makinesi 4 adet, yuvarlama ve dış açma makineleri 2 adet, diğer makineler ise birer adet, toplam makine sayısı ise 13 adettir. Termos üretimi için diğer üretim birimlerindeki günlük kapasitenin yaklaşık 3000 adet olması göz önünde bulundurulduğunda, yatırım maliyetini azaltmak için verimin en yüksek olduğu ikinci durum olan üçüncü sıranın uygulanmasına karar verilmiştir. Bu durumda boyun işleme makinesi 3 adet, diğer bütün makineler ise birer adet, toplam makine sayısı ise 11 adettir.

Dengeleme sonrasında hat değerleri tekrar hesaplandığı zaman Çizelge 3.11'deki sonuçlar elde edilmiştir.

**Çizelge 3.11: Dengeleme Sonrası Bilgiler**

Çevrim süresi	9,33
Günlük Üretim Kapasitesi	3086
Denge gecikmesi	%33,9
Hat etkinliği	%66,1
Düzensizlik indeksi	%14,5

### 3.6.6 Montaj Hattı Dengeleme İşlemi Analizi

Dengeleme işleminden öncesindeki ve sonrasındaki veriler karşılaştırılmıştır. (Çizelge 3.12)

**Çizelge 3.12: Dengeleme Sonrası Karşılaştırma**

	Dengeleme öncesi	Dengeleme Sonrası	İyileştirme Oranı
Çevrim süresi	28	9,33	%301
Günlük Üretim Kapasitesi	1024	3086	%301
Denge gecikmesi	%69,4	%33,9	%35,5
Hat etkinliği	%30,4	%66,1	%35,5
Düzensizlik indeksi	%26	%14,5	%11,5

Dengeleme işlemi sonrasında elde edilen verileri değerlendirecek olursak çevrim süresinde yaklaşık 3 kat oranında bir iyileştirmeye ulaşıldığı görülmektedir. Bununla doğru orantılı olarak da üretim kapasite yine 3 kat oranında artmıştır. Aynı hattan 3 tane kurmak yerine sadece boyun işleme makinesinin adetinin artırarak aynı iyileştirme oranına çok daha makul bir maliyet ile ulaşılmıştır.

Termos üretim hattının diğer teknik verilerine bakacak olursak denge gecikmesi ve hat etkinliğinde %35,5 oranında iyileştirme sağlayarak %33,9 ve %66,1 değerlerine ulaşılmıştır. Hat verimlilik değerinin %66,1 olması aslında dengeleme işleminin daha fazla yapılabileceğinin göstergesidir. Diğer makinelerden de satın alınması durumunda bu verimlilik değeri daha fazla yükselecektir. Fakat bu durum doğrudan yatırım maliyetini etkileyecek ve her seferinde daha düşük bir verimlilik artışı ile görece olarak daha fazla yatırım yapılması anlamına gelecektir. Ulaşılan üretim kapasitesi üretim tesisinin diğer makinelerine ve firmanın hedeflerine uygun olduğu için dengeleme işlemi amacına ulaşmış ve bu aşamada sonlandırılmıştır.

## 4. TERMOS ÜRETİM HATTI İÇİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA SİMÜLASYONU VE TASARIM ÇALIŞMALARI

### 4.1 Simülasyon

Ele alınan termos üretim makinelerinin Solidworks programında çizimleri yapılmış, yine aynı programda bu makineler üretim hattı haline getirilmiştir. Yapılan çizimler üretim hattı hakkında genel bilgi edinilmesi, hattın genel görünümünün oluşturulması ve üretim hattının simülasyon çalışmasının yapılması içindir. Bu doğrultuda makine çizimleri sembolik denilebilecek boyutta olup, sadece makinelerin genel yapıları ve iş parçacıklarının konumu gösterilmiştir. Solidworks programında çizilen termos üretim makineleri RoboDk programına girdi oluşturmuştur.

#### 4.1.1 Simülasyon Kriterleri

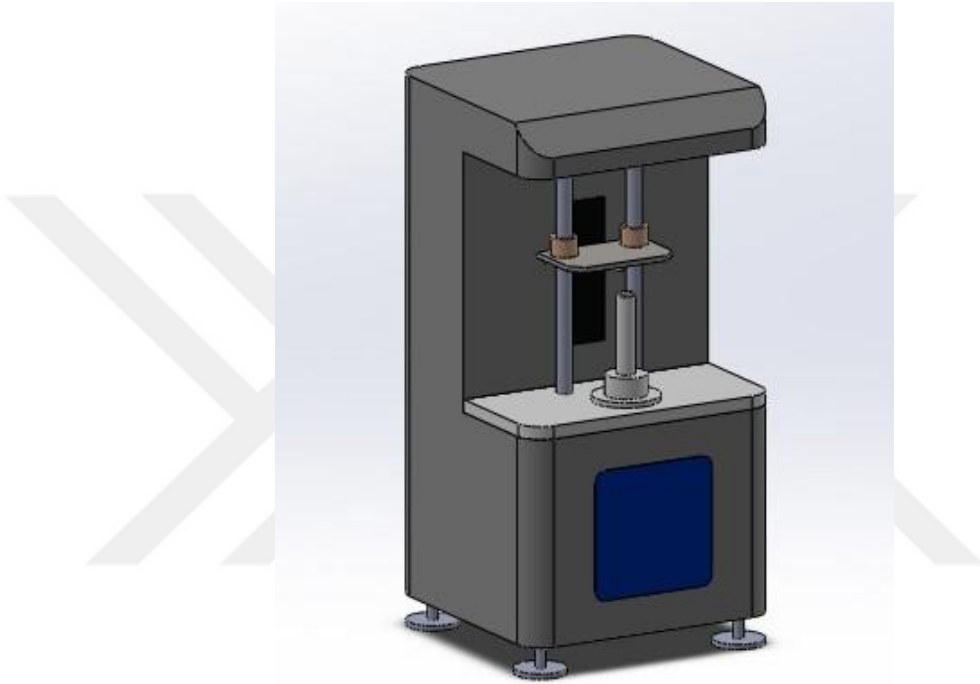
Simülasyon çalışması termos üretim hattının plastik şekillendirme bölümü için yapılacaktır. Bu bölümde var olan makinelerin tamamı robotik kollarla entegre bir şekilde çalışacaktır. Yarı mamül istasyonda işlendikten sonra robotik sistemler ile bir sonraki istasyona aktarılacaktır. Simülasyon yapılarak her bir istasyonda çalışacak robotların bağlı konumları ve hareketleri incelenecek ve daha verimli hale getirilmeye çalışılacaktır. Ayrıca bütün makineler sıralı bir şekilde dizilip makine parkuru haline getirilecek ve montaj dengeleme probleminde kullanılan ve hesaplanan süreler simülasyon sırasında kontrol edilecek, doğruluğu değerlendirilecektir.

#### 4.1.2 Simülasyonu yapılacak makinelerin belirlenmesi

Simülasyon çalışmasında termos üretim makineleri olan bölme makinesi, boyun işleme makinesi, alt şekillendirme makinesi, yuvarlama makinesi, kenar bükme makinesi, diş açma makinesi ve trimleme makineleri kullanılacaktır. Ayrıca bu makinelerin otomatik olarak çalıştırılması için robotik sistemler, konveyörler kullanılacaktır. Robotik sistem olarak GSK marka 6 eksen sanayi tip robot robodk

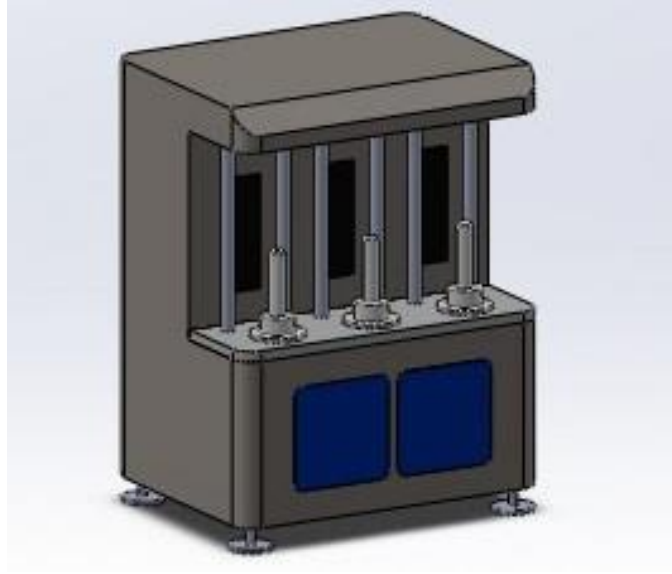
programının çevrimiçi kütüphanesinden indirilmiştir. Robotların yükseklik ayarı için üzerine konulacağı tabla ve koveyör sistemleri de sembolik olarak programın kütüphanesinden indirilmiştir.

Tek istasyon olan bölme makinesi, alt şekillendirme makinesi, yuvarlama makinesi, kenar bükme makinesi, dış açma makinesi ve trimleme makinelerini temsil etmesi için tek bir tasarım yapılmış olup ve sembolik olarak bu tasarım kullanılacaktır. (Şekil 4.1)



**Şekil 4.1: Tek İstasyonlu Makinelerin Solidworks Programında Sembolik Çizimi**

Montaj dengeleme işlemi sonrasında 3 istasyonlu olmasına karar verilen boyun işleme makinesini temsil etmesi için farklı tasarım yapılmış ve sembolik olarak bu tasarım kullanılacaktır. (Şekil 4.2)



**Şekil 4.2:Üç İstasyonlu Boyun İşleme Makinesinin Solidworks Programında Sembolik Çizimi**

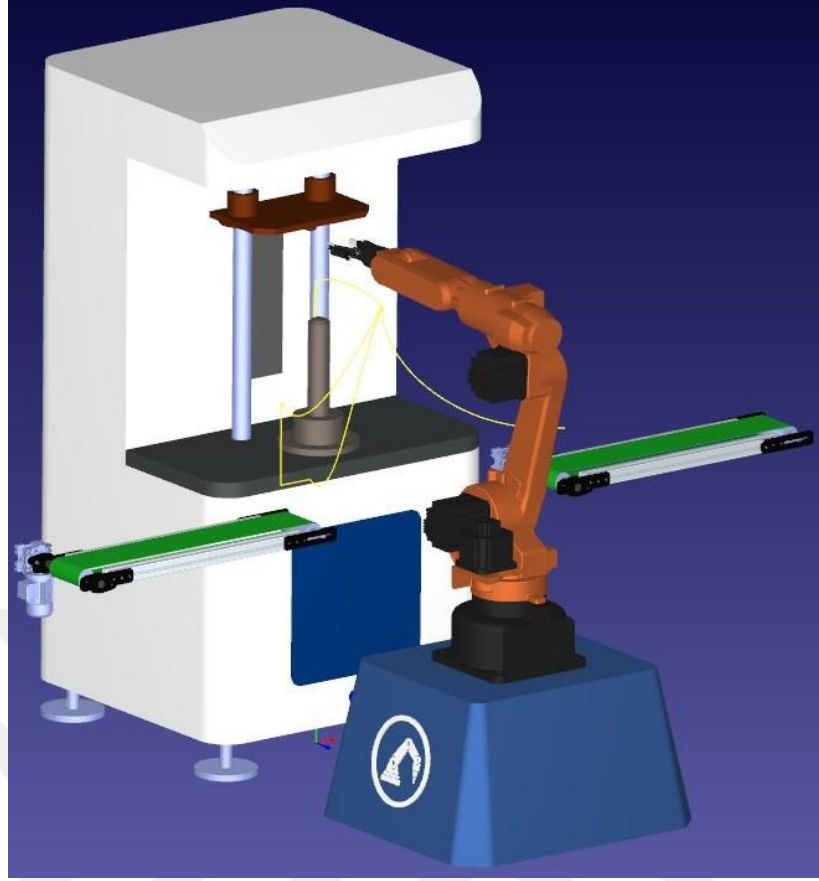
#### **4.1.3 Simülasyon Yapılması**

Robotik sistemlerin simülasyonu robodk programı ile yapılmıştır. Simülasyonun başlangıcı üretim başlangıcı değil, yarı mamül olan termosun bütün iş istasyonların işlem görmesi ve döngünün tekrarlamaya başlaması olarak kabul edilmiştir. Simülasyon çalışmaları kapsamında tek istasyonlu ve 3 istasyonlu olan makineler incelenmiştir.

##### **4.1.3.1 Tek İstasyon Makinelerin Simülasyon Çalışması**

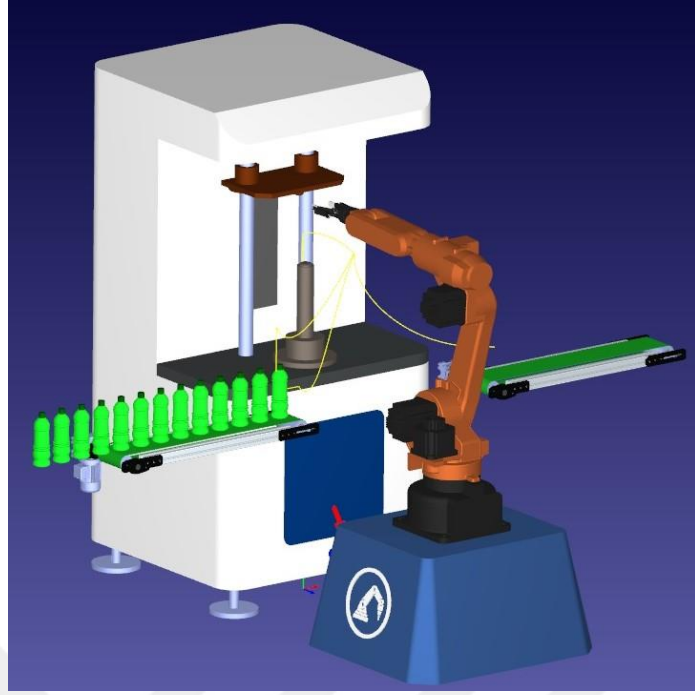
Tek istasyon olan bölme makinesi, uç kesme makinesi, alt şekillendirme makinesi, yuvarlama makinesi, kenar bükme makinesi, diş açma makinesi ve trimleme makinelerini temsilen tek bir simülasyon çalışması yapılmıştır.

Simülasyon çalışmasında öncelik temsili tek istasyon makinesi, robot ve üzerine konulacağı tabla ile entegre çalışacakları konveyörler sisteme yerleştirilmiştir. (Şekil 4.3)



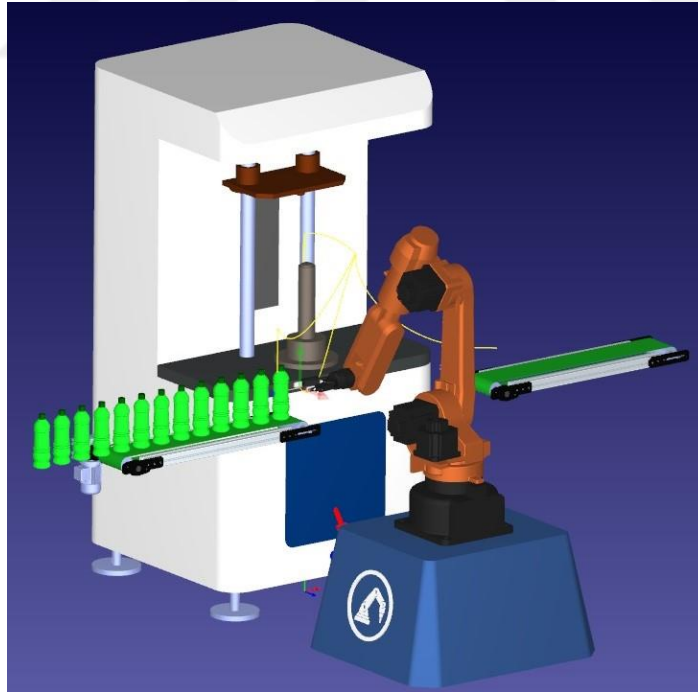
**Şekil 4.3: Robotk Programında Makinelerin Konumlandırılması**

Aşama 0; çalışma başlangıcında temsili termoslar konveyör üzerine eklenmiş ve robot dahil olmak üzere bütün makineler başlangıç pozisyonuna getirilmiştir ve bu pozisyonlar kaydedilmiştir. Simülasyonun başlangıç pozisyonu olarak kabul edilmiş ve sıfıncı saniye olarak belirlenmiştir. (Şekil 4.4)



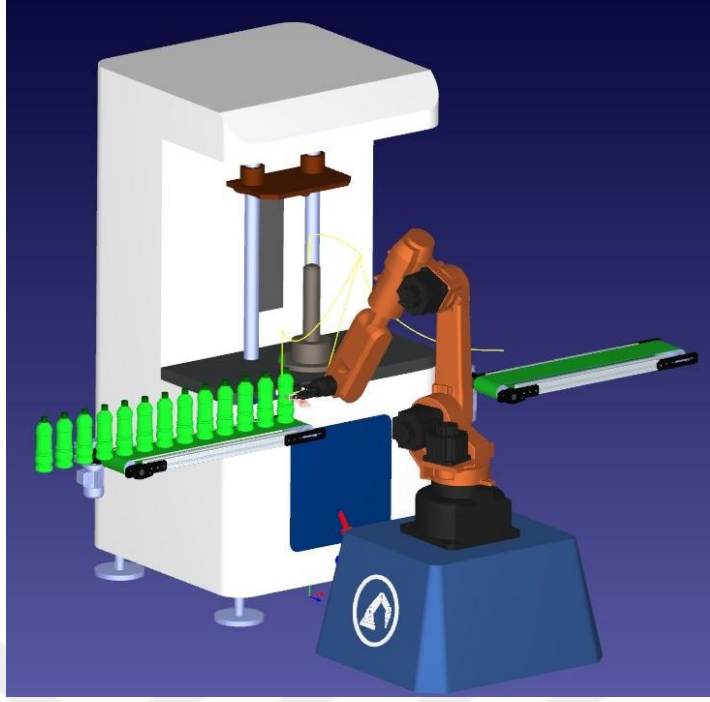
**Şekil 4.4: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 0**

Aşama 1; robot boruyu almak üzere yaklaşma pozisyonuna gitmektedir. (Şekil 4.5)



**Şekil 4.5: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 1**

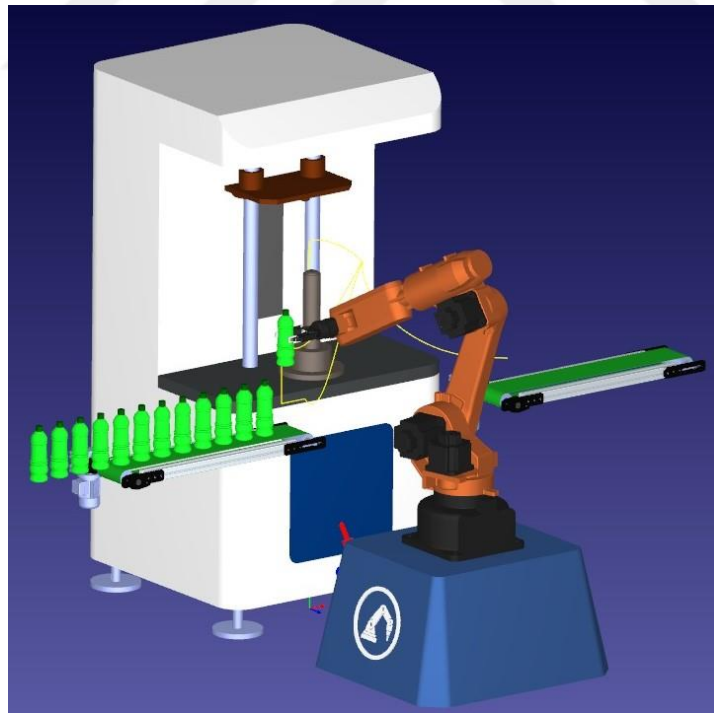
Aşama 2; robot boruyu tutma pozisyonundadır. (Şekil 4.6)



**Şekil 4.6: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 2**

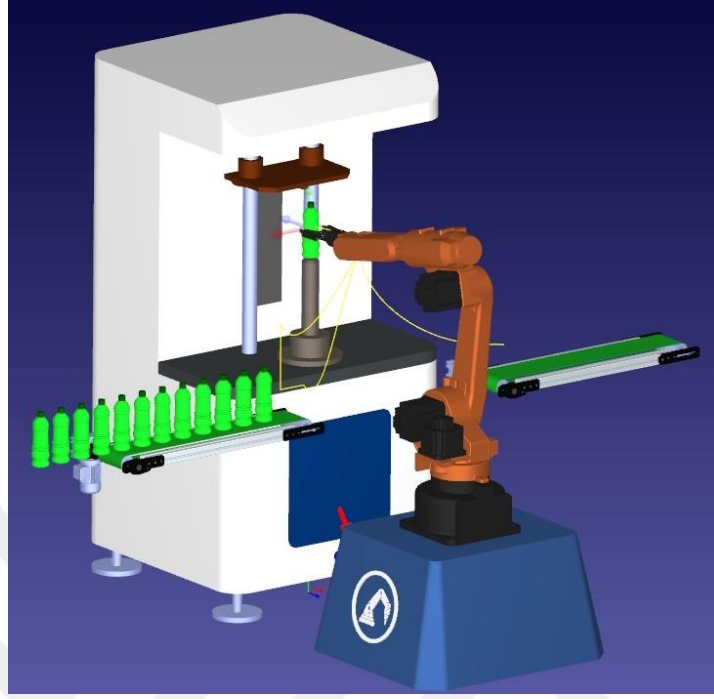
Aşama 3; robot boruyu tutmuş ve konveyörden temasını keserek kaldırmıştır.

(Şekil 4.7)



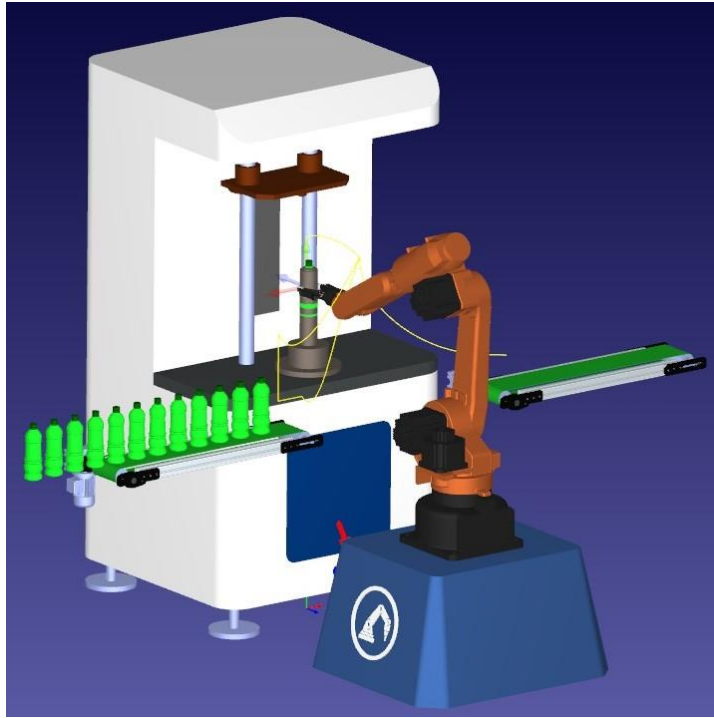
**Şekil 4.7: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 3**

Aşama 4; robot boruyu iş istasyonuna yerleştirmek üzere yaklaşma pozisyonundadır. (şekil 4.8)



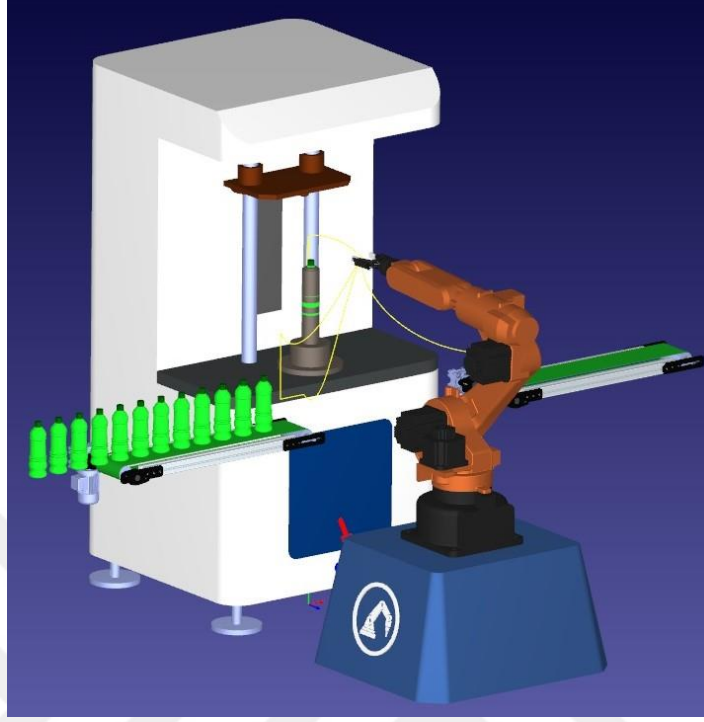
**şekil 4.8: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 4**

Aşama 5; robot boruyu iş istasyonuna yerleştirmiştir. (şekil 4.9)



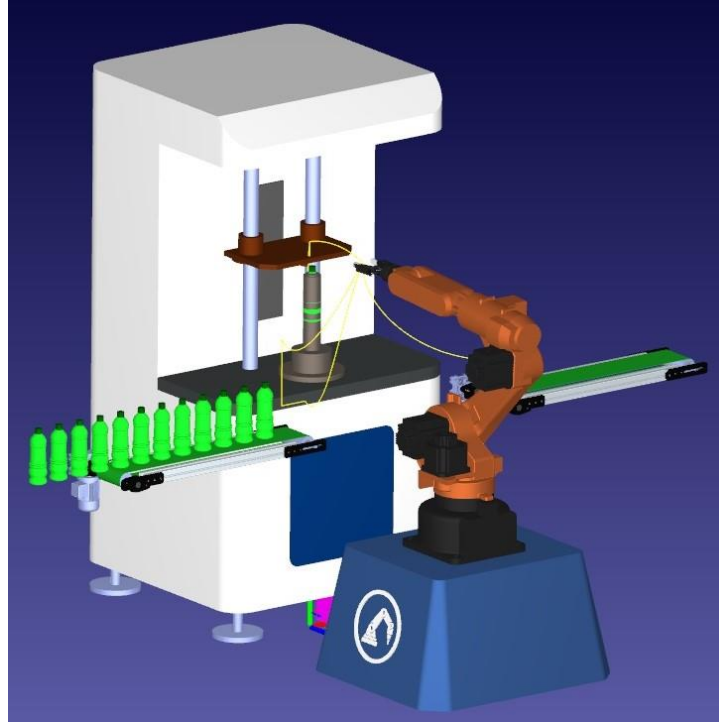
**şekil 4.9: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 5**

Aşama 6; robot makinenin çalışmasına izin vermek için geri çekilmiştir.  
(şekil 4.10)



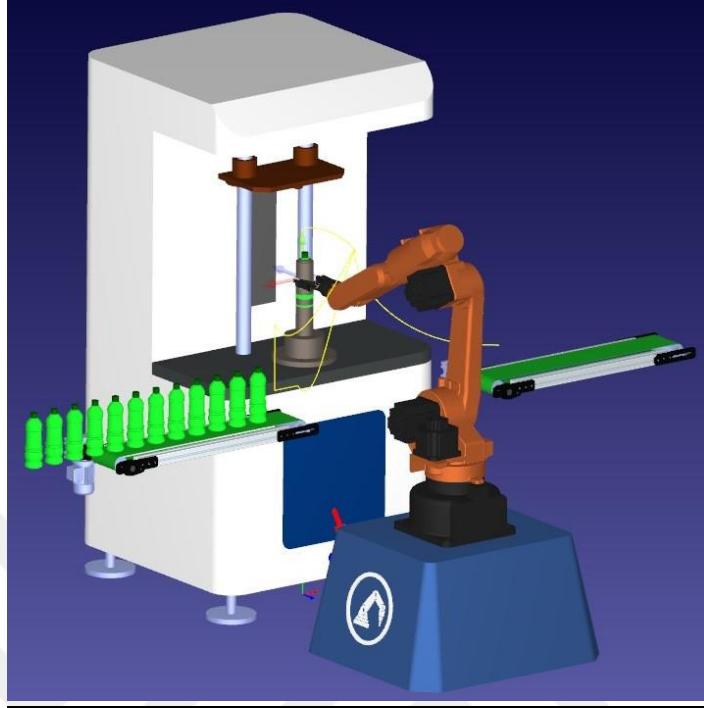
şekil 4.10: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 6

Aşama 7; iş istasyonu görevini çalışmakta, boruyu işlemektedir. (şekil 4.11)



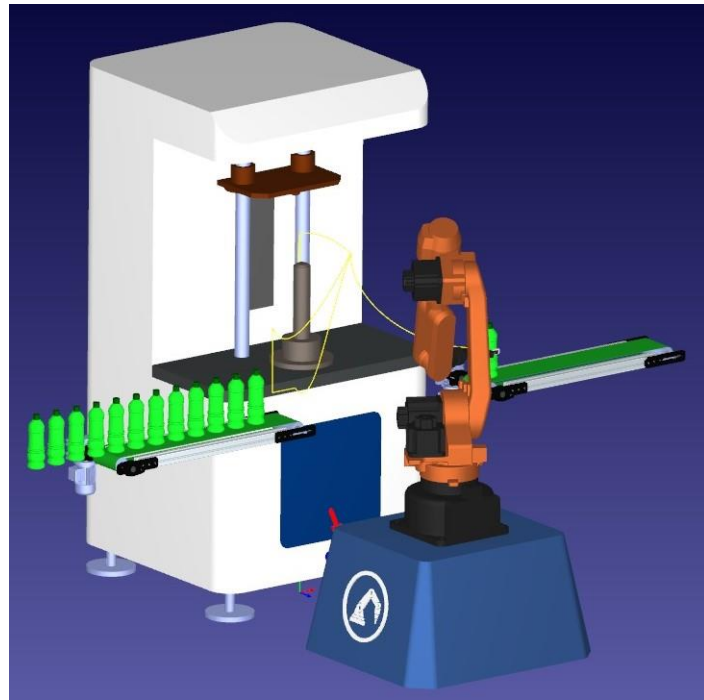
şekil 4.11: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 7

Aşama 8; iş istasyonu görevini tamamladıktan sonra robot boruyu almak üzere yaklaşmış ve tutmuştur. (şekil 4.12)



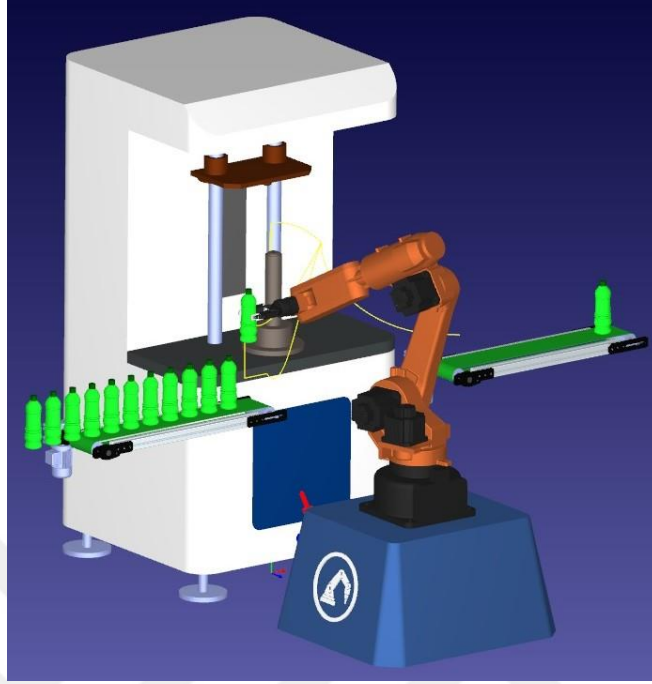
**şekil 4.12: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 8**

Aşama 9; robot işlemi bitmiş boruyu bir sonraki iş istasyonu iletilmesi için konveyör üzerine koymuştur. (şekil 4.13)



**şekil 4.13: Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 9**

Aşama 10; Robot bir sonraki boruyu tutmuş ve yukarıdaki tarif edilen edilen bütün işlemleri tekrarlamak üzere döngü başlamıştır. (Şekil 4.14).

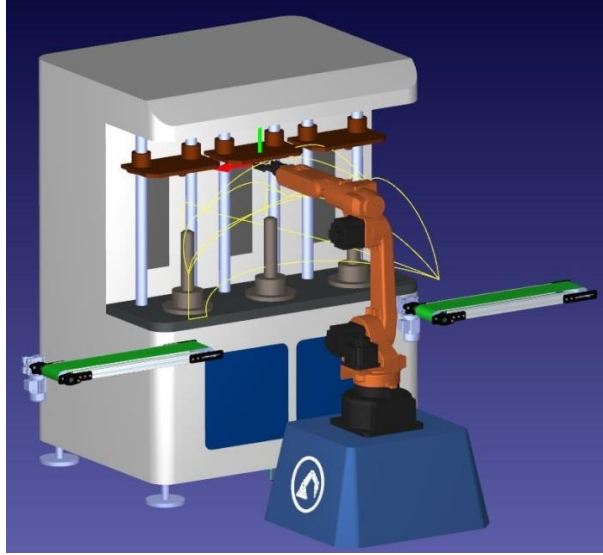


**Şekil 4.14:** Tek İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 10

Simülasyon 10 aşamada tamamlanmış ve aşamalar toplam 7 saniye sürmüştür.

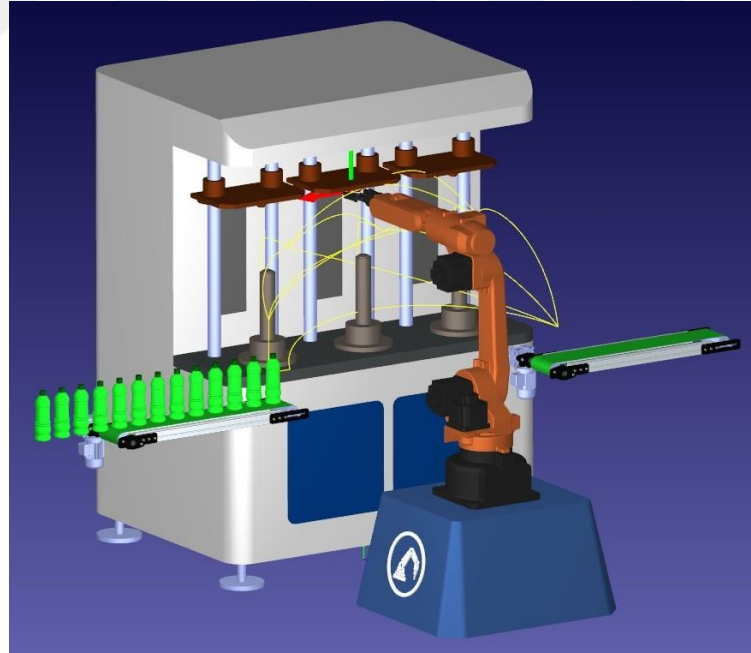
#### 4.1.3.2 Üç İstasyonlu Makinelerin Simülasyonu

3 istasyonlu boyun işleme makinesi için simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında boyun işleme makinesi, robot ve üzerine konulacağı tabla ile entegre çalışacakları konveyörler sisteme yerleştirilmiştir. (Şekil 4.15)



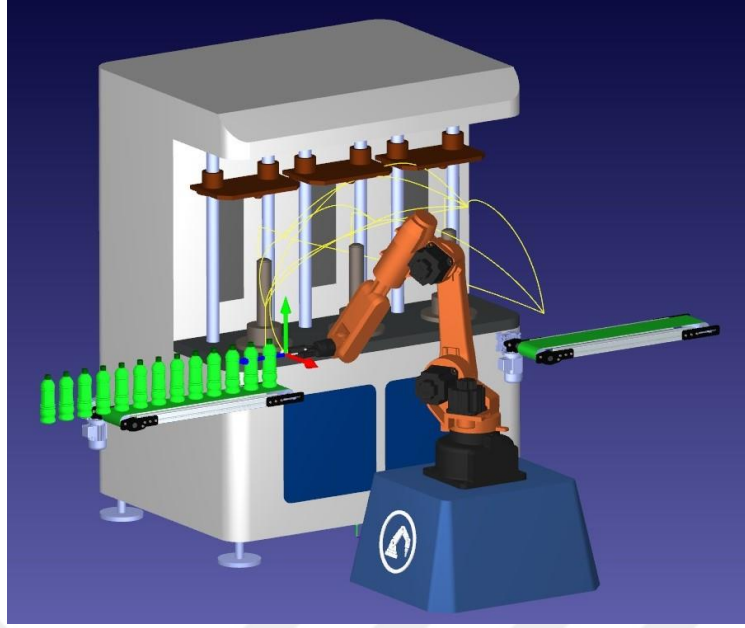
**Şekil 4.15:** Robotk Programında Makinelerin Konumlandırılması

Aşama 0; çalışmaya başlangıcında temsili termoslar konveyör üzerine eklenmiş ve robot dahil olmak üzere bütün makineler başlangıç pozisyonuna getirilmiştir ve bu pozisyonlar kaydedilmiştir. Simülasyonun başlangıç pozisyonu olarak kabul edilmiş ve sıfırıncı saniye olarak belirlenmiştir. (Şekil 4.16)

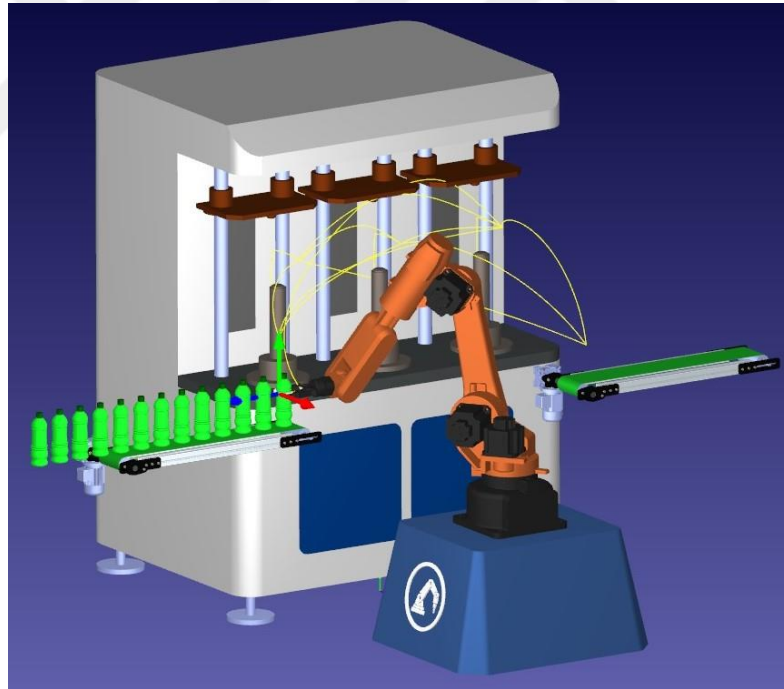


**Şekil 4.16:** Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 0

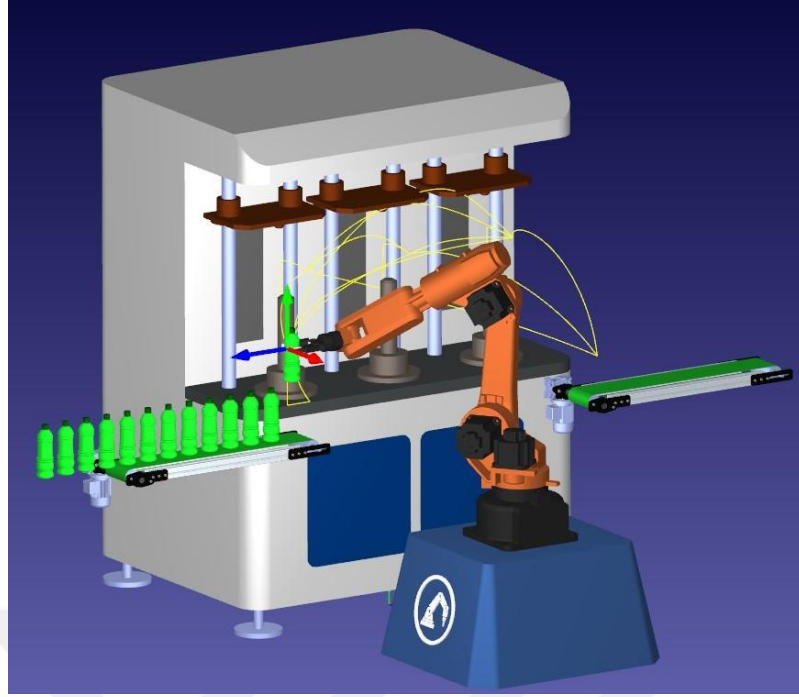
Aşama 1; robot boruyu almak üzere yaklaşma pozisyonuna gitmektedir. (Şekil 4.7)



**Şekil 4.17: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 1**  
Aşama 2; Robot boruyu tutma pozisyonundadır. (Şekil 4.18)

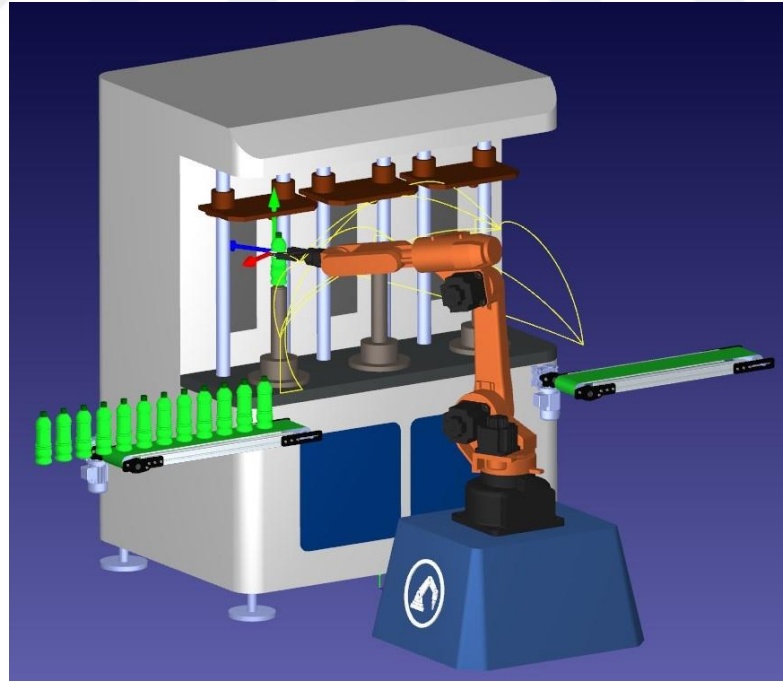


**Şekil 4.18: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 2**  
Aşama 3; Robot boruyu tutmuş ve kaldırmıştır. (Şekil 4.19)



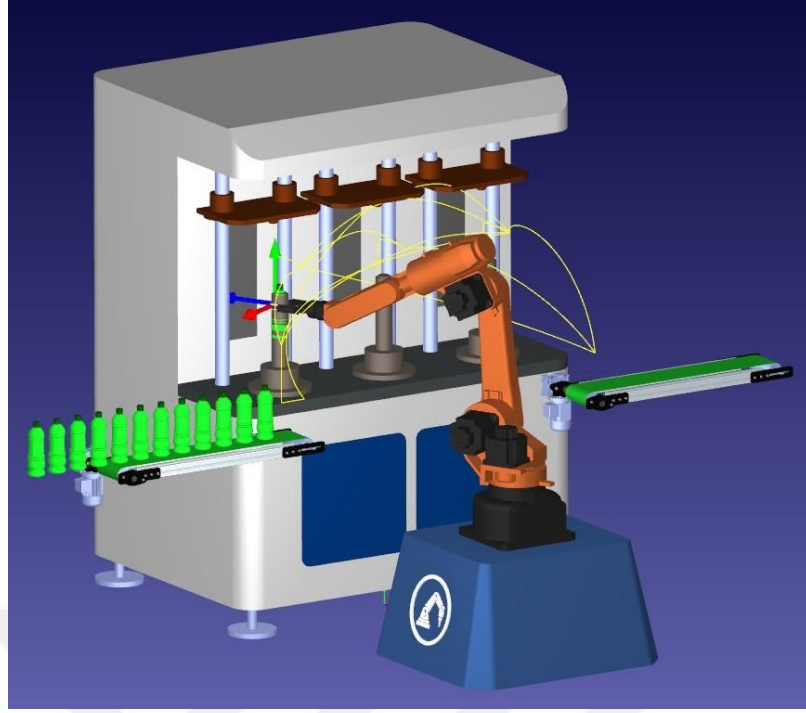
**Şekil 4.19: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 3**

Aşama 4; Robot boruyu iş istasyonuna yerleştirmek üzere yaklaşmıştır. (Şekil 4.20)



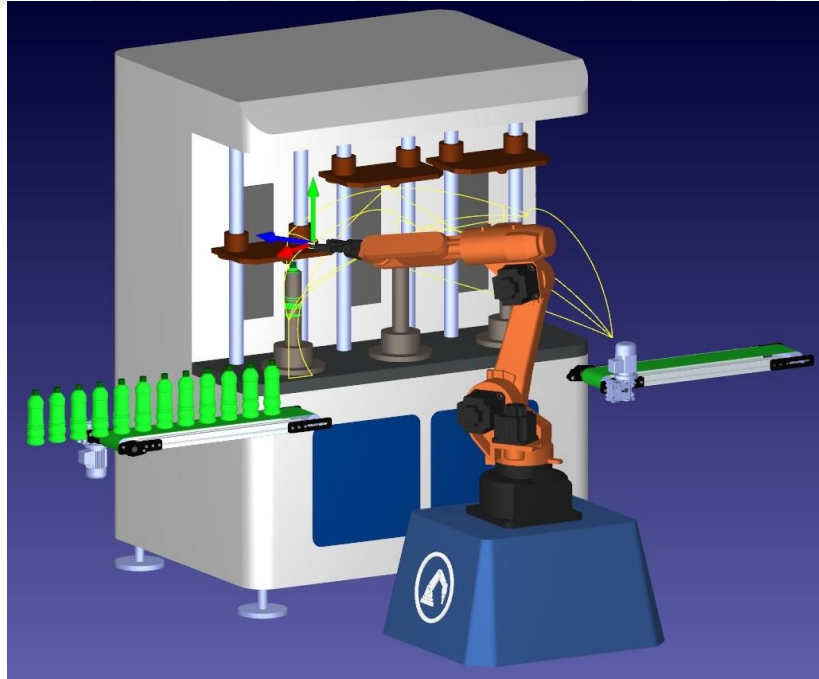
**Şekil 4.20: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 4**

Aşama 5; Robot boruyu iş istasyonuna yerleştirmiştir. (Şekil 4.21)



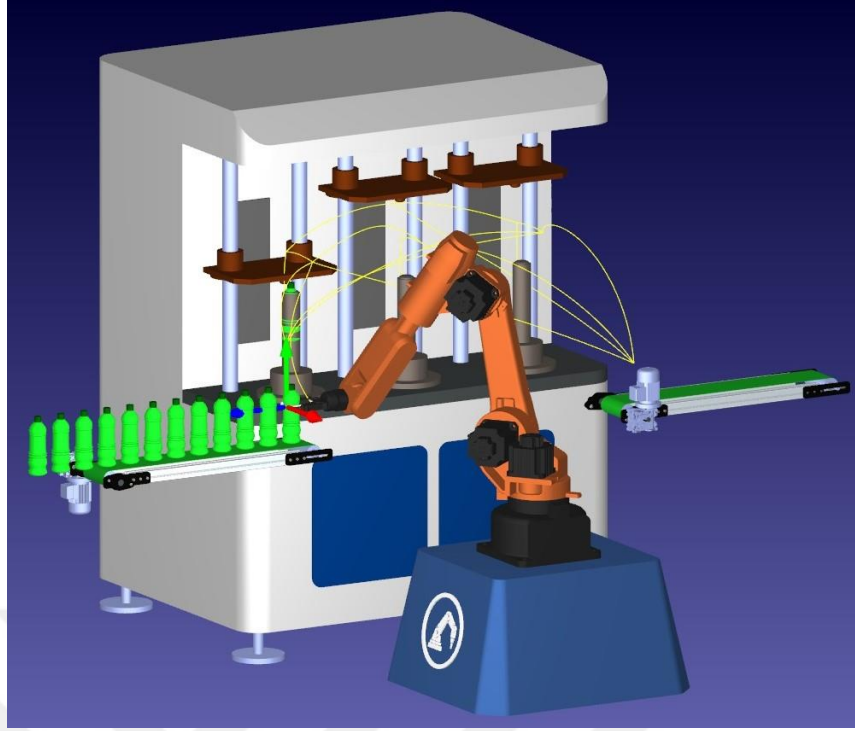
**Şekil 4.21: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 5**

Aşama 6; Robot geri çekilmiş ve birinci iş istasyonu çalışmaya başlamıştır. (Şekil 4.22)



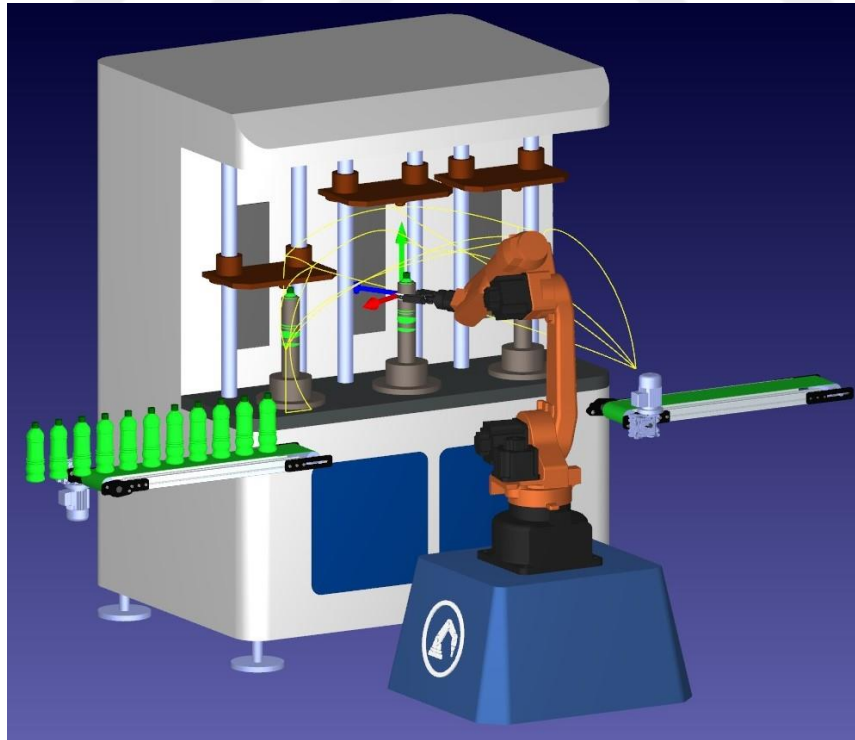
**Şekil 4.22: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 6**

Aşama 7; robot sıradaki boruyu tutmuştur. (Şekil 4.23)



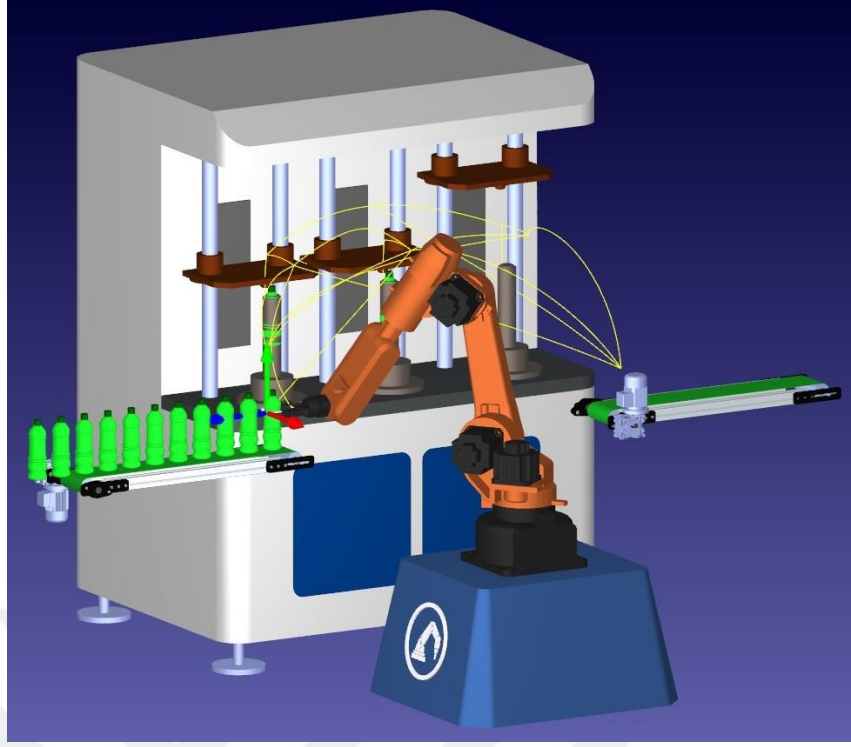
**Şekil 4.23: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 7**

Aşama 8; robot sıradaki boruyu ikinci iş istasyonuna koymuştur. (Şekil 4.24)



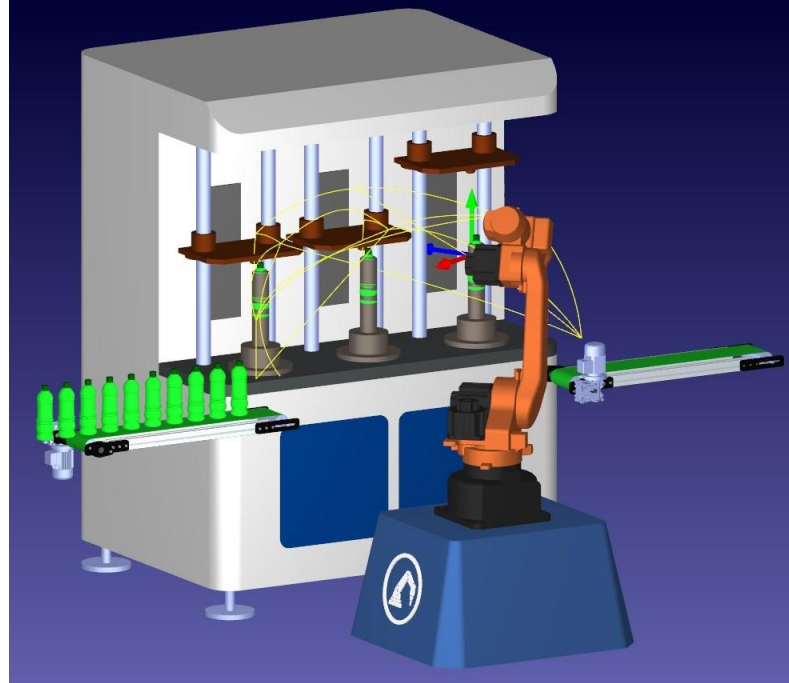
**Şekil 4.24: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 8**

Aşama 9; robot sıradaki boruyu tutmuştur. (Şekil 4.25)



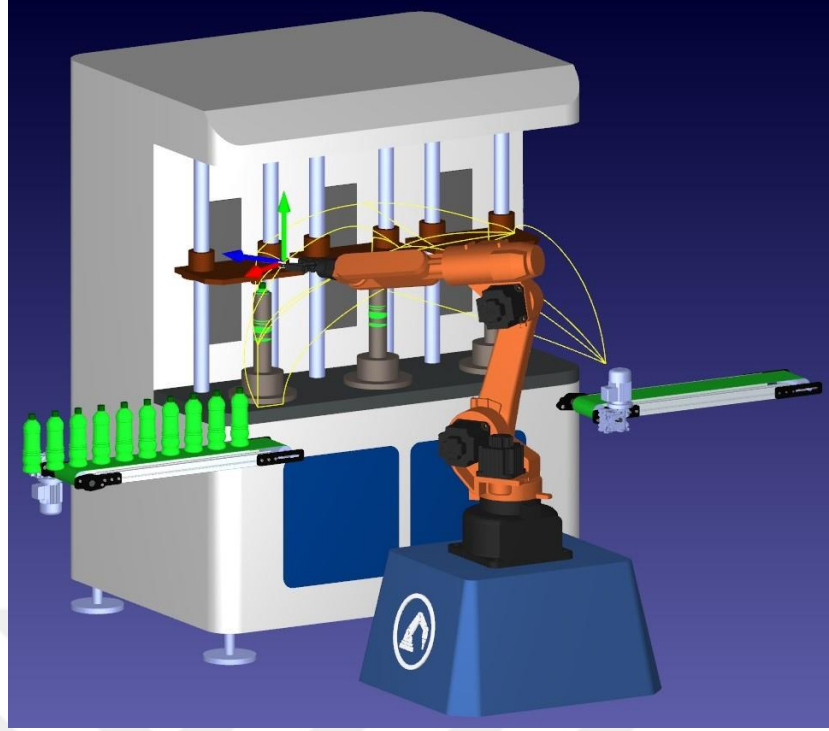
**Şekil 4.25: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 9**

Aşama 10; robot sıradaki boruyu üçüncü iş istasyonuna koymuştur. (Şekil 4.26)



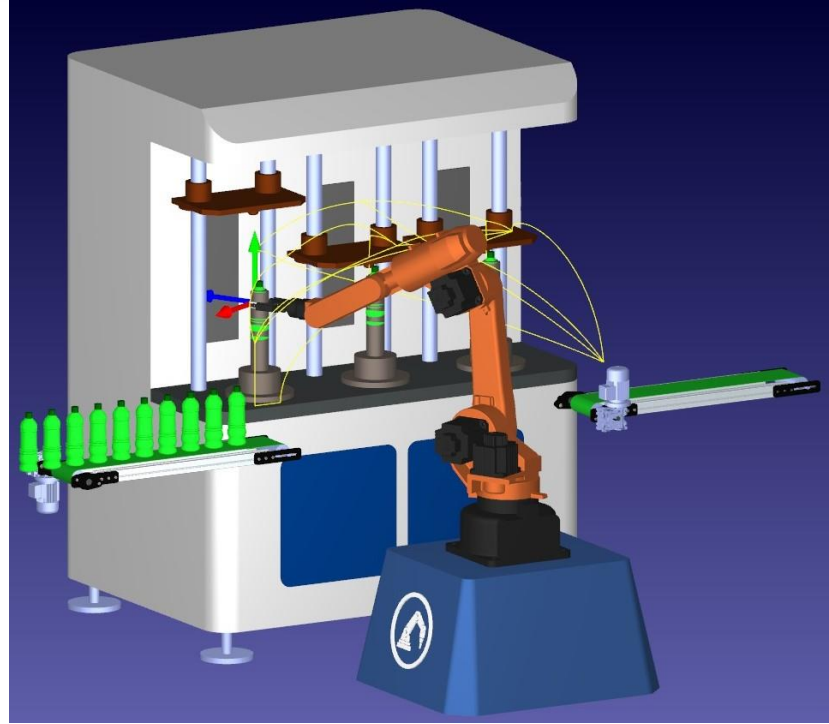
**Şekil 4.26: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 10**

Aşama 11; robot birinci iş istasyonundaki işlemin bitmesini beklemek için en yakın konuma gelmiş ve beklemektedir. (Şekil 4.27)



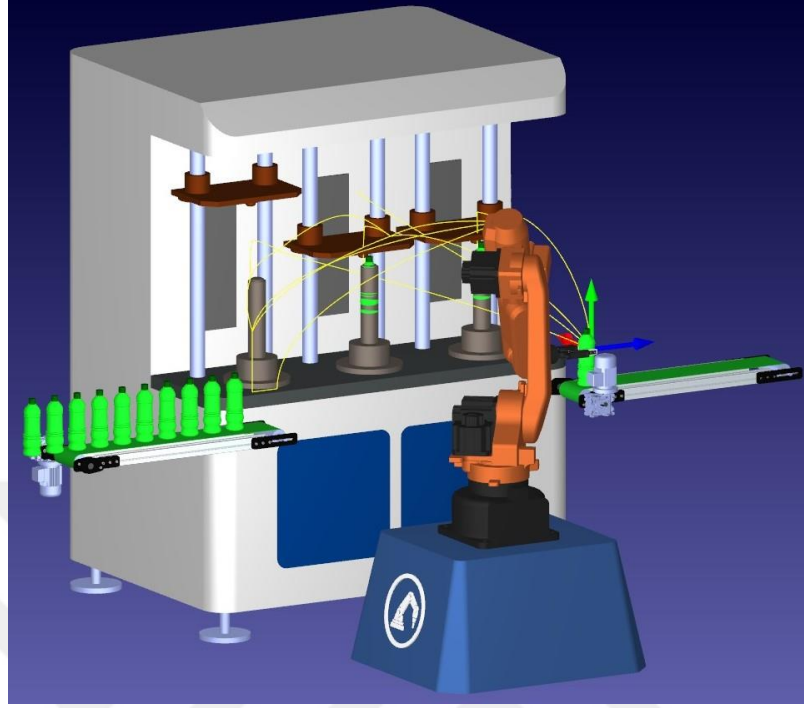
**Şekil 4.27: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 11**

Aşama 12; robot birinci iş istasyonundaki işlemin bitmesi ile birlikte iş istasyonundaki parçayı tutmuştur. (Şekil 4.28)



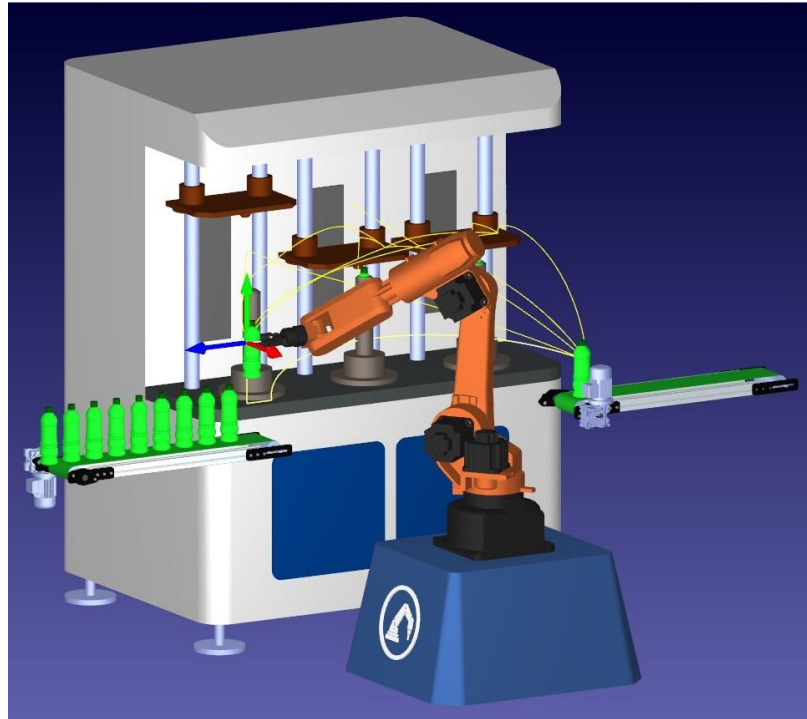
**Şekil 4.28: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 12**

Aşama 13; robot işlemi biten boruyu sıradaki konveyörün üzerine koymuştur.  
(şekil 4.29)



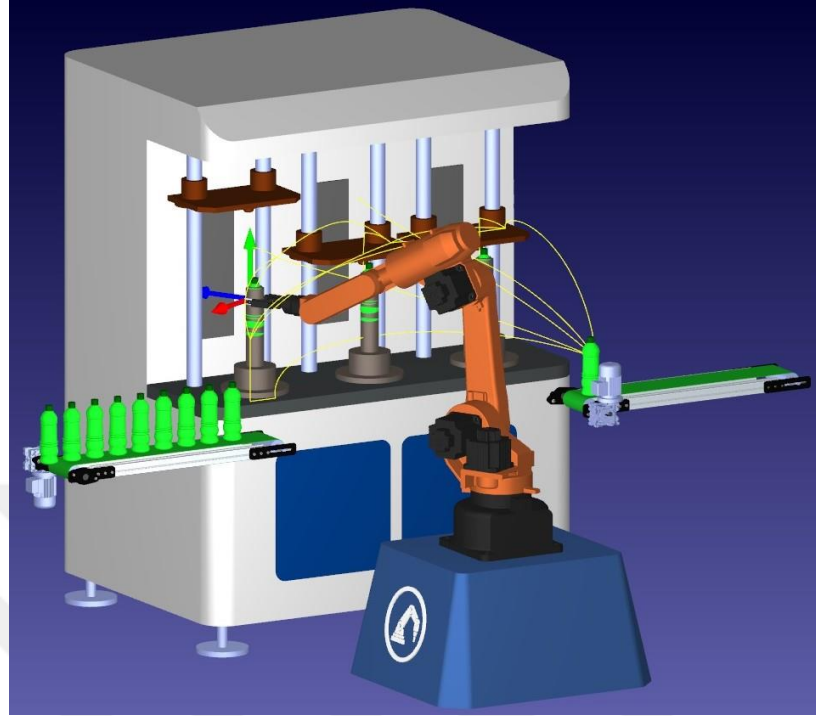
şekil 4.29: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 13

Aşama 14; robot sıradaki boruyu tutmuştur. (şekil 4.30)



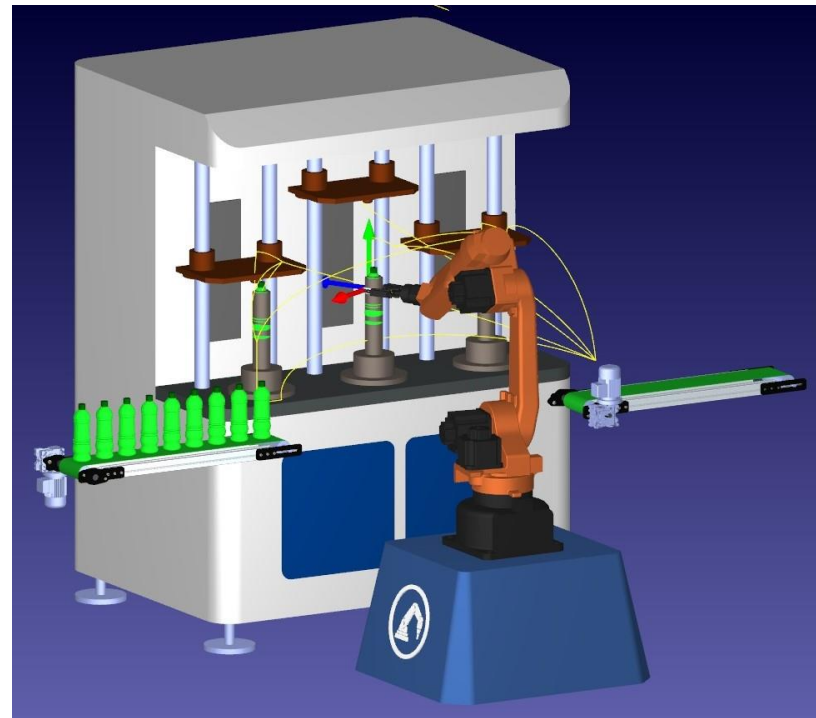
şekil 4.30: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 14

Aşama 15; robot sıradaki boruyu bir önceki işlemi biten birinci iş istasyonuna koymuştur. (Şekil 4.31)



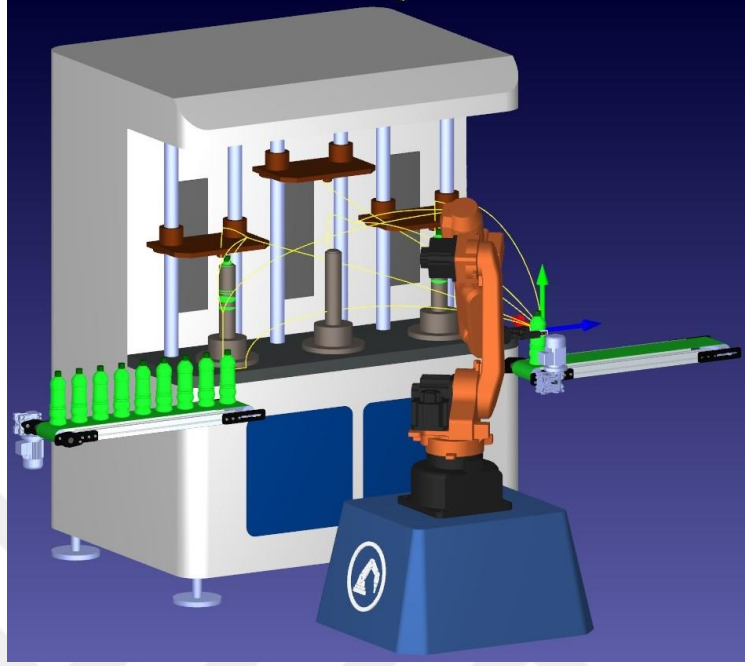
**Şekil 4.31: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 15**

Aşama 16; robot ikinci iş istasyonundaki işlemin bitmesi ile birlikte iş istasyonundaki parçayı tutmuştur. (Şekil 4.32)



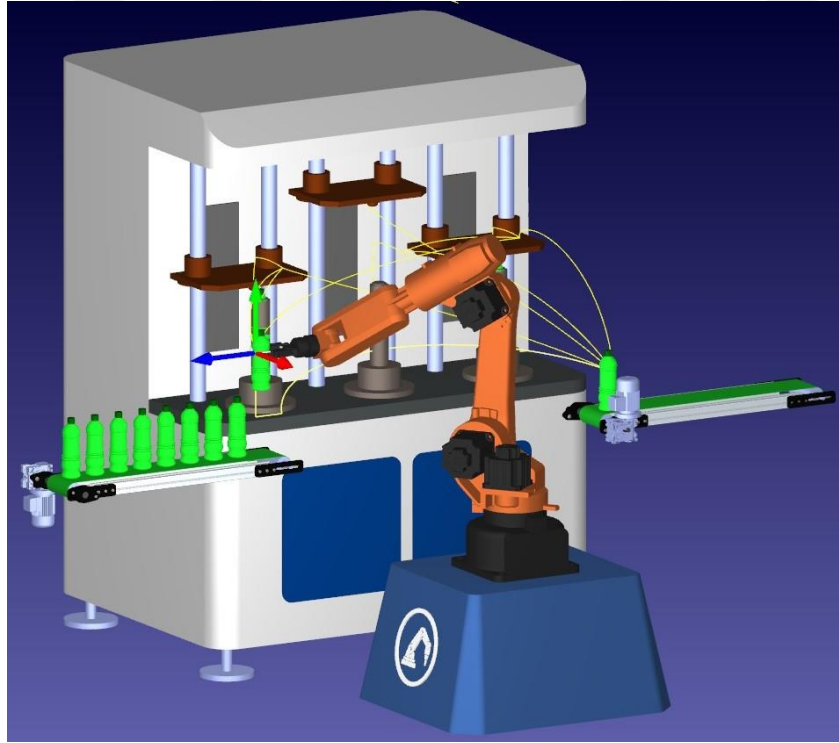
**Şekil 4.32: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 16**

Aşama 17; robot işlemi biten boruyu sıradaki konveyörün üzerine koymuştur.  
(Şekil 4.33)



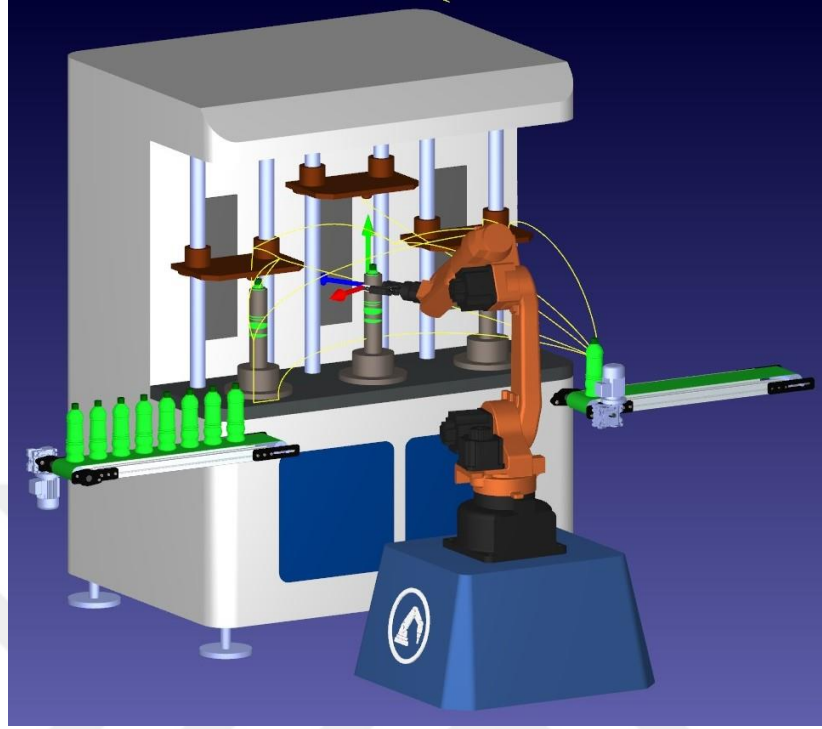
Şekil 4.33: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 17

Aşama 18; robot sıradaki boruyu tutmuştur. (Şekil 4.34)



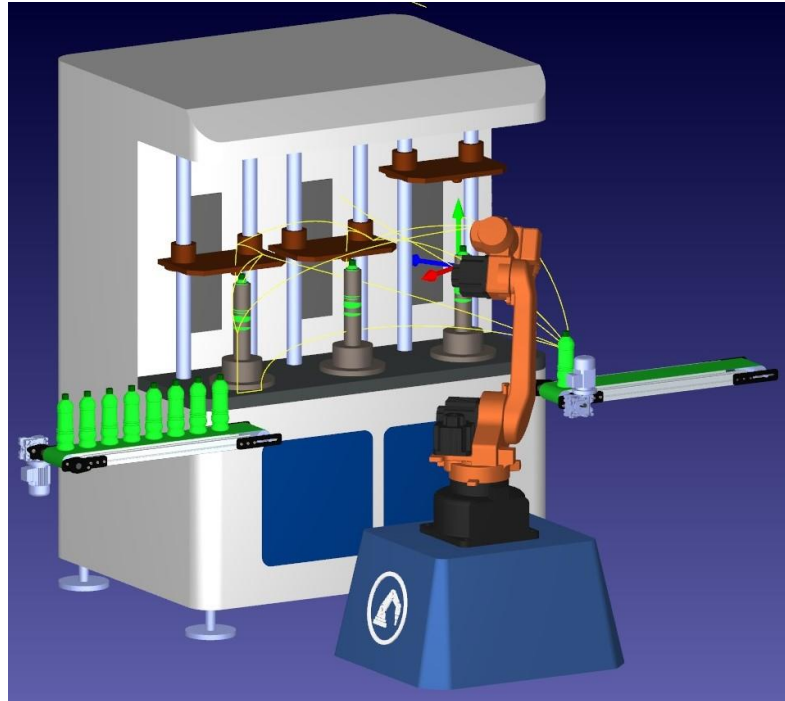
Şekil 4.34: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 18

Aşama 19; robot sıradaki boruyu bir önceki işlemi biten ikinci iş istasyonuna koymuştur. (Şekil 4.35)



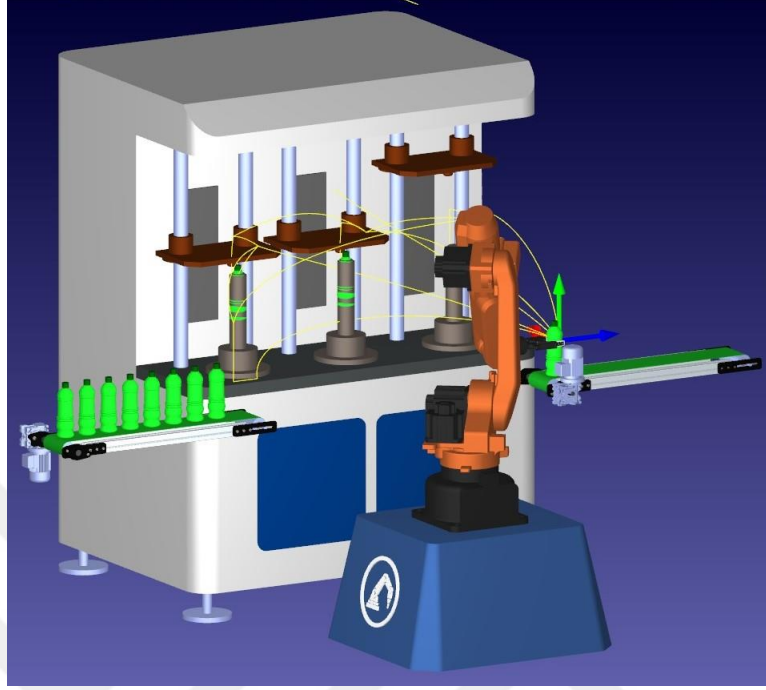
**Şekil 4.35: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 19**

Aşama 20; robot üçüncü iş istasyonundaki işlemin bitmesi ile birlikte iş istasyonundaki parçayı tutmuştur. (Şekil 4.36)



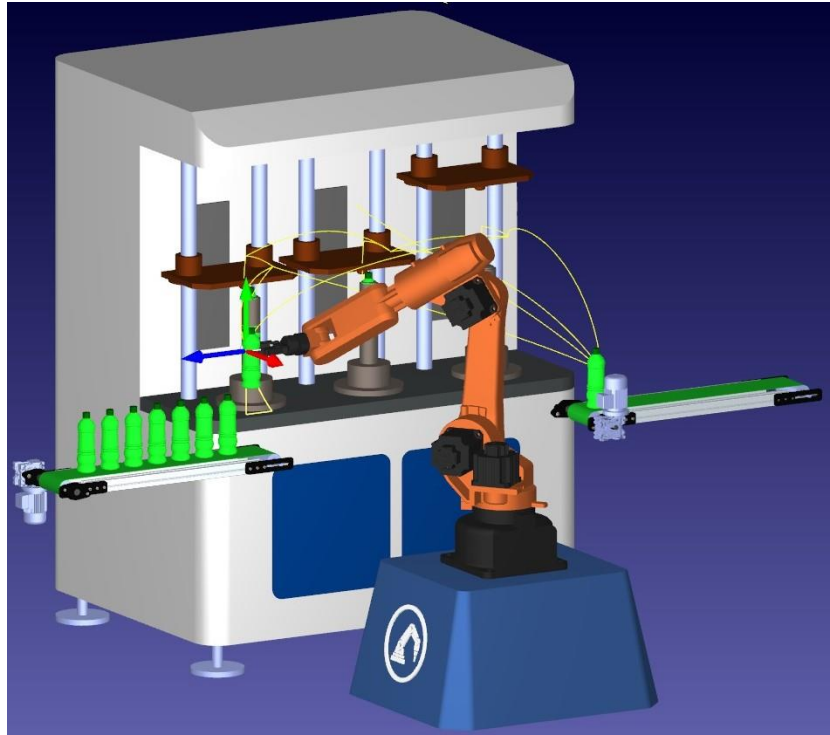
**Şekil 4.36: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 20**

Aşama 21; robot işlemi biten boruyu sıradaki konveyörün üzerine koymuştur.  
(Şekil 4.37)



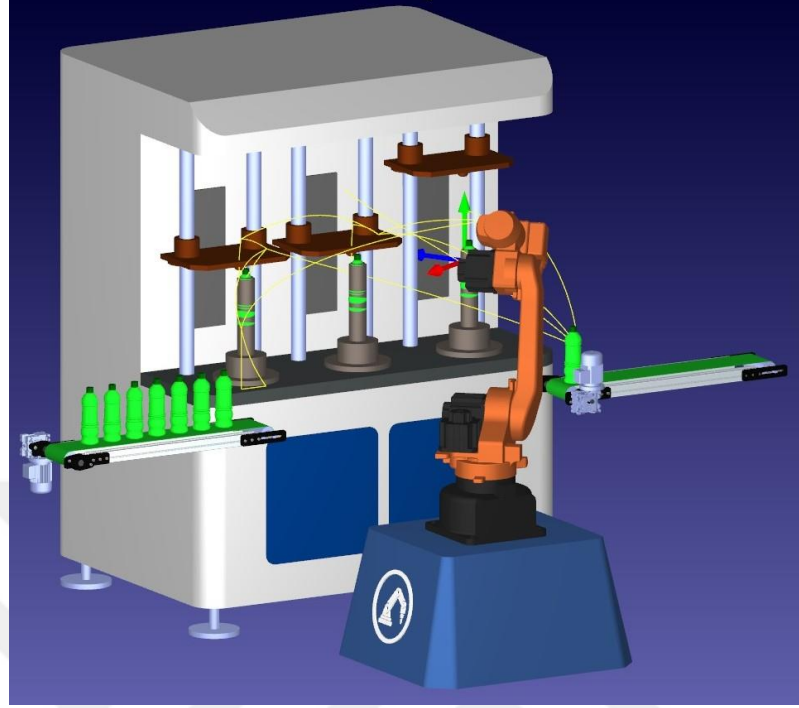
Şekil 4.37: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 21

Aşama 22; robot sıradaki boruyu tutmuştur. (Şekil 4.38)



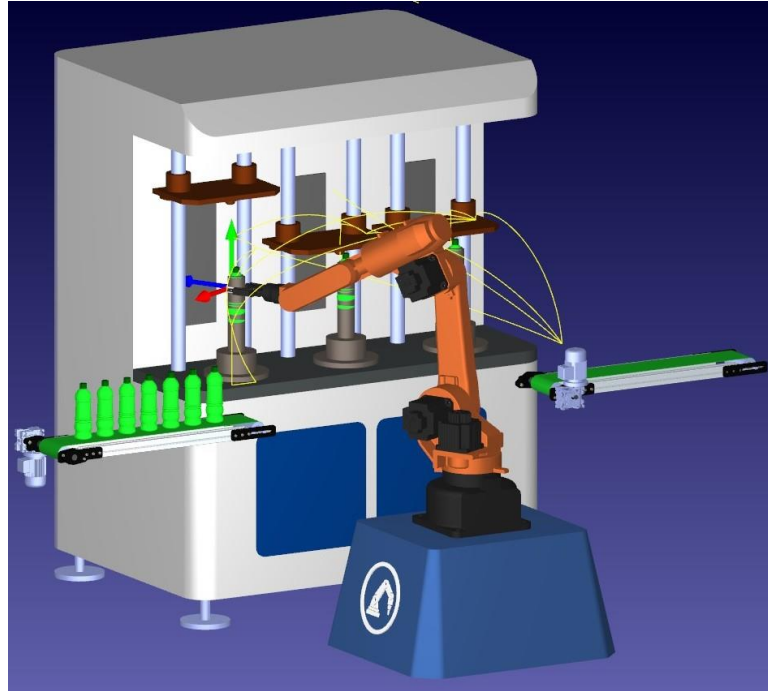
Şekil 4.38: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 22

Aşama 23; robot sıradaki boruyu bir önceki işlemi biten üçüncü iş istasyonuna koymuştur. (Şekil 4.39)



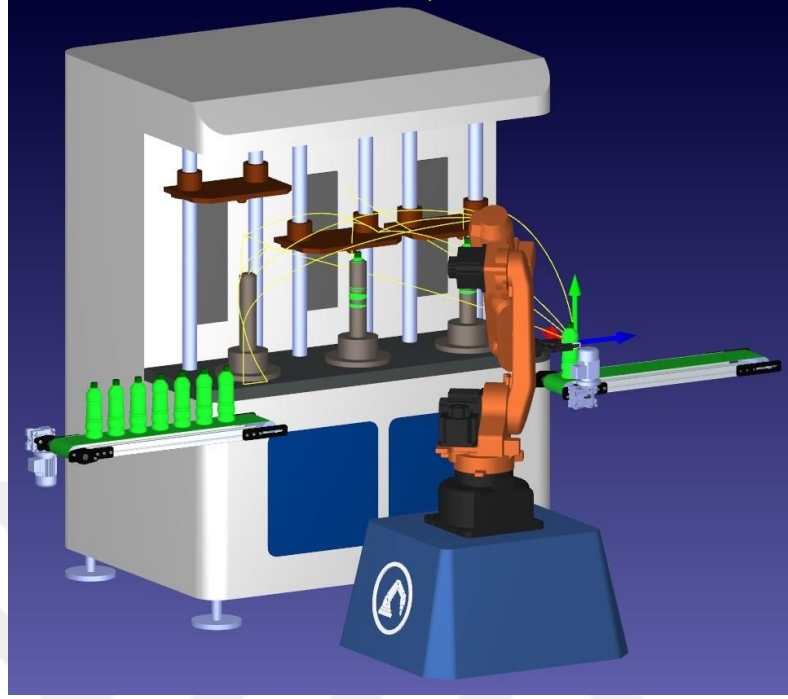
**Şekil 4.39: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 23**

Aşama 24; robot birinci iş istasyonundaki işlemin bitmesi ile birlikte iş istasyonundaki parçayı tutmuştur. (Şekil 4.40)



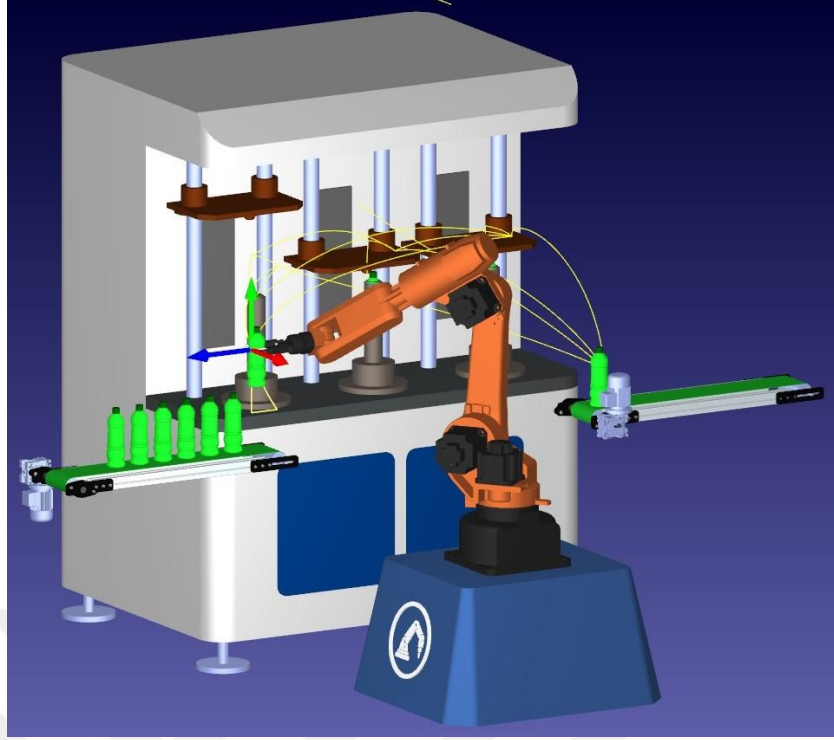
**Şekil 4.40: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 24**

Aşama 25; robot işlemi biten boruyu sıradaki konveyörün üzerine koymuştur.  
(Şekil 4.41)



**Şekil 4.41: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 25**

Aşama 26; robot sıradaki boruyu tutmuştur ve yukarıda tarif edilen işlemlerden aşama 13 ve 25 arasındaki bütün işlemleri tekrarlamak üzere döngüye girmiştir. (Şekil 4.42)



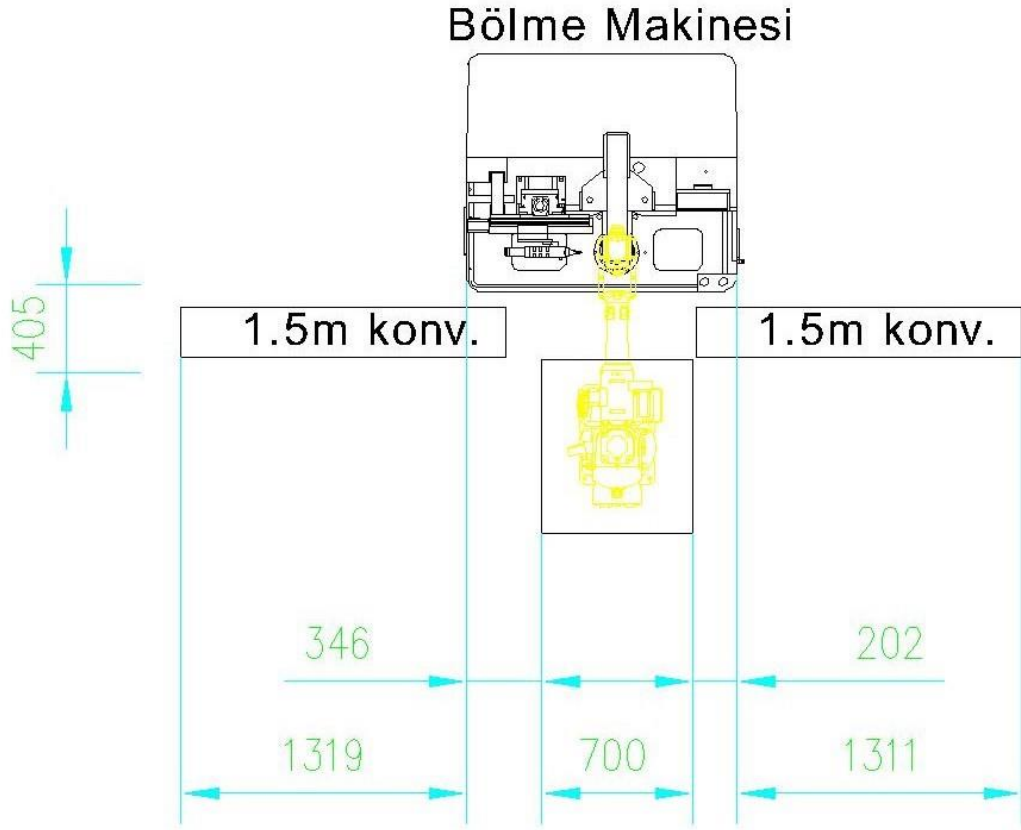
**Şekil 4.42: Üç İstasyonlu Makine İçin Simülasyon Aşama 26**

Simülasyon 25 aşamada tamamlanmış ve bütün bu aşamalar toplam 44 saniye sürmüştür. İlk 12 aşama çevrim süresine dahil olmayıp sadece ilk çalışma sırasında geçerlidir. Bu aşamalarda robot boş olan üç istasyonunu da doldurmuş ve 13. aşamadan itibaren döngü geçerli olmuştur. Döngünün geçerli olduğu aşamaların işlem süresi ise 35 saniye sürmüştür.

#### **4.1.4 Simülasyondan elde edilen veriler**

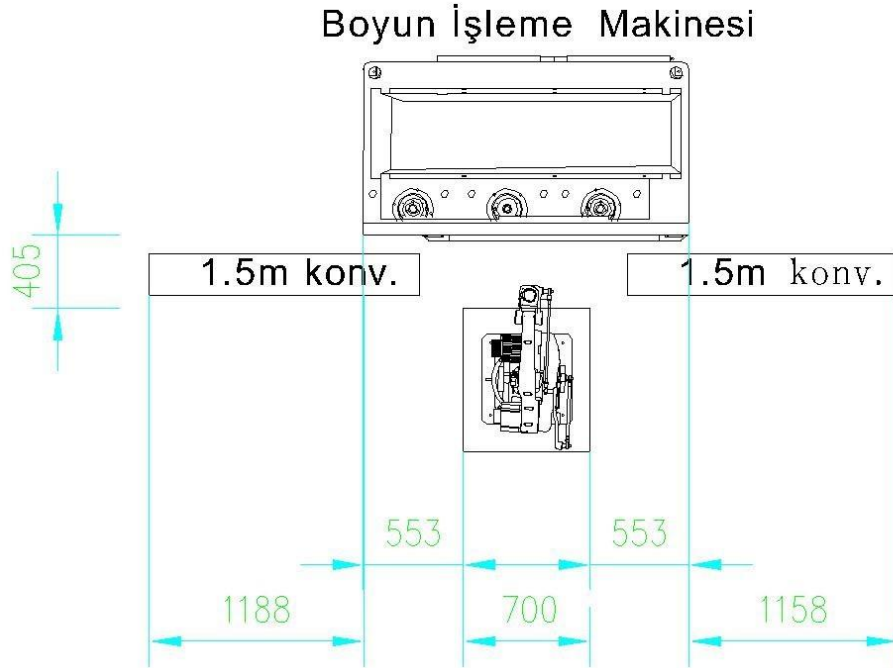
RoboDk programı yardımıyla makinelerin ve özellikle robotların çalışması simüle edilmiş, robot hareketleri iyileştirilmiş, robot hareketlerinin daha verimli olması için makinelerin birbirlerine göre olan konumları iyileştirilmiştir. Böylece makineler kurulmadan önce bir ön fikir elde edilmiş ve üretim verimi robotların daha kısa alanda daha hızlı çalışması sağlanarak arttırılmıştır.

Belirlenen robot pozisyonları Autocad isimli iki boyutlu çizim programı yardımıyla ölçülandırılmıştır. Şekil 4.43'te tek istasyonlu olan makineler için yerleşim gösterilmiştir.



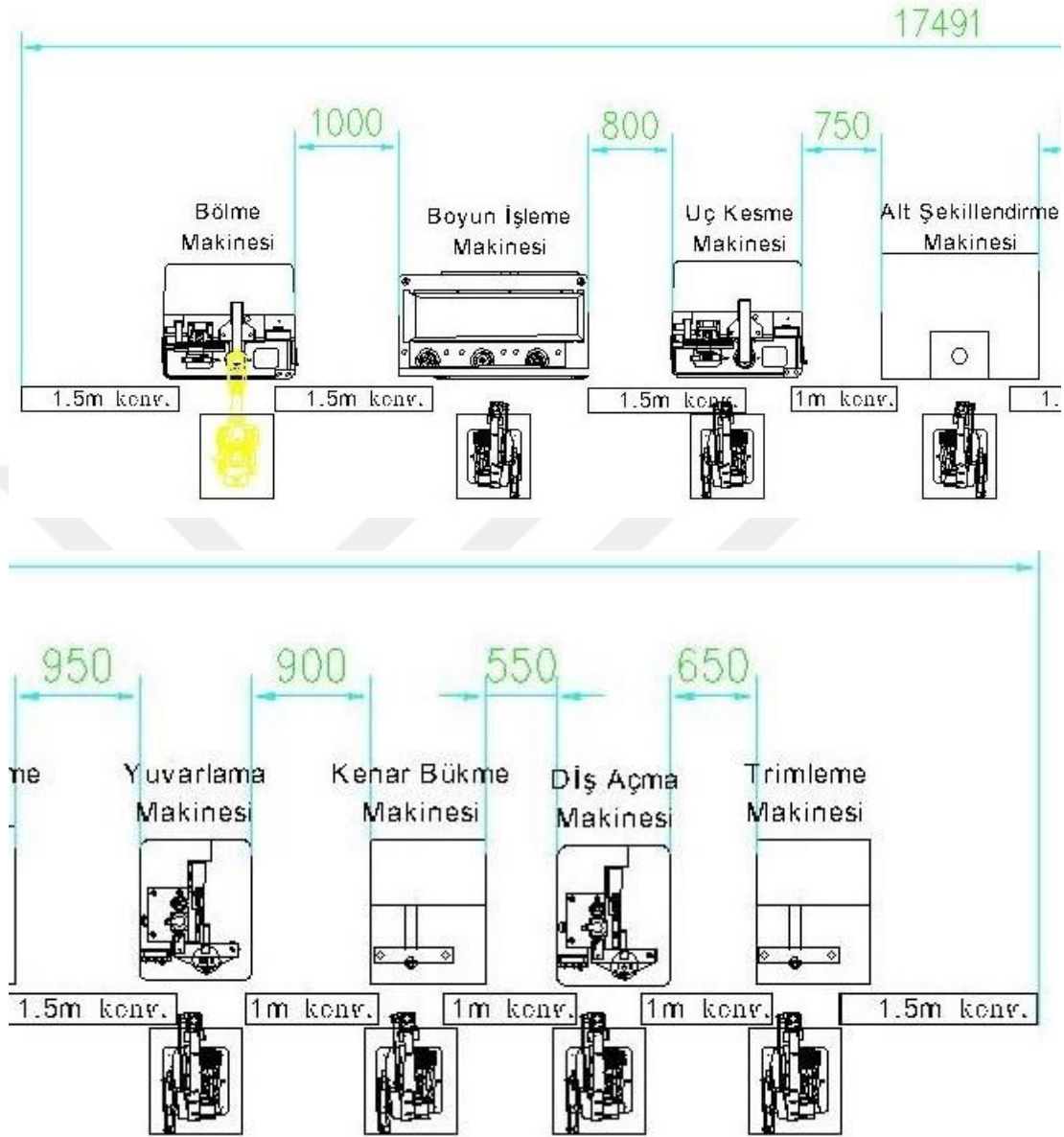
**Şekil 4.43: Bölme Makinesi ve Robotun Bağlı Pozisyonları**

Şekil 4.44'te üç istasyonlu olan boyun işleme makinesi için yerleşim gösterilmiştir.



**Şekil 4.44: Boyun İşleme Makinesi ve Robotun Bağlı Pozisyonları**

Bütün makineler makine parkuru haline getirilmiş ve şekil 4.45'te yerleşimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.45: Plastik Şekillendirme Hattındaki Makinelerin Bağıl Pozisyonları

## 4.2 Termos İçin Robotik Tutucu Tasarımı

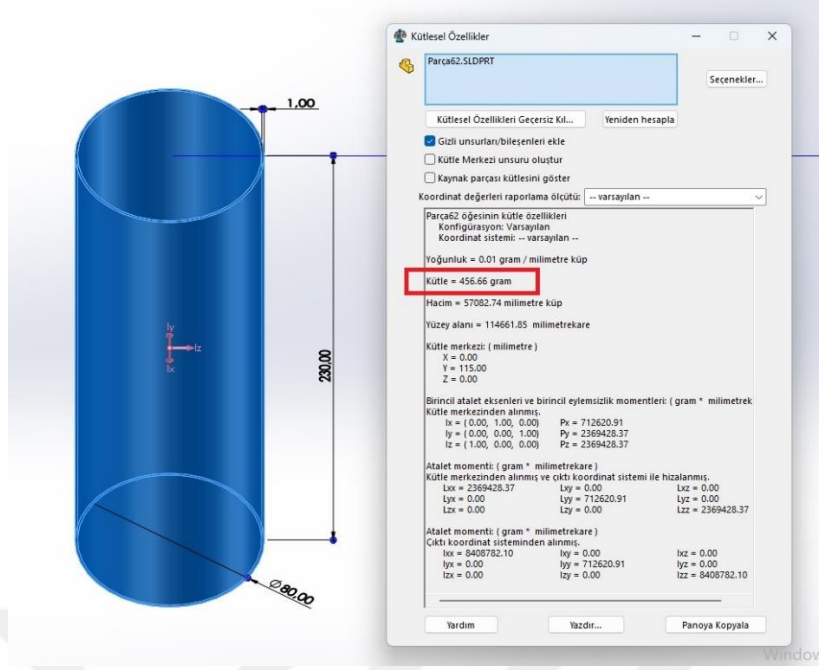
Termosların üretim sırasında makineler arasında taşınması için GSK marka 6 eksen robotlar kullanılmıştır. Bu robotlar üretici firma tarafından standart olarak üretilmekte ve birçok farklı sektör ve ürün için kullanılmaktadır. Her bir ürün için, ürünün fiziksel özelliklerine uygun olarak tutucu sistemler kullanılmaktadır. Termosların boruya benzer şekilleri ve fiziksel özellikleri göz önünde

bulundurulduğu zaman iki parmak tutucu sistemlerin kullanılması uygun ve yaygındır [46].

Ayrıca sektörde kullanılan tutucular tek istasyonludur. İş istasyonunda işlemi biten termosu alıp, sıradaki istasyona verdikten sonra geri dönüp işlenecek yarı mamül halindeki termosu alıp iş istasyonuna iletmektedir. Bu durum zaman kaybına neden olmakta ve verimliliği azaltmaktadır. Hedeflenen tasarım ile çift istasyonlu bir tutucu geliştirilecektir. Bu tutucu önce yarı mamül termosu birinci istasyonu ile tutacak sonra iş istasyonuna yaklaşacak ve istasyondaki işlem bitince ürünü ikinci istasyonu yardımıyla alacaktır. Bu noktada sonraki iş istasyonuna gitmek yerine, birinci istasyonu ile tutmuş olduğu yarı mamülü iş istasyonuna bırakacaktır. Sonrasında ikinci istasyonuyla tutmuş olduğu yarı mamülü sıradaki iş istasyonuna iletecek ve aynı işlemleri döngü şeklinde yapacaktır. Böylece bitmiş ürünü sonraki istasyona iletme ve yarı mamülü bir önceki istasyondan alma işlemleri için fazladan zaman kaybetmeyecek, bu işlemleri görev sırası dahilinde yapabilecektir.

#### **4.2.1 Tutucunun Mühendislik Hesaplamaları**

Tasarımı yapılmak istenen tutucu sistem malzemesi paslanmaz çelik olan termos için işlenecek boru şeklindeki malzemelerdir. Bu boruların ağırlığı hesaplanırken boru çapı 80mm, boru uzunluğu 230mm, boru et kalınlığı ise 1mm olarak varsayılmıştır. Bu ölçülerdeki paslanmaz çelik (AISI 204) malzemedan yapılmış borunun ağırlığı solidworks programında 456,66gram olarak hesaplanmıştır. (Şekil 4.46)



**Şekil 4.46: Boru Ağırlığının Tespit Edilmesi**

Tutucunun paslanmaz boruya temas edecek parçası kauçuk olarak seçilmiştir. Kauçuk malzeme yüksek sürtünme katsayısı ve malzeme zarar vermeyen yapısı ile bu işlem için uygundur. Kauçuk yüzey ile paslanmaz çelik sürtünme katsayısı 0.64'tür [47].

Boruyu etkileyen kuvvetleri piston baskı kuvveti, robotun ivmeli hareketinden kaynaklı kuvvetler ve yer çekimi kuvvetleridir. Dikey yönlü kuvvetleri hesaplayacak olur isek;

$F_s$ : Kauçuk yüzey ile boru arasında oluşan sürtünme kuvveti

$m$ : Borunun kütlesi

$g$ : Yerçekimi ivmesi

$a$ : Robotun ivmesi

$F_p$ : Piston kuvveti. ( bu kuvvet kauçuk yüzeyden boruya dik olarak uygulanacaktır.)

$f_s$ : Kauçuk ile çelik yüzey arasındaki sürtünme katsayısı

$$F_s = m \cdot g + m \cdot a \quad (4.1)$$

Sürtünme kuvvetini oluşturan etkileri formülize eder ve formülde yerine koyar isek aşağıdaki formülü elde ederiz.

$$Fp \cdot fs = m(g + a) \quad (4.1a)$$

Formülden piston kuvvetini çeker ve hesaplar isek;

$$Fp = \frac{m(g + a)}{fs} \quad (4.1b)$$

$$= \frac{0,457(9,81 + 5)}{0,64} = 10,56 N$$

$$= 10,56 N$$

Tasarımda kullanılacak piston seçiminde bu değer dikkate alınmalı, piston çekme kuvveti bu değer üzerinde olan bir seçim yapılmalıdır.

Tutucu mekanizmasının iki parmak tipi olması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda kullanılacak piston buna uygun olarak çift tablalı piston olmalıdır. Tutucuyu üreten firmanın tedarikçileri arasında kuvvet ve piston tipine uygun olarak HFT16x40S modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu pistonun itme kuvveti 105N, çekme kuvveti ise 88N olarak görülmektedir. Bu değerler de Denklem 4.1b'de hesaplanan değer üzerinde olduğundan bu pistonun kullanılması uygundur.

Piston seçimine bağlı olarak gerekli olan kuvvetin çok daha yüksek seçilmesinden dolayı, boru üzerine gelen kuvvetleri ile solidworks programında statik analiz yapılacak ve borunun gerilim kuvvetleri ve şekil değiştirmesi incelenecektir. Bu çalışma sonucunda değerlerin kabul edilebilir çıkması durumunda piston seçimi kesinleştirilecektir.

#### 4.2.2 Bilgisayar Ortamında Tutucu Tasarımı

Tutucu tasarımı solidworks programında yapılacak ve 3 boyutlu çizim verileri elde edilecektir. Tasarım aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

Piston seçiminden sonra boruyu tutacak kauçuk malzemelerin konumlandırılabilmesi için, pistonun sağ ve sol tarafına parçalar eklenecektir. Bu parçalar kuvvet etkisi altında sehime uğrayacaktır. Sehime değeri **Denklem 4.2** ile hesaplanacaktır.

f: Sehime miktarı (mm)

F: Kuvvet (N) (pistonun çekme kuvveti=88N)

L: Kuvvetin sabit noktaya uzaklığı (mm)

E: Elastiklik modülü (N/mm<sup>2</sup>)

I<sub>y</sub>: Atalet momenti (mm<sup>4</sup>)

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_y} \quad (4.2)$$

Atalet momenti ise **Denklem 4.3** ile hesaplanacaktır.

b: Sacın kuvvet yönüne dik olan yöndeki ölçüsü (sacın genişliği)

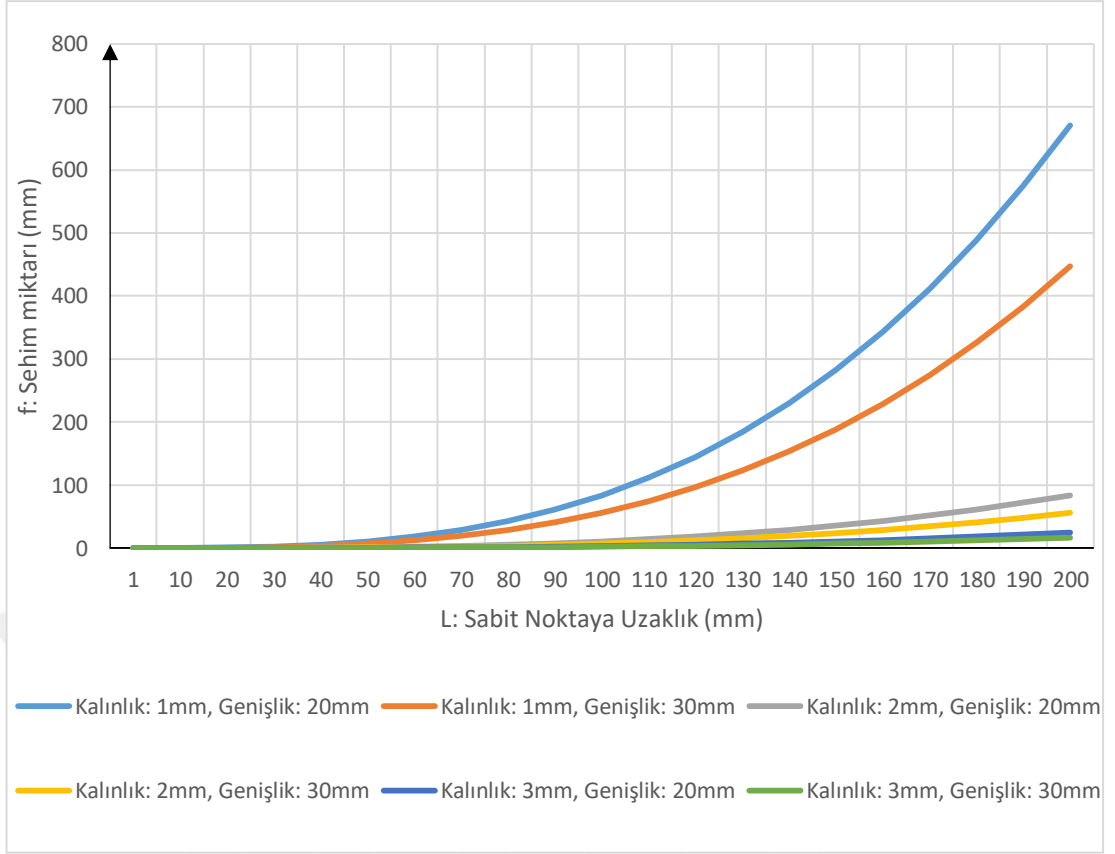
h: Sacın kuvvet yönündeki ölçüsü (sacın kalınlığı)

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'deki I<sub>y</sub>, Denklem 4.2'de yerine konulursa, Denklem 4.4 elde edilir.

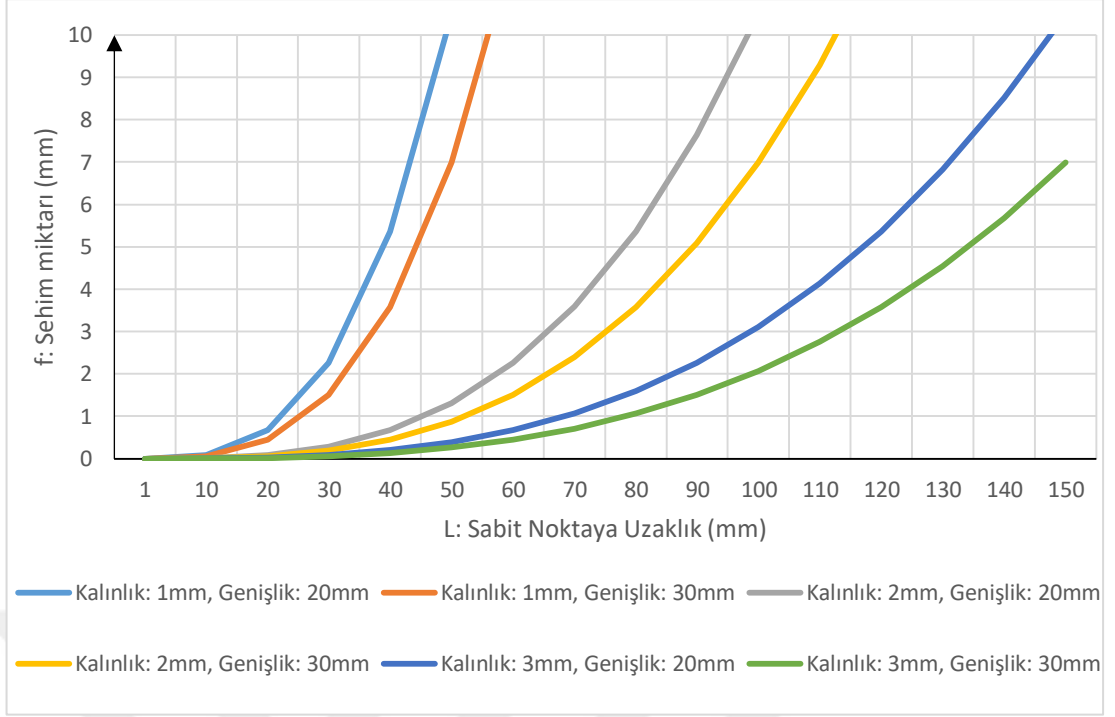
$$f = \frac{F \cdot L^3 \times 12}{3 \cdot E \cdot b \cdot h^3} \quad (4.4)$$

Kullanılacak sacın kalınlık ölçüsünde 1mm, 2mm ve 3mm olarak 3 seçenek, genişlik ölçüsünde ise 20mm ve 30mm olarak 2 seçenek, toplamda ise 6 farklı seçenek mevcuttur. Farklı L değerlerine (kuvvetin sabit noktaya uzaklığı) göre sehim miktarları 6 farklı seçenek için hesaplanarak Şekil 4.47'deki grafik elde edilmiştir.



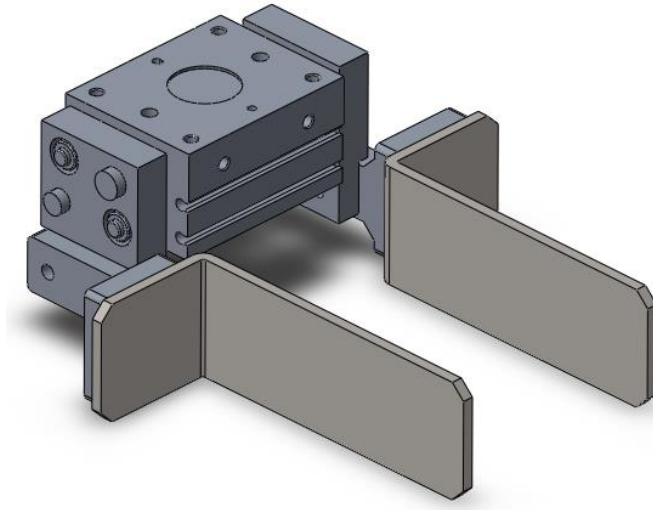
**Şekil 4.47: Sabit Noktaya Uzaklığa Göre Sehım Miktarı Grafiği**

Grafikteki değerlere bakıldđıđı zaman kabul edilemeyecek büyüklükte sehım miktarları görölmektedir. Grafiğin daha rahat okunabilmesi için en büyük sehım miktarı 10mm olarak, en uzun mesafe ise 150mm olarak sınırlandırılmıştır. Böylece Şekil4.48'deki grafik elde edilmiştir.



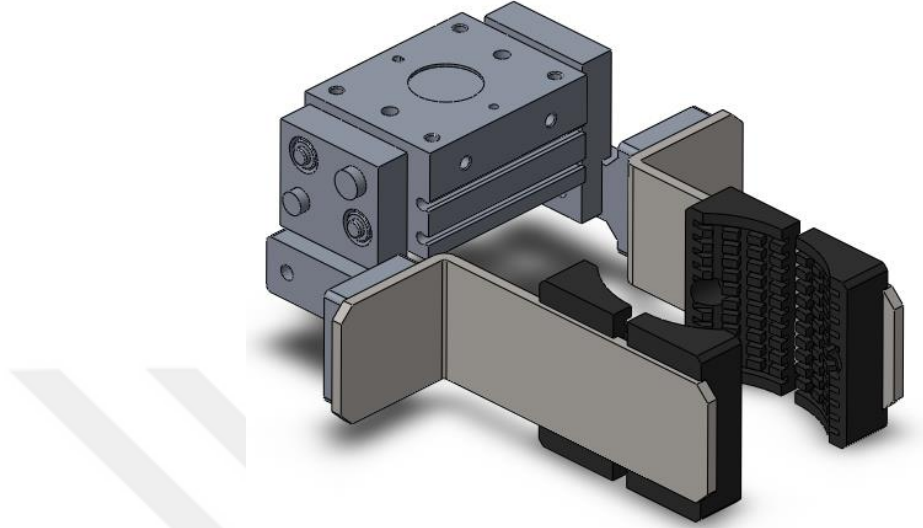
**Şekil 4.48: Sabit Noktaya Uzaklığa Göre Sehım Miktarı Grafiği- 2**

Tutucu ile kavranacak boruların çapları değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 80mm, en fazla ise 140mm olacaktır. En büyük çap değeri düşünöldüğünde boru merkezinin 80mm ile 100mm mesafede olması uygun olacaktır. Grafikte 80-100mm aralığına bakıldığı zaman 1mm kalınlığında sac için çok yüksek miktarda sehım olduğu görölmektedir. 2mm sac için ise 4-10mm sehım miktarı görölmektedir. 3mm sac için ise 1-3mm sehım görölmektedir. Sacın genişliği 30mm, kuvvetin uzaklığı ise 100mm seçilir ise sehım miktarı yaklaşık olarak 2mm olacaktır. Bu sehım miktarı uygun olup, sac tasarımı bu ölçölere göre yapılacaktır. (Şekil 4.49)



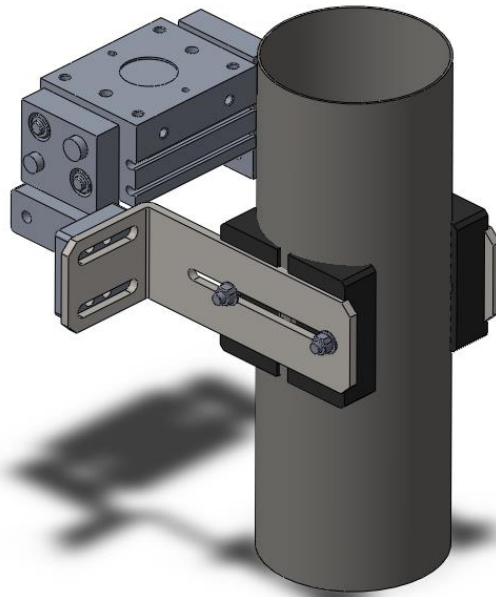
**Şekil 4.49: Tutucu Tasarımı alışması- 1**

Boruyu tutacak kauçuk malzemeler ise boruyu kavrayacak şekilde yarım tasarlanmıştır. Kauçuk şekli 80mm boruya uygun olacak şekilde işlenecektir. Daha küçük çaplarda kauçuk parçanın orta kısmı boruya temas edecek, daha büyük çaplarda ise kauçuk parçanın kenar kısmı boruya temas edecektir. (Şekil 4.50)



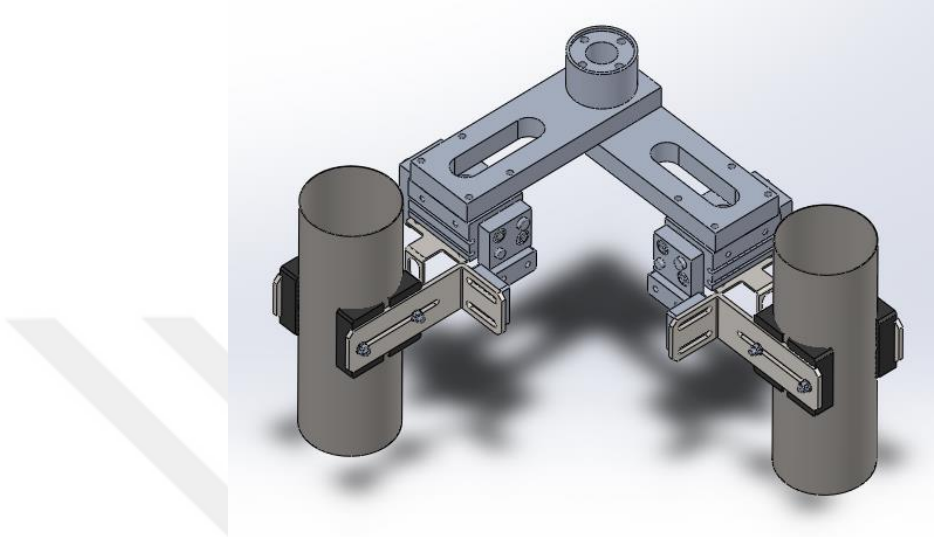
**Şekil 4.50: Tutucu Tasarımı Çalışması- 2**

Kauçuk parça sac üzerine cıvata ile bağlanacaktır. Cıvataya gelen kuvvetler basma yönünde ve görece olarak çok küçük kuvvetlerdir (toplam 88N, cıvata başına 44N). Kuvvetlerin küçük olmasından dolayı cıvatalar M4 olarak seçilmiştir. Bağlantı detayları da çalışıldıktan sonra tasarım aşağıdaki şeklini almıştır. (Şekil 4.51)

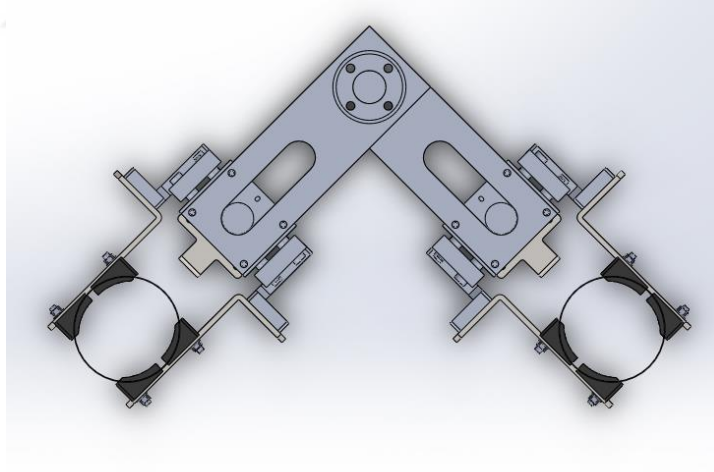


**Şekil 4.51: Tutucu Tasarımı Çalışması- 3**

Tutucu tasarımına ikinci istasyonun eklenmesi ve diğer detayların da çalışılması ile şekil 4.52 ve şekil4.53'deki tasarım elde edilmiştir. Bu tasarım direkt olarak robot flanşına bağlantıya uygun haldedir. Çift istasyon olması nedeniyle çalışma sırasında zaman kayıplarının önüne geçmekte ve daha verimli bir çalışma sunmaktadır.



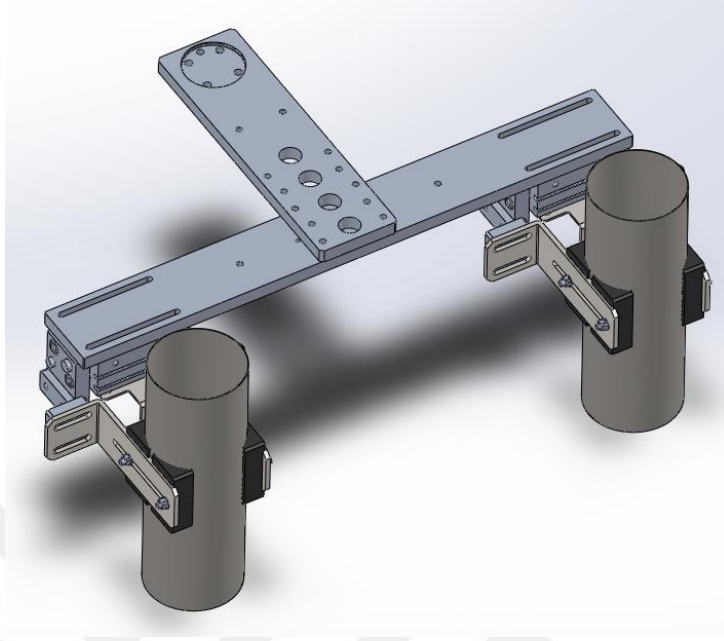
**Şekil 4.52: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Perspektif Görünüş)**



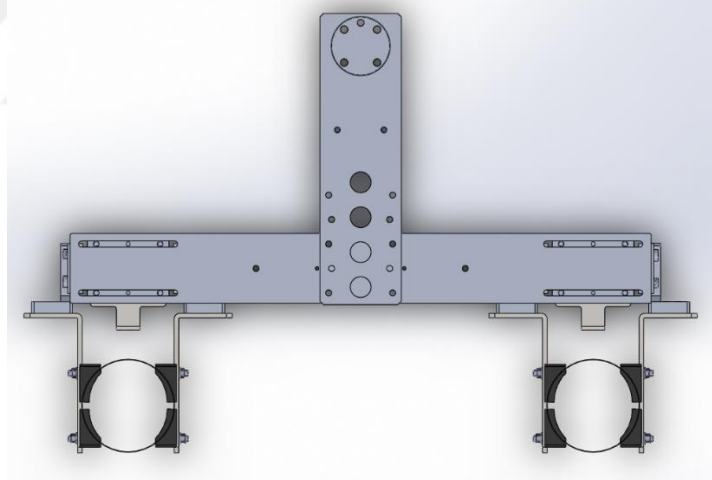
**Şekil 4.53: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Üst Görünüş)**

Aynı piston ve tutucuların farklı bir geometride tasarım çalışması daha yapılmıştır. Önceki çalışmada tutucular 90 derece açı ile durmak iken, yeni çalışmada 180derece yani aynı doğrultuda durmaktadırlar (Şekil 4.54 ve Şekil 4.55). Önceki tasarım da istasyonlar arasında geçiş yapmak için robotun 90 derece dönmesi, ikinci tasarımda ise doğrusal hareket etmesi gerekmektedir. İş istasyonu

üzerindeki fiziksel kısıt ve engellere veya robot hareketinin kısıtlarına göre iki tutucu arasından seçim yapılabilir.

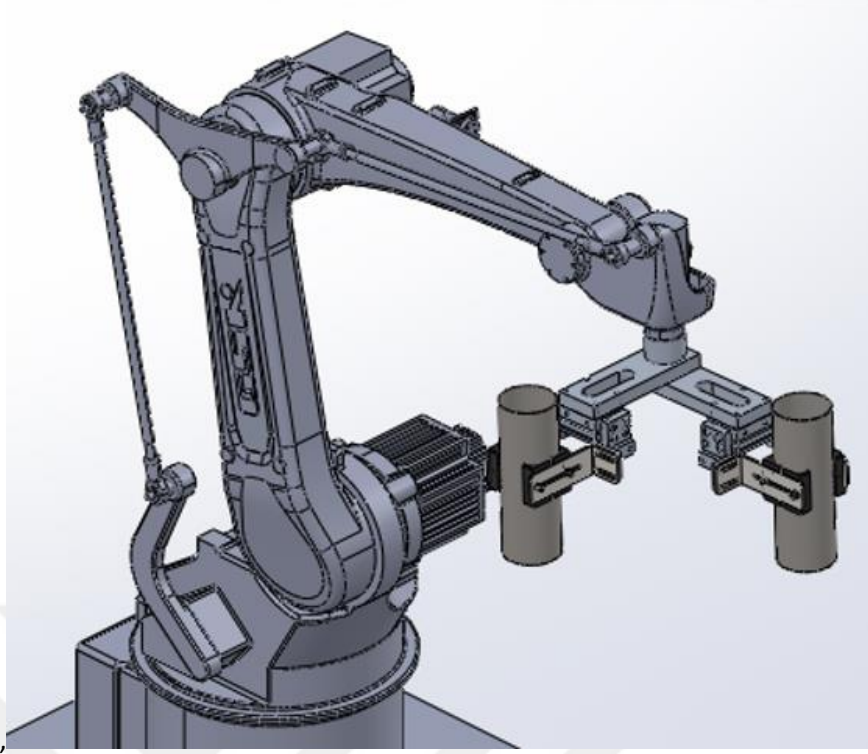


**Şekil 4.54: 180 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Perspektif Görünüş)**

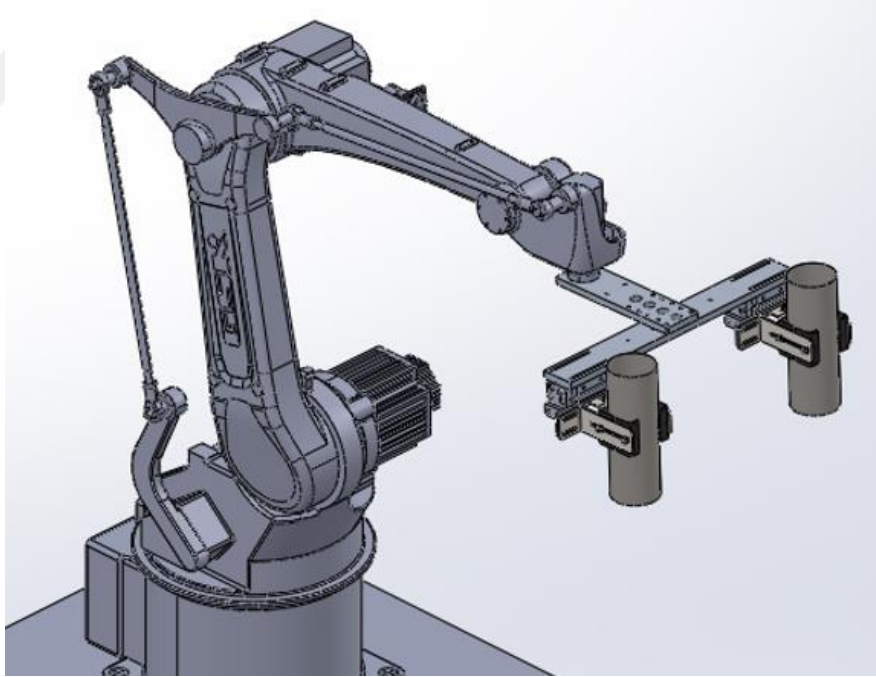


**Şekil 4.55: 90 Derece Açılı Çift İstasyonlu Boru tutucu (Üst Görünüş)**

Tutucuların robot sistemleri üzerine montajlı halleri şekil 4.56 ve şekil 4.57’te gösterilmiştir.



**Şekil 4.56: Robot ve 90 Derece Açılı Tutucu**



**Şekil 4.57: Robot ve 180 Derece Açılı Tutucu**

#### **4.2.3 Tutucunun Bilgisayar Destekli Analizi**

Tasarımı yapılan tutucunun mühendislik hesaplarını da yapılmış, tutucu ve termos olmak üzere işlenecek borunun üzerine gelen kuvvetler tespit edilmiştir.

Tutucunun ve borunun bu kuvvetler etkisi altındaki durumu solidworks programı simülasyon modülü ile bilgisayar ortamında analizi yapılacaktır.

#### 4.2.3.1 Termos Üretiminde Kullanılacak Borunun Statik Analiz Çalışmaları

Termos üretiminde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Ağırıklı olarak da AISI 304 ve AISI 316 çelikleri tercih edilmektedir. Kullanılan çeliklerin et kalınlıkları da ağırıklı olarak 0.5mm ve 1mm olarak tercih edilmektedir.

Analiz yapılırken termos sektöründe kullanılan çelikler baz alınacaktır. Bunlara ilave olarak farklı malzemelerin de kullanılmasına olanak sağlamak için C1010 çelik malzemesi ve 2mm et kalınlığı da incelemeye dahil edilecektir.

İncelenmesi düşünülen malzemelerin fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de mukavemet özellikleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

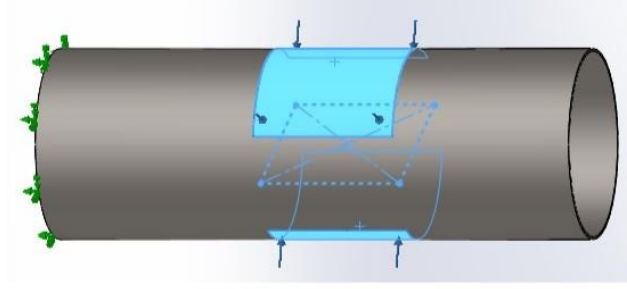
**Çizelge 4.1: Boru Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri**

Malzeme	Yoğunluk (kg / m <sup>3</sup> )	Et Kalınlığı (mm)	Kütle (kg)	Hacim (m <sup>3</sup> )
C1010	7870	0,5	0,226	2,87e-05
		1	0,449	5,71e-05
		2	0,887	1,13e-05
AISI304	8000	0,5	0,230	2,87e-05
		1	0,457	5,71e-05
		2	0,902	1,13e-05
AISI316	8000	0,5	0,230	2,87e-05
		1	0,457	5,71e-05
		2	0,902	1,13e-05

**Çizelge 4.2: Boru Malzemelerinin Mukavemet Özellikleri**

Malzeme Özellikleri	C1010	AISI304	AISI316
Akma Dayanımı (N/m <sup>2</sup> )	1,8e+08	2,07e+08	1,72e+08
Gerilme Mukavemeti (N/m <sup>2</sup> )	3,25e+08	5,17e+08	5,8e+08
Elastiklik Modülü (N/m <sup>2</sup> )	2e+11	1,9e+11	1,93e+11
Poisson Oranı	0,29	0,29	0,27
Kütle Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	7870	8000	8000
Kayma Modülü (N/m <sup>2</sup> )	8e+10	7,5e+10	7,8e+10

Boru şeklindeki parçaya tutucu üzerindeki kauçuk parçalardan sıkma kuvveti şekil 4.58’de gösterildiği gibi etkileyecektir. Uygulanan bu kuvvet, aşağıdaki şekilde yayılı yük olacağı varsayılmıştır.



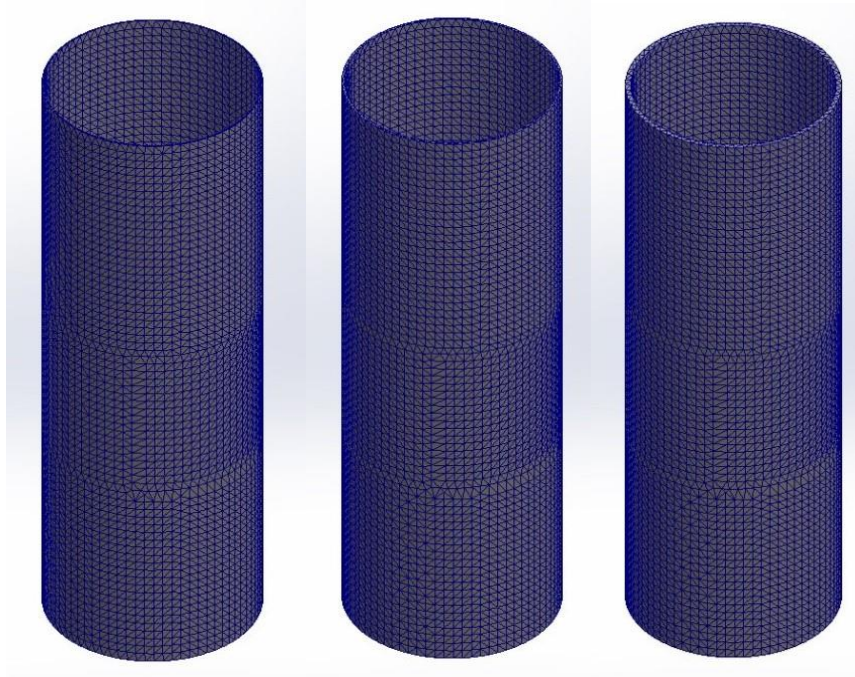
**Şekil 4.58: Boruya Etkiyen Yayılı Yüklerin Gösterimi**

Analiz sonuçlarına göre 3 farklı et kalınlığındaki borular için mesh bilgileri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3: Boru Kalınlıklarına Göre Mesh Bilgileri**

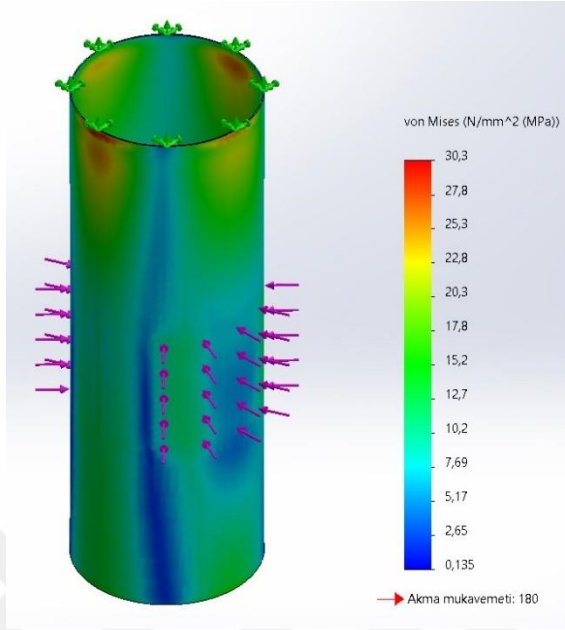
	Et Kalınlığı (mm)		
	0,5	1	2
Mesh Tipi	Katı Mesh		
Jacobian Noktası	4 Nokta		
Element Büyüklüğü (mm)	3,3932		
Toplam Düğüm Sayısı	60877	60584	59651
Toplam Element Sayısı	30366	30159	29771
Maksimum En Boy Oranı	50,247	13,627	8,7025

Mesh detay resimleri şekil 4.59'de gösterilmiştir. Resim üzerinde sırasıyla 0,5mm, 1mm ve 2mm için mesh yapıları gösterilmiştir. Ürünlerin şekilleri birbirine benzediği için mesh sayıları ve tipleri arasındaki fark oldukça küçüktür.



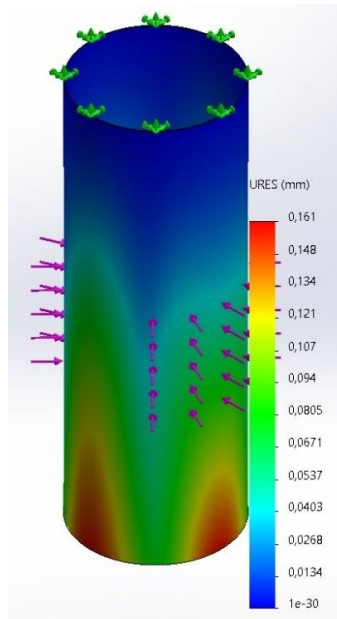
**Şekil 4.59: Mesh Yapıları**

C1010 çelik malzemeden et kalınlığı 0,5mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $30,3 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,135 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekilde 4.60'da gösterilmiştir.



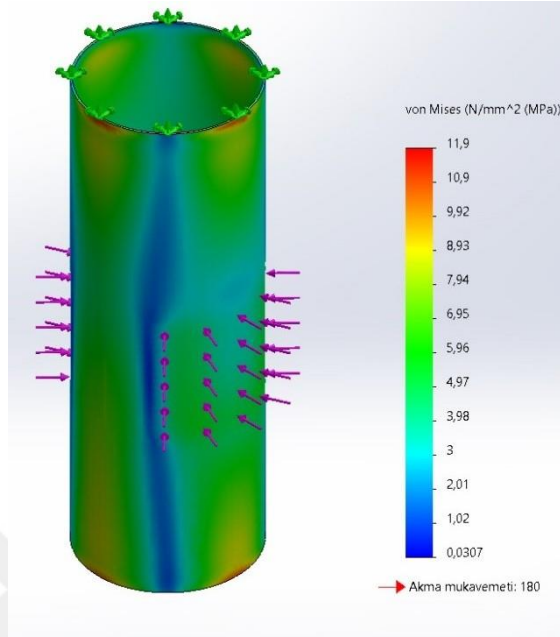
**Şekil 4.60: 0,5mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değıştirme  $0,161 \text{ mm}$ , en küçük yer değıştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değıştirme dağılımı şekil 4.61'de gösterilmiştir.



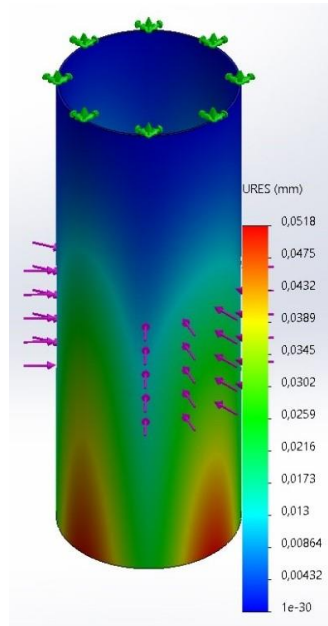
**Şekil 4.61: 0,5mm, C1010 Borunun Yer Değıştirme Dağılımı**

C1010 çelik malzemeden et kalınlığı 1mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $11,9 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,0307 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.62’de gösterilmiştir.



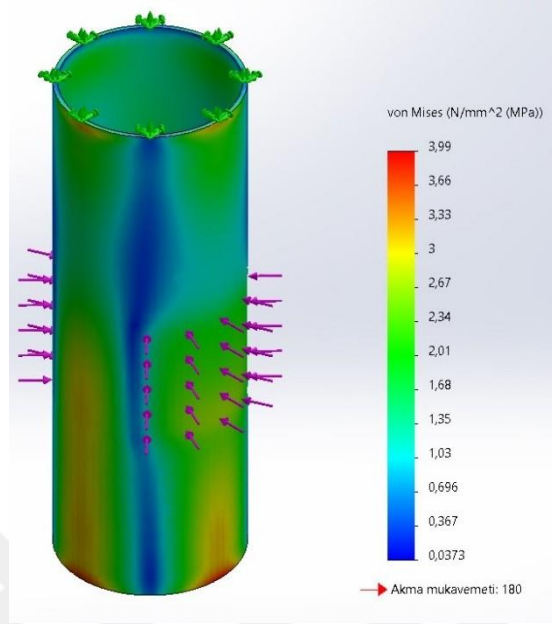
**Şekil 4.62: 1mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $0,0518 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.63’de gösterilmiştir.



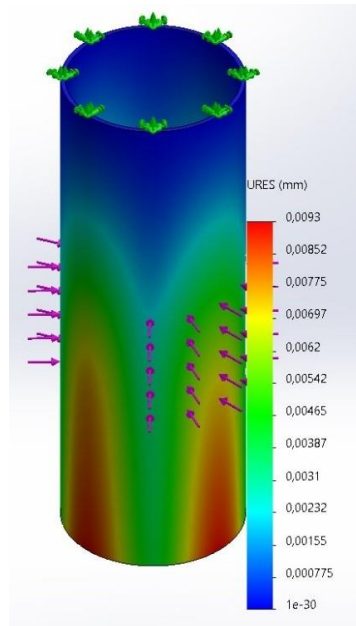
**Şekil 4.63: 1mm, C1010 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

C1010 çelik malzemeden et kalınlığı 2mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $3,99 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,0373 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.64'te gösterilmiştir.



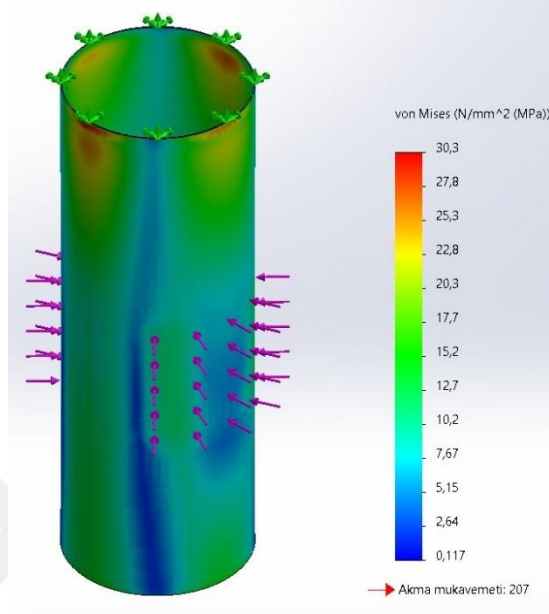
**Şekil 4.64: 2mm, C1010 Borunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $0,0093 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.65'te gösterilmiştir.



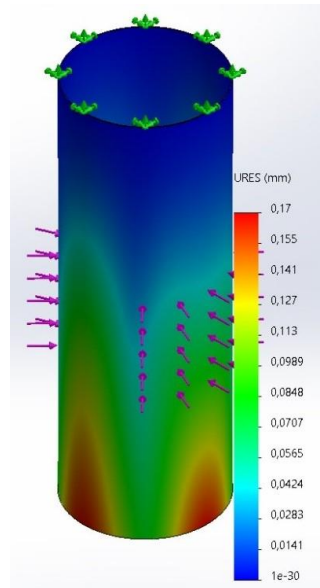
**Şekil 4.65: 2mm, C1010 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden et kalınlığı 0,5mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $30,3 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,117 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.66'da gösterilmiştir.



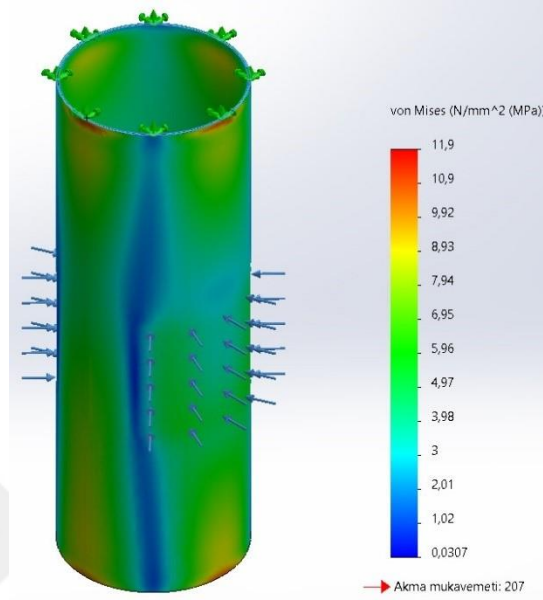
**Şekil 4.66: 0,5m, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $0,17 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.67'de gösterilmiştir.



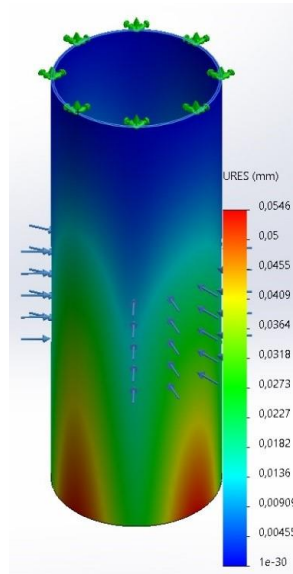
**Şekil 4.67: 0,5mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden et kalınlığı 1mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti 11,9 N/mm<sup>2</sup>, en küçük gerilme kuvveti ise 0,307 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.68’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.68: 1mm, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı**

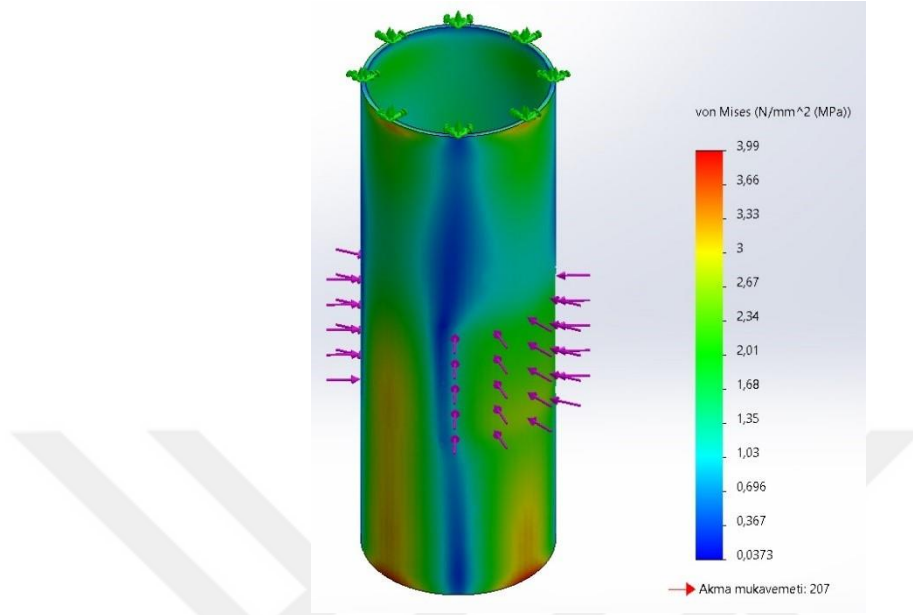
Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme 0,546mm, en küçük yer değiştirme ise 0mm olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.69’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.69: 1mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

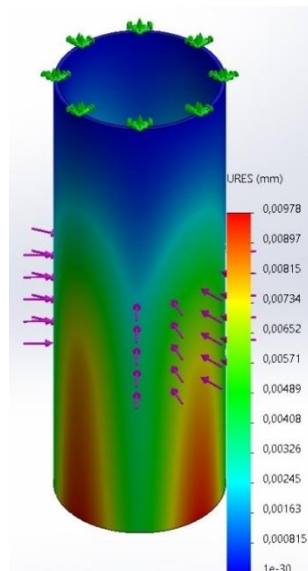
AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden et kalınlığı 2mm olan boru için

yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $3,99 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,0373 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.70’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.70: 2mm, AISI304 Borunun Gerilme Dağılımı**

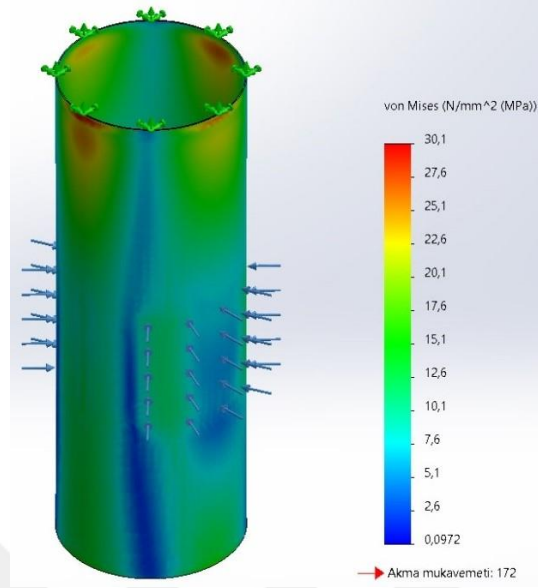
Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $0,0098 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.71’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.71: 2mm, AISI304 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

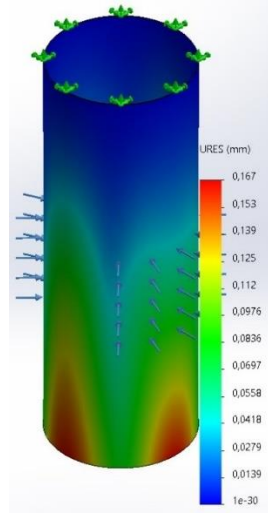
AISI 316 paslanmaz çelik malzemenen et kalınlığı  $0,5 \text{ mm}$  olan boru için

yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $30,1 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,0972 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.72’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.72: 0,5mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı**

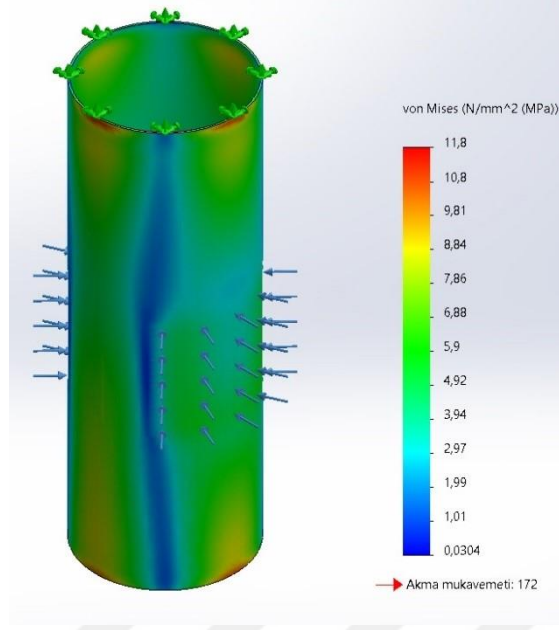
Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $0,167 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.73’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.73: 0,5mm, AISI316 Yer Değiştirme Gerilme Dağılımı**

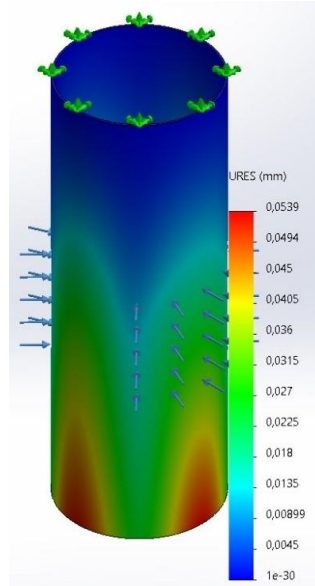
AISI 316 paslanmaz çelik malzemeden et kalınlığı  $1 \text{ mm}$  olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $11,8 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,0304 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.74’te

gösterilmiştir.



**Şekil 4.74: 1mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı**

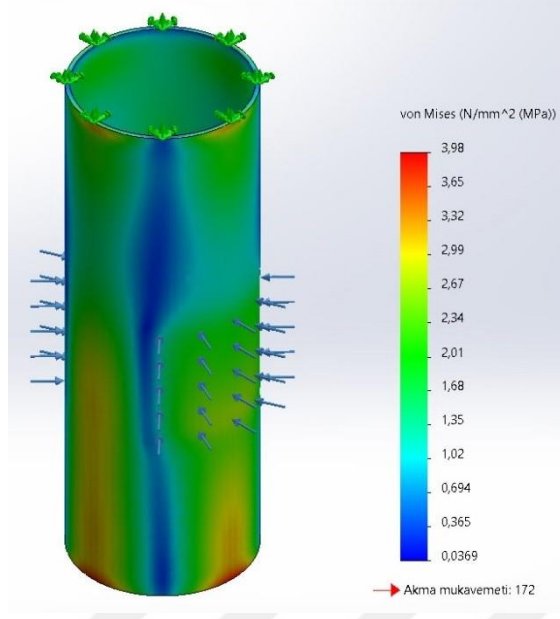
Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme 0,0539mm, en küçük yer değiştirme ise 0mm olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.75'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.75: 1mm, AISI316 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

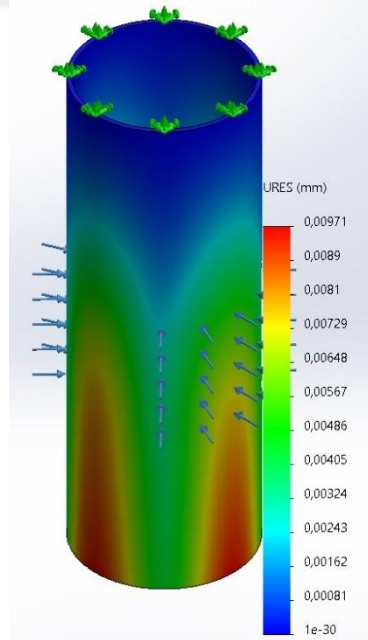
AISI 316 paslanmaz çelik malzemeden et kalınlığı 2mm olan boru için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti 3,98 N/mm<sup>2</sup>, en küçük gerilme kuvveti ise 0,0369 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.76'da

gösterilmiştir.



**Şekil 4.76: 2mm, AISI316 Borunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme 0,00971mm, en küçük yer değiştirme ise 0mm olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.77’de gösterilmiştir.



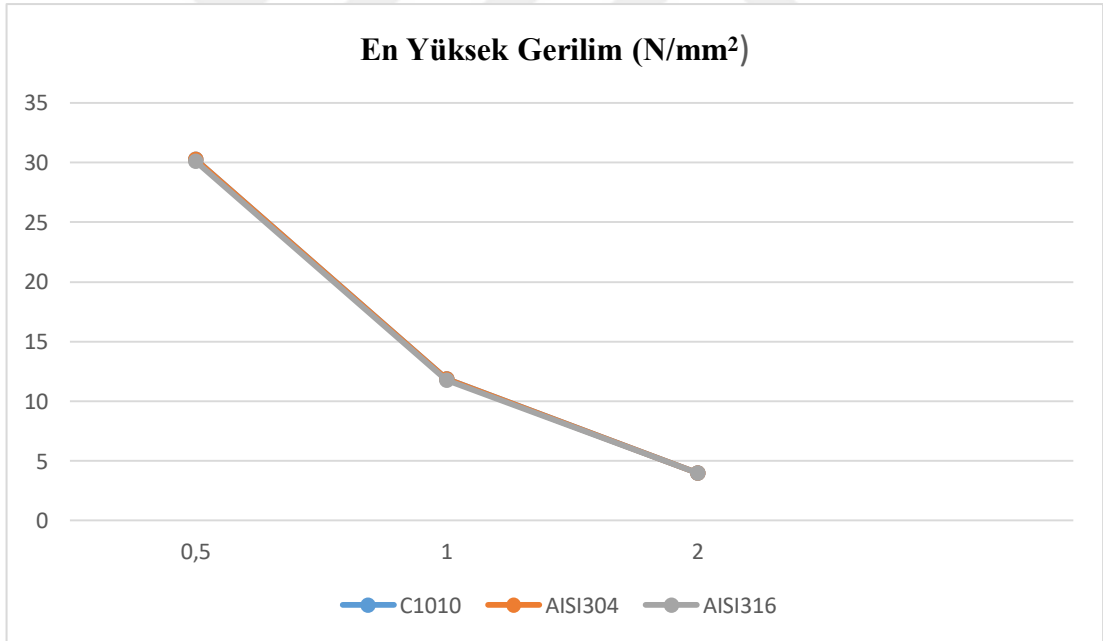
**Şekil 4.77: 2mm, AISI316 Borunun Yer Değiştirme Dağılımı**

Yapılan bütün analizler için en yüksek gerilim ve yer değiştirme değerlerinin özeti Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.

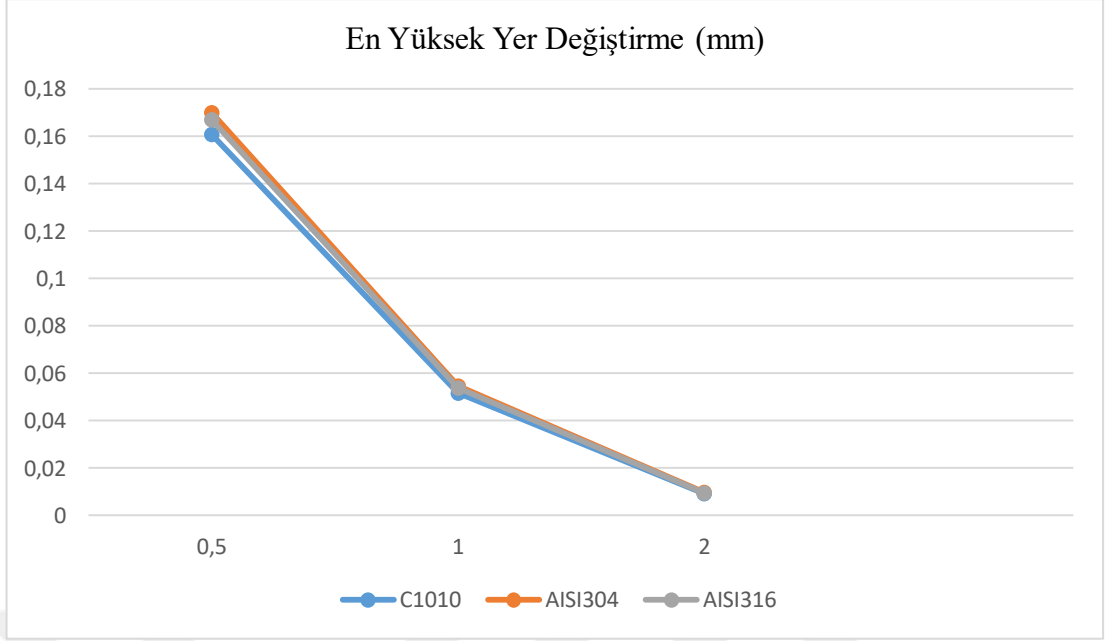
**Çizelge 4.4: Malzeme ve Et Kalınlıklarına Göre Gerilim ve Yer Değişirme Değerleri**

Malzeme	Et Kalınlığı (mm)	En Yüksek Gerilim (N/mm <sup>2</sup> )	En yüksek Yer Değişirme (mm)
C1010	0,5	30,3	0,161
	1	11,9	0,0518
	2	3,99	0,0093
AISI304	0,5	30,3	0,17
	1	11,9	0,0546
	2	3,99	0,0098
AISI316	0,5	30,1	0,167
	1	11,8	0,0539
	2	3,98	0,00971

Çizelge 4.4'teki verileri kullanarak en yüksek gerilim ve en yüksek yer değişirme grafiklerini oluşturulmuştur. (Şekil 4.78 ve 4.79)



**Şekil 4.78: Et Kalınlığına Bağlı En yüksek Gerilim Grafiği**

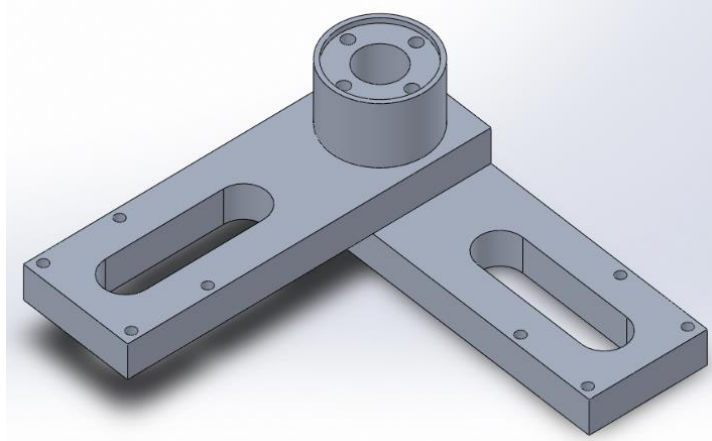


**Şekil 4.79: Et Kalınlığına Bağlı En yüksek Yer Değiştirme Grafiği**

2 grafikte de 3 farklı malzeme için sonuçlar neredeyse aynıdır. Bunun nedeni bu üç malzemenin de çelik olması ve mukavemet değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. En yüksek gerilim ve yer değiştirme değerleri borunun et kalınlığının 0,5mm olduğu durumda oluşmuştur. Et kalınlığı arttıkça boru daha dayanıklı hale gelmiş ve en yüksek gerilim ile yer değiştirme değerleri giderek düşmüştür. En yüksek değerlerin olduğu 0,5mm et kalınlığında bile oluşan en yüksek gerilim  $30,3\text{N/mm}^2$  olmuştur. C1010 malzeme için akma dayanımı  $190\text{N/mm}^2$ , AISI 304 malzeme için  $207\text{ N/mm}^2$ , AISI316 malzeme için  $172\text{N/mm}^2$  olmakla birlikte sırasıyla emniyet katsayısı 6,27, 6,83 ve 6,67 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.3.2 Tutucu -1 Modelinin Statik Analiz Çalışmaları

İstasyonları birbirine 90 derece ile konumlandırılmış tutucu sistemi için statik analiz çalışması yapılacaktır. Analiz çalışması sırasında ana plakaların durumlar incelenecektir. (Şekil 4.80)



**Şekil 4.80: 90 derece açılı Gripper Simülasyon Parçaları**

İncelenmesi düşünülen alüminyum (alaşım 1060) malzemenin fiziksel özellikleri Çizelge 4.5'te mukavemet özellikleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5: Tutucu Parçalarının Fiziksel Özellikleri**

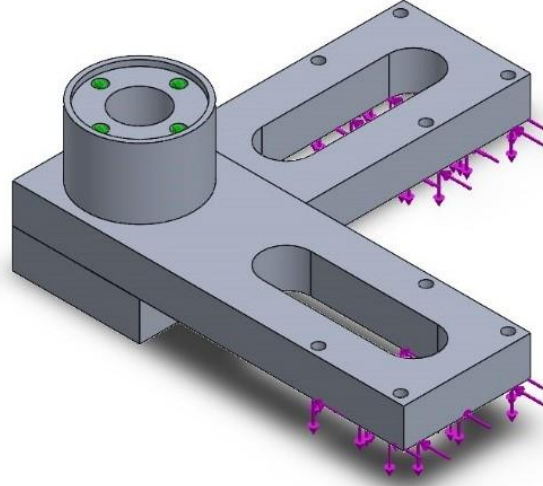
	Malzeme	Kütle (kg)	Hacim (m <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg / m <sup>3</sup> )
Parça 1	Alüminyum (1060)	0,575	2,13e-04	2700
Parça 2	Alüminyum (1060)	0,575	2,13e-04	2700
Parça 3	Alüminyum (1060)	0,148	5,49e-05	2700
Toplam		1,298	4,81e-05	

**Çizelge 4.6: Alüminyum (Alaşım 1060) Mukavemet Özellikleri**

Malzeme Özellikleri	Alüminyum (1060)
Akma Dayanımı (N/m <sup>2</sup> )	2,76e+07
Gerilme Mukavemeti (N/m <sup>2</sup> )	6,89e+07
Elastiklik Modülü (N/m <sup>2</sup> )	6,9e+10
Poisson Oranı	0,33
Kütle Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	2700
Kayma Modülü (N/m <sup>2</sup> )	2,7e+10

Tutucu sisteme etkileyecek kuvvetler ağırlık kuvvetleri ve robot hareketinden kaynaklanacak kuvvetlerdir. Bu kuvvetler şekil 4.81'de gösterildiği gibi pistonların olduğu noktalardan etkileyeceği varsayılmıştır. Gerçek durumda bu kuvvetler tutucunun her noktasına yayılacak olsa bile, analiz yapılırken kuvvetlerin daha uç

noktalardan varsayılmasıyla daha zor şartlarda analiz yapıldığı anlamına gelmektedir. Böylece çıkan sonuç emniyet değerleri içerisinde kalır ise, gerçek gerilme değerli de emniyet değerleri içerisinde kalacaktır.

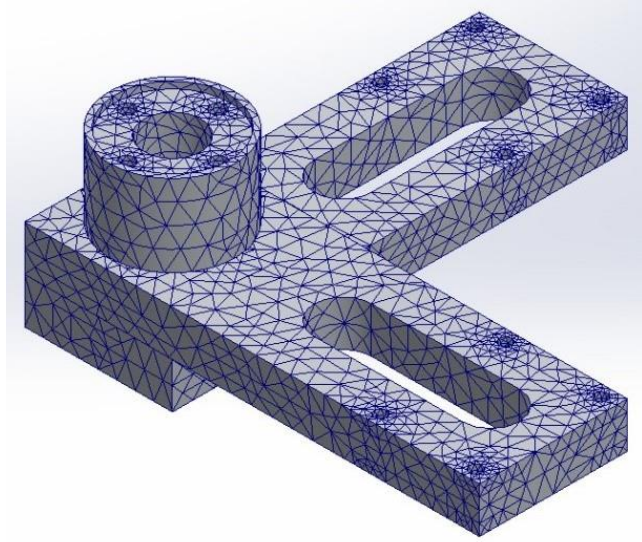


**Şekil 4.81: 90 Derece Açılı Tutucuya Etkiyen Kuvvetler**

Tutucunun mesh bilgileri ve görseli Çizelge 4.7 ile şekil 4.82’de gösterilmiştir.

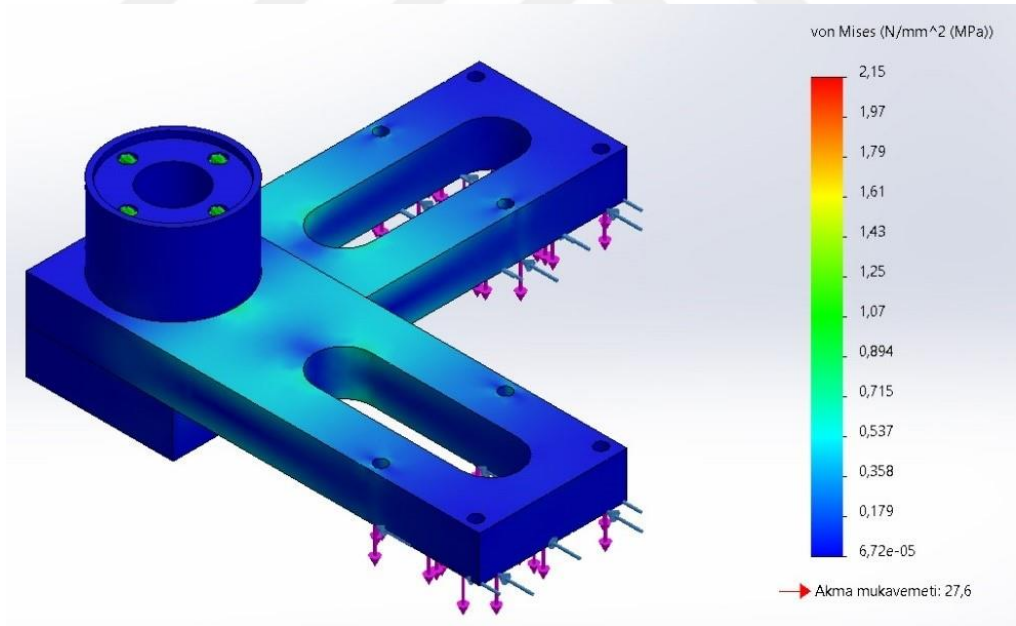
**Çizelge 4.7: Tutucunun Mesh Bilgileri**

Mesh Bilgileri	0,5mm
Mesh Tipi	Katı Mesh
Jacobian Noktası	4 Noktalar
Element Büyüklüğü (mm)	7,8372
Toplam Düğüm Sayısı	54736
Toplam Element	33656
Maksimum En Boy Oranı	6,2296



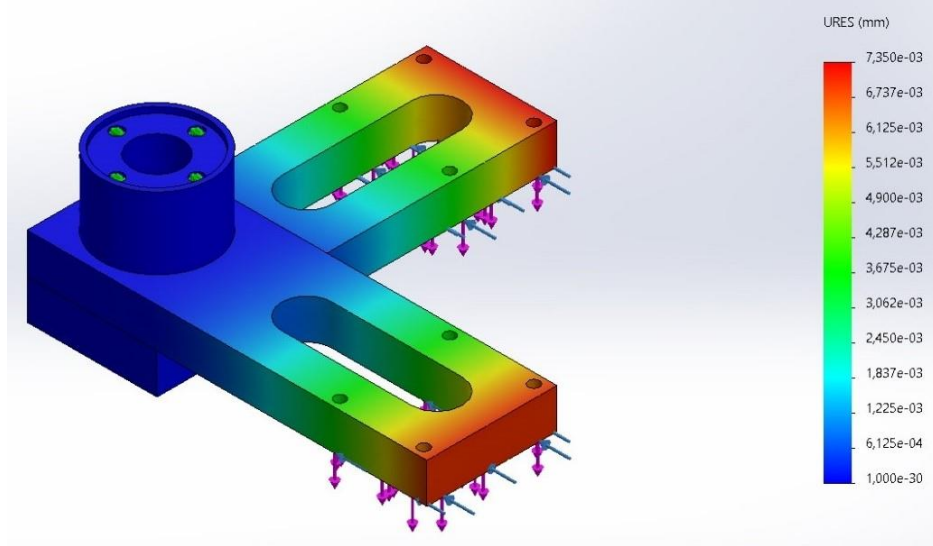
**Şekil 4.82: 90 Derece Açılı Tutucunun Mesh Yapısı**

Alüminyum (alaşım 1060) malzemeden yapılmış tutucu parçaları için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $2,15 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $6,72e-05 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.83’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.83: 90 Derece Açılı Tutucunun Gerilme Dağılımı**

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme  $7,350e-03 \text{ mm}$ , en küçük yer değiştirme ise  $0 \text{ mm}$  olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.84’te gösterilmiştir.

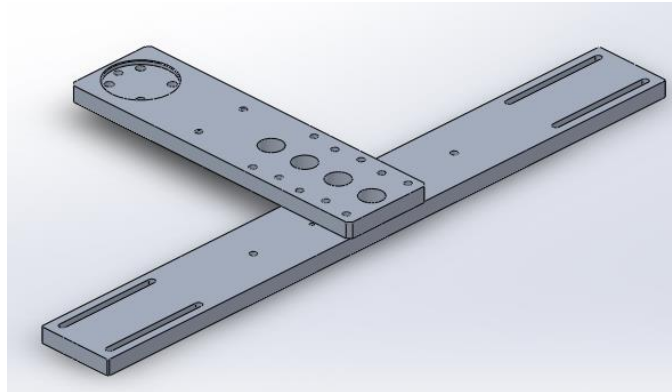


**Şekil 4.84: 90 Derece Açılı Tutucunun Yer Değiştirme Dağılımı**

En yüksek gerilim değeri  $2,15 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Alüminyum (alaşım 1060) malzemenin akma dayanımı  $27,6 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Bu durumda emniyet katsayısı 12,83 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.3.3 Tutucu-2 Modelinin Statik Analiz Çalışmaları

İstasyonları birbirine 180 derece ile konumlandırılmış tutucu sistemi için statik analiz çalışması yapılacaktır. Analiz çalışması sırasında ana plakaların durumları incelenecektir. (Şekil 4.85)



**Şekil 4.85: 180 Derece Açılı Tutucunu Simülasyon Parçaları**

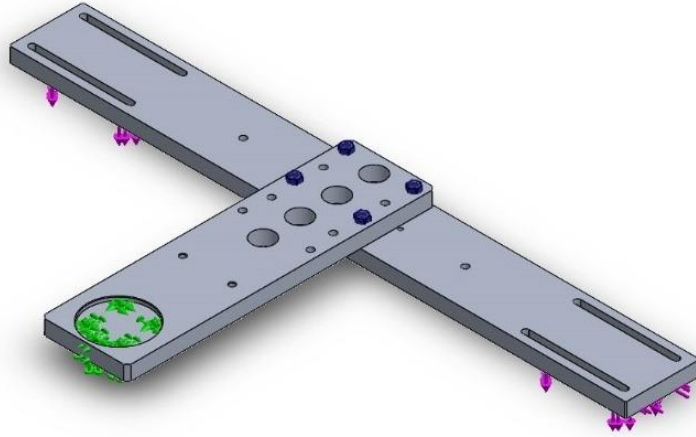
İncelenmesi düşünülen malzemelerin fiziksel özellikleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8: Tutucu Parçalarının Fiziksel Özellikleri**

	<b>Malzeme</b>	<b>Kütle (kg)</b>	<b>Hacim (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Yoğunluk (kg / m<sup>3</sup>)</b>
Parça 1	Alüminyum	0,505	1,87e-04	2700
Parça 2	Alüminyum	0,909	3,37e-04	2700
Toplam		1,414	5,24e-04	

İncelenmesi düşünülen malzeme alüminyum olup 90 derece açılı tutucuda kullanılan malzeme ile aynıdır. Malzemenin özellikleri Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Tutucu sisteme etkileyecek kuvvetler ağırlık kuvvetleri ve robot hareketinden kaynaklanacak kuvvetlerdir. Bu kuvvetler şekil 4.86’da gösterildiği gibi pistonların olduğu noktalardan etkileyeceği varsayılmıştır. Gerçek durumda bu kuvvetler tutucunun her noktasına yayılacak olsa bile, analiz yapılırken kuvvetlerin daha uç noktalardan varsayılmasıyla daha zor şartlarda analiz yapıldığı anlamına gelmektedir. Böylece çıkan sonuç emniyet değerleri içerisinde kalır ise, gerçek gerilme değerli de emniyet değerleri içerisinde kalacaktır.



**Şekil 4.86: 180 Derece Açılı Tutucuya Etkiyen Kuvvetler**

Tutucunun mesh bilgileri Çizelge 4.9’da, dağılımı ise şekil 4.87’de gösterilmiştir.

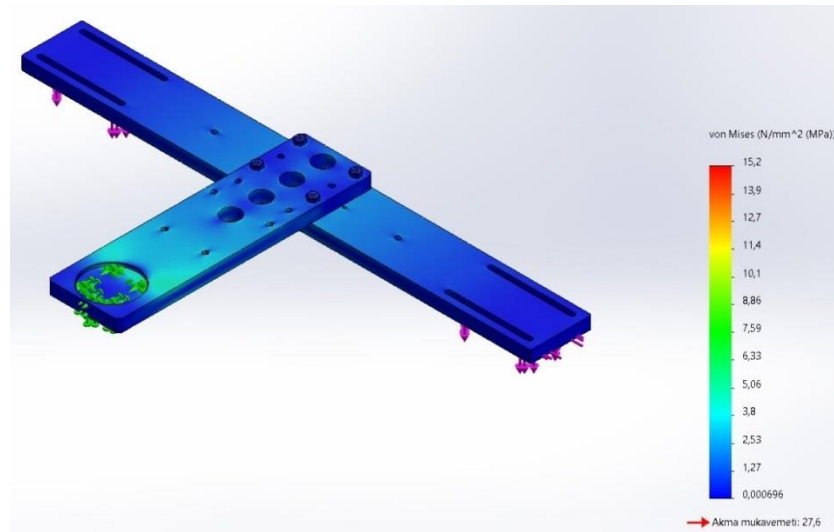
**Çizelge 4.9:** Tutucunun Mesh Bilgileri

Mesh Bilgileri	0,5mm
Mesh Tipi	Katı Mesh
Jacobian Noktası	4 Noktalar
Element Büyüklüğü (mm)	4,03196
Toplam Düğüm Sayısı	102348
Toplam Element	63490
Maksimum En Boy Oranı	9,8927



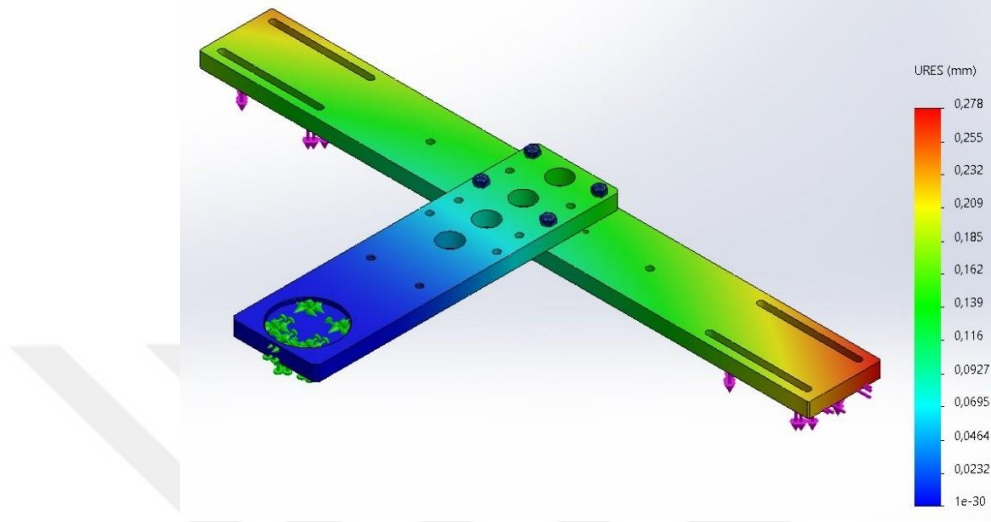
**Şekil 4.87:** 180 Derece Açılı Tutucunun Mesh Yapısı

Alüminyum (alaşım 1060) malzemeden yapılmış tutucu parçaları için yapılan analiz sonucunda en büyük gerilme kuvveti  $15,2 \text{ N/mm}^2$ , en küçük gerilme kuvveti ise  $0,000692 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Gerilme dağılımı şekil 4.88'de gösterilmiştir.



#### Şekil 4.88: 180 Derece Açılı Tutucunun Gerilme Dağılımı

Aynı analiz sonucuna göre en büyük yer değiştirme 0,278mm, en küçük yer değiştirme ise 0mm olarak hesaplanmıştır. Yer değiştirme dağılımı şekil 4.89'da gösterilmiştir.



#### Şekil 4.89: 180 Derece Açılı Tutucunun Yer Değiştirme Dağılımı

En yüksek gerilim değeri 15,2 N/mm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Alüminyum (alaşım 1060) malzemenin akma dayanımı 27,6 N/mm<sup>2</sup>'dir. Bu durumda emniyet katsayısı 2,08 olarak hesaplanmıştır.

## 5. ROBOTİK SİSTEMLERİN TERMOS ÜRETİM HATLARINA UYGULANMASI

Çoklu robot otomasyon hatları, birden fazla robotun koordineli bir şekilde çalıştığı ve üretim süreçlerinin daha hızlı, hassas ve etkin bir şekilde gerçekleştirildiği sistemlerdir. Bu tarz hatlar otomotiv sanayi, elektronik ürünler, gıda endüstrisi, lojistik ve depolama gibi çeşitli sektör ve endüstrilerde yaygın olarak kullanılır.

Otomotiv sektöründe yapılan bir çalışmada yarı otomatik sistemden tam otomatik sisteme geçiş yapılarak üretim hatlarının verimliliği %40 oranında arttırıldığı görülmüştür [48]. Sektörde yapılan bir başka çalışmada ise cam sileceklerinin montajı için tam otomatik montaj hattı tasarımı yapılmıştır. Üretim süreleri sabit tutularak montajı yapılacak ürün modelinin daha hızlı bir şekilde değiştirilmesi sağlanmıştır. Böylece montaj hattı daha esnek bir yapıya kavuşturulmuştur [49]. Otomobil ön camlarının montajı için yapılan bir çalışmada ise yarı otomatik olan montaj hattı tam otomatik olarak geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda üründe oluşan üretim hatalarının önüne geçilmiş, kalite arttırılmış ve üretim hızı %19 oranında iyileştirilmiştir [50].

Literatür araştırmasında elde edilen verilere göre üretim veya montaj hatlarının robotik sistemler ile tam otomatik hale getirilmesi üretim hızı ve kapasitesinin artırılması, üretim hatalarının azaltılması, üretim esnekliğinin arttırılması gibi konularda yüksek oranda fayda sağlamaktadır. Bu doğrultuda termos üretim hattında da robotik sistemler kullanılarak makinelerin tam otomatik çalıştırılması hedeflenmektedir.

### 5.1 Uygulama Öncesi Hazırlık

#### 5.1.1 Uygulama Yapılacak Makinelerin Belirlenmesi

Uygulama testleri yapılacak makineler daha önce montaj hattı problemi kapsamında ele alınan ve Çizelge 3.3'te gösterilen makinelerdir. Bu makineler

tedarikçi firma tarafından üretilmiş ve üretim aşamaları düzenli olarak kontrol edilmiştir.

### 5.1.2 Uygulama Yapılacak Tesisin Belirlenmesi

Termos üretim makineleri bir Çin firması tarafından üretilmektedir. Makine testleri tedarikçi firma tesislerinde yapılacaktır (**Şekil 5.1**). Böylece olası bir olumsuzluk durumunda direkt olarak müdahale imkanı olacak ve Türkiye'ye sevk edilen makinelerin çalışır durumda olduğundan emin olunacaktır.



**Şekil 5.1: Makinelerin Test Edileceği Tesis**

### 5.1.3 Uygulama Yapılacak Robotların Belirlenmesi

Uygulama sırasında GSK marka 6 eksen robotlar kullanılacaktır (**Şekil 5.2**). Bu robotlar aynı zamanda satın alınmış olup deneme yapıldığı hali ile Türkiye tesisine kurulacaktır. Uygulama yapılacak robotun katalog değerleri aşağıdaki gibidir.



**Şekil 5.2: Kullanılacak Robotun Görşeli**

**Çizelge 5.1: GSK Marka RB08 Model Robotun Teknik Özellikleri**

Marka		GSK
Model		RB08
Serbestlik Derecesi		6
Sürücü Tipi		AC Servo Motor
Kaldırma Kapşitesi (kg)		8
Tekrarlanabilirlik (mm)		+/- 0,05
Açısal Hareket Mesafesi	J1	+/- 170
	J2	+/- 120
	J3	+/- 75
	J4	+/- 180
	J5	+/- 135
	J6	+/- 360
Açısal Hız	J1	154
	J2	154
	J3	154
	J4	420
	J5	252
	J6	620
İzin Verilen Tork (N.m)	J4	14
	J5	12
	J6	7
Hareket Yarıçapı (mm)		1389
Makine Ağırlığı (kg)		180

#### 5.1.4 Uygulama Yapılacak Tutucunun Üretilmesi

Tasarımı yapılan robot kollara bağlanacak tutucular, Çin'de termos makinelerini üreten yapan firmayla paylaşılmış ve karşılıklı yapılan istişareler neticesinden ilgili firma tarafından üretilmiştir. Üretim sırasında gerekli kontroller yapılmış, üretim sürekli gözetim altında tutulmuştur.

Üretilen tutucuların robotlara montajının yapılması termos makineleri üreticisi tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sürekli olarak kontrol edilmiş ve yerinde ziyaret ile gözlemlenmiştir.

Tutucuların çalışması sırasında herhangi bir olumsuz duruma rastlanmamış, yapılan iyileştirmelerin sağlıklı şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

#### 5.2 Robotik Sistemlerin Uygulanması

Yapılan bütün çalışmalar neticesinde makineler, robotlar, tutucular ve gerekli diğer bütün ekipmanlar üretilmiş ve tedarikçinin fabrikasında saha uygulaması yapılmıştır. Uygulama fotoğrafları Ek-A olarak paylaşılmıştır.

#### 5.3 Uygulama Sonuçları

Yapılan uygulamalarda termosun gövde kısmı başarıyla üretilmiştir. Üretim sırasında herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3: Üretilen Termos Gövdeleri

### **5.3.1 Montaj Hattı Dengelemenin Uygulama Sonrası Değerlendirilmesi**

Bu çalışma kapsamında termos üretim projesi ele alınmış ve öncelikle bilgisayar ortamında montaj hattı dengelemesi, robotik uygulamaların simülasyonu ve tutucu sistemlerin tasarımı yapılmıştır. Sonrasında yapılan bu teorik çalışmaların saha uygulamaları yapılmış ve saha denemelerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

#### **5.3.1.1 Çevrim Süresi.**

Termos üretim hattı ile ele alındığı çevrim süresi 28 saniye olarak hesaplanmıştı. Yapılan dengeleme çalışmaları neticesinden bu süre 9,33 saniye olarak iyileştirilmişti. Saha testleri sırasında makinelerin çalışması gözlenmiş ve çevrim süresi kronometre ile ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken ölçme hatalarını en aza indirmek için bir çevrim süresi yerine 10 çevrim süresi ölçülmüş ve elde edilen 101 saniye zamanı ona bölünerek bir çevrim süresi 10,1 saniye olarak hesaplanmıştır. Hesaplanarak hedeflenen süre ile gerçekleşen süre arasında az bir miktar fark olduğu görülmüştür. Bu farkın sebebi, dengeleme işlemi sırasında ihmal edilen robot hareketleridir. Yine de oluşan bu fark makul sınırlar içinde olduğu yorumuna varılmıştır.

#### **5.3.1.2 İş İstasyonu Sayısı**

Dengeleme çalışmalarında makine ve istasyon sayısı 8 adet ile başlamış ve sonrasında 2 adet daha boyun işleme makinesi eklenerek toplam sayı 10 olmuştur. Saha testlerinde 3 adet olan boyun işleme makinesi, her bir istasyonu ayrı bir kontrol mekanizmasına sahip ve farklı makine gibi çalışabilen 3 istasyonlu tek bir makine olarak uygulanmıştır. Bu işlemin amacı hem daha kompakt bir yapı elde etmek hem de istasyonları tek bir gövdede toplayarak toplam maliyeti azaltmaktır. Böylece hedeflenen verim ve üretim adetlerine hesaplanan makine adetlerinde ulaşılmıştır.

#### **5.3.1.3 Hat Etkinliği**

Hat etkinliği dengeleme öncesi %30,4 olarak hesaplanmış ve dengeleme sonrası %66,1 olarak iyileştirilmiştir. Uygulama testleri sonra elde edilen gerçek çevrim süresi ile hat etkinliği tekrar hesaplandığında %68,68 olduğu görülmüştür.

Hesaplanan değer ile gerçekleşen değer arasındaki farkın sebebi dengeleme işlemi sırasında ihmal edilen robot hareketleridir.

Hat etkinliği ile birlikte diğer teknik değerler de tekrar hesaplanmış olup izelge 5.2’de gösterilmiştir. Hesaplanan değerler ile gerçekleşen değerlerin farklın kök nedeni çevrim süresi hesaplanmasında ihmal edilen robot hareketleridir. Bu fark değerlerinin bu denli küçük olması robotik sistemlerin ne kadar hızlı çalıştığının bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir.

**Çizelge 5.2: Dengeleme Sonrası ve Saha Testleri Karşılaştırma**

	Dengeleme Sonrası	Gerçekleşen (Saha testleri)	Oransal Fark (%)
evrim süresi	9,33	10,1	-%8
Günlük retim Kapasitesi	3086	2850	-% 8
Denge gecikmesi	%33,9	%31,32	% 7,58
Hat etkinliği	%66,1	%68,68	% 2,58
Düzgünlük indeksi	%14,5	%48,32	% 33,82

Çizelgeye bakıldığı zaman çevrim süresinde %8 oranında bir kayıp söz konusudur. evrim süresine doğru orantılı olarak üretim kapasitesinde de düşüş gözlenmiştir. Yalnız robot hareketlerinin bütün istasyonlara ilave süre olarak eklenmesi sebebiyle iş istasyon süreleri oransal olarak birbirine yaklaşmış ve bunun sonucu olarak da denge gecikmesi, hat etkinliği ve düzgünlük indeksi değerlerine olumlu yönde etkisi olmuştur.

### 5.3.2 Tutucunun Uygulama Testleri

Saha uygulama testlerinde tutucu hareketleri de gözlenmiş ve her bir aşama kayıt altına alınmıştır.

Birinci aşamada tutucu bir önceki makineden gelen ürünü 1. istasyonu ile tutuyor. (Birinci istasyonda işlenmemiş ürün var, ikinci istasyon boş ve makine alışıyor.)



**Şekil 5.4: Tutucu Aşama - 1**

İkinci aşamada tutucu, makinede işlemleri bitmiş olan ürünü ikinci iş istasyonu ile tutuyor. (Birinci istasyonda işlenmemiş ürün, ikinci istasyonda işlenmiş ürün var ve makine çalışmıyor.)



**Şekil 5.5: Tutucu Aşama - 2**

Üçüncü aşamada tutucu işlenmiş ürünü makineden dışarı çıkartıyor. (Birinci istasyonda işlenmemiş ürün, ikinci istasyonda işlenmiş ürün var, makine çalışmıyor.)



**Şekil 5.6: Tutucu Aşama - 3**

Dördüncü aşamada tutucu işlenmemiş ürünü makineye yerleştiriyor. (Birinci istasyon boş, ikinci istasyonda işlenmiş ürün var ve makine çalışmıyor.)



**Şekil 5.7: Tutucu Aşama - 4**

Beşinci aşamada tutucu işlenmiş ürünü sonraki makineye iletiyor. (Birinci istasyon boş, ikinci istasyon boş ve makine çalışıyor.)



**Şekil 5.8: Tutucu Aşama - 5**

Altıncı aşamada tutucu sıradaki işlenmemiş ürünü almak için bir önceki ilgili konuma gidip bekliyor. (Birinci istasyon boş, ikinci istasyon boş ve makine çalışıyor.)



**Şekil 5.9: Tutucu Aşama - 6**

Aşamalar incelendiği zaman ikinci, üçüncü ve dördüncü aşamalarda makineler çalışmamakta, işlem yaptığı parçanın robot tarafından alınmasını ve sıradaki işlem yapacağı parçanın iş istasyonuna konulmasını aşamalarıdır. Bu aşamalar robotun hareket mesafelerinin çok kısa olduğu, herhangi bir şekilde bekleme yapmadığı, diğer aşamalara oranla süre olarak çok daha kısa aşamalarıdır. Birinci, beşinci ve altıncı aşamalarda ise makineler çalışır durumdadır. Bu aşamalarda robotlar çift istasyonlu olması sayesinde işlenmiş ve işlenecek parçayı aynı anda tutmakta ve gerekli hareketleri makineleri durdurmadan yapabilmektedir. Böylece makinenin çalışmadığı aşamalar kısaltılmış, makinelerin çalışma sürelerinin bekleme sürelerine oranı artırılarak makine ve hat verimliliği artırılmıştır.

## 6. TERMOS ÜRETİM HATLARINDA KULLANILAN ROBOTLARIN İNSAN İŞ GÜCÜYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüz sanayisinde sıklıkla kullanılan robotlar programlanabilir, tekrarlı işlerde yüksek hız ve yüksek hassasiyette çalışabilir. Böylece daha verimli ve kaliteli işlemler yaparak üretim maliyetlerini düşürebilir, karlılığı arttırabilirler. Ayrıca iş kazalarının sayısını da ciddi bir oranda azaltırlar.

Robotların avantajlarının yanında, yüksek yatırım maliyeti ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Bu bölümde robotların insan iş gücüne göre karşılaştırmaları yapılacaktır.

Robotik sistemlerin olumlu ve olumsuz yönleri Çizelge 6.1’de açıklanmıştır.

**Çizelge 6.1: Robotik Sistemleri Olumlu ve Olumsuz Yönleri**

Robotların Avantajları	Robotların Dezavantajları
Robotlar 7 gün, 24 saat çalışabilir.	Robotlar yaratıcılıktan yoksundur
Robotlar rutin işleri tekrarlı bir şekilde yapabilir.	Robotlar insan denetiminden bağımsız değildir.
Robotlar güncel yazılım ve donanımlar sayesinde farklı görev ve işleri yapabilirler.	Robotlar kişisel yaklaşım eksikliği içindedir
Robotlar yaptıkları işlerde elde edilen kaliteyi sabit tutabilirler.	Robotlar yapısal durumlarda yönlendirilebilir
Robotlar işlerini sürekli olarak belirli bir sürede ve doğru olarak yapabilirler.	İnsanlar robotları tehlike olarak değerlendirebilir. (Neo-Ludizm yaklaşımı)
Robotlar şikayet etme, hasta olma, greve çıkma, işini yarım bırakma, duygusal davranma gibi özelliklere sahip değildir.	

Kaynak: Ivanow, 2017. [51]

Robotik sistemleri kullanımının yaygınlaşması olarak değerlendirilebilecek bir çalışmaya göre gelişmiş ülkeler nüfusun yaşlanması problemi ile yüzleşmektedir. Nüfusun yaşlanması işgücünün azalmasına sebep olmaktadır. Bu duruma çözüm arayan ülkeler robotik sistemlerin kullanımının artırılması için çalışmalar yapmaktadır [52].

Yapılan bir araştırmada nüfusun yaşlanması problemi yaşayan ülkelerde, robotik sistemlerin kullanımının arttığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu ülkelerde robotik sistemlerin daha çok 36 ile 55 yaş arasındaki kişilerin yerine geçtiği değerlendirilmektedir [53].

### **6.1 Robot ve İnsan İş Gücünün Yatırım Maliyeti Karşılaştırılması.**

Robotların satın alım maliyeti insan iş gücüne oranla çok daha yüksektir. Robotlar, donanım, yazılım ve eğitim gibi ek maliyetlere de sahip olabilir. İnsan iş gücü ise, işe alım, eğitim ve personel giderleri gibi görece olarak çok daha düşük sayılabilecek maliyetlere tabidir.

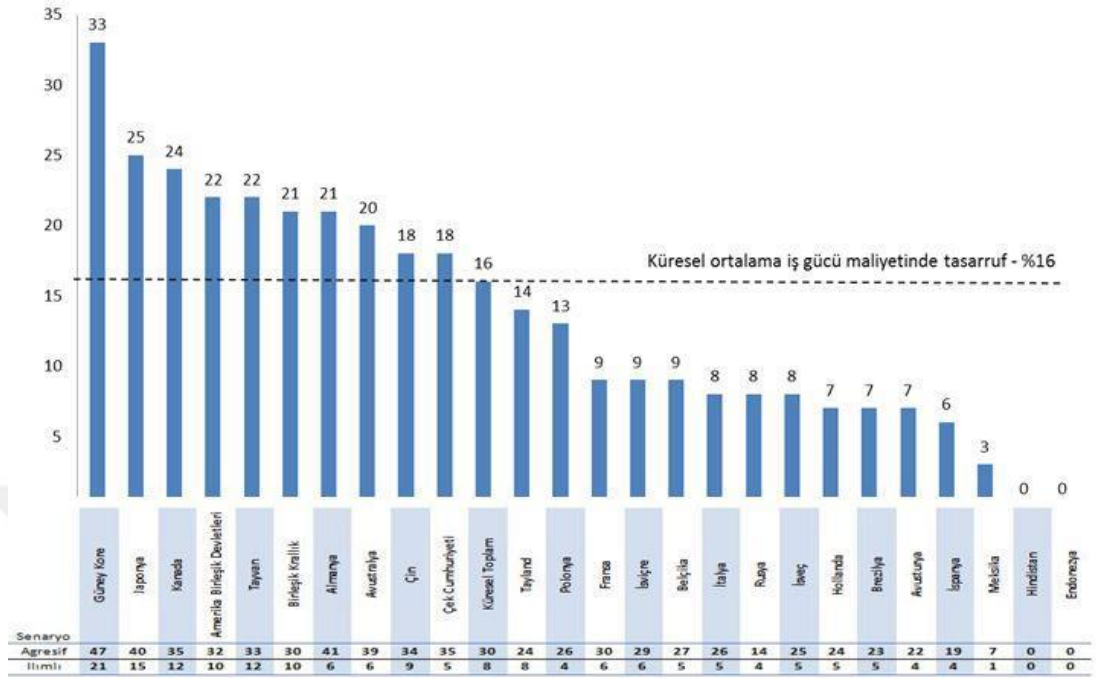
### **6.2 Robot ve İnsan İş Gücünün İşletme Maliyeti Karşılaştırılması.**

İnsan iş gücü kullanımında, çalışanların maaşları, sigorta, sağlık hizmetleri, emeklilik gibi maliyetler bulunur. Bu maliyetler işletme için önemli bir faktördür. Robotların işletme maliyeti ise enerji tüketimidir. Bunun yanında bakım onarım, donanım, yazılım revizyonları gibi gider kalemleri de robot işletme maliyetleri arasında sayılabilir. Ayrıca üretim kapasitesinde artışa sebep olarak birim ürün başına düşen işletme giderlerinde düşüşe sebep olurlar.

TÜSİAD'IN yayınlamış olduğu bir çalışmaya göre, iş gücünün daha ucuz olduğu gelişmekte olan ülkelerde üretim maliyetleri daha düşük olmakta ve böylece bu ülkeler global çaptaki firmalar ile rekabet edebilmektedir. Fakat bu ülkeler rekabet avantajlarını gün geçtikçe robotik sistemlere daha fazla önem veren ve yatırım yapan ülkelere karşı yitirmektedir [54].

Robot yatırımları yapılması durumunda iş gücü maliyetinden %30'lara varan tasarruflar sağlanabileceği yönünde araştırmalar yapılmıştır. Şekil6.1'e göre ülkelerin yaptıkları robotik yatırımlara göre %3 ile %30 arasında bir iş gücü tasarrufu

sağlayabileceği görülmektedir. Bu oranın dünya ortalama ise %16 olarak hesaplanmıştır [55]. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1: Robot Yatırımları Sonucunda İşgücü Maliyetlerinde Tasarruf

### 6.3 Robot ve İnsan İş Gücünün Üretim Kapasitesine Olan Etkisinin Karşılaştırılması.

Robotlar, yüksek hızda, sürekli ve yüksek hassasiyette çalışabilme yeteneklerine sahiptir. İnsan iş gücüne göre daha hızlı ve daha verimli üretim yapabilirler. Ayrıca üretim hatalarını da en aza indirirler, daha yüksek verim ve kapasitede üretim yapılmasına olanak sağlarlar.

Graetz ve Michaels 1993 ile 2007 yılları arasındaki dönemde ilişkin Avrupa ülkelerinde farklı sektörlerde robotik sistemlerin kullanımını analiz etmiştir. Robot kullanımının emek üretkenliğini ve gayri safi yurtiçi hasıla büyümesini yaklaşık olarak %10 arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır [56].

### 6.4 Robot Ve İnsan İş Gücünün Bakım, Onarım Açısından Karşılaştırılması.

Robotların düzenli bakım ve onarım ihtiyaçları vardır. Bakım, robotun performansının ve güvenliğinin sürdürülmesini sağlar. Bakım maliyetleri, robotun türüne ve kullanım yoğunluğuna bağlı olarak değişebilir. Bazı robotlar daha az

bakım gerektirebilirken, bazıları daha sık ve karmaşık bakım gerektirebilir. İnsan iş gücü ise, çalışanların sağlık durumu ve iş gücü verimliliği gibi faktörlerle ilişkili maliyetlere tabidir.

### **6.5 Robot Ve İnsan İş Gücünün Kaliteye Etkisinin Karşılaştırılması.**

Robotlar ve insan iş gücünün kaliteye etkisinin karşılaştırılması, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Robotlar, programlandıkları şekilde hareket ederek yüksek hassasiyetle çalışabilirler. İnsan iş gücüne göre daha az hata yapma eğilimindedirler. Daha tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini sağlayarak kaliteye pozitif anlamda etkileri oldukça yüksektir.

İnsan iş gücü, yorgunluk, dikkat dağılması veya hatalı işlem gibi faktörler nedeniyle hatalar yapabilir. Robotlar ise programlandıkları şekilde hareket ederler ve insan faktörü nedeniyle ortaya çıkabilecek hataları minimize ederler.

Robotlar, programlandıkları şekilde işlemleri gerçekleştirir ve önceden tanımlanan kalite kontrol standartlarına uygun çalışırlar. İnsan iş gücünde ise kalite kontrolü, deneyim, eğitim ve sürekli denetim gerektirir.

Bazı görevler, özgün düşünme, yaratıcılık veya duygusal zeka gerektirir. Bu tür görevlerde insan iş gücü, robotlara göre daha üstün olabilir. Özellikle tasarım, yenilikçilik veya müşteri ilişkileri gibi alanlarda insanların katkısı önemlidir.

Sonuç olarak, robotlar ve insan iş gücünün kaliteye etkisi, işletmenin spesifik ihtiyaçlarına ve iş süreçlerine bağlı olarak değişir. Robotlar, tekrarlanabilirlik, hız, verimlilik ve insan hatalarının azalması gibi avantajlara sahiptir. Ancak, insanların esneklik, uyarlanabilirlik ve karmaşık görevlerdeki üstünlüğü göz önünde bulundurulmalıdır. İdeal durumda, robotlar ve insanlar birlikte çalışarak her iki tarafından avantajlarından yararlanılabilir ve optimum kalite sağlanabilir.

### **6.6 Robot Ve İnsan İş Gücünün İş Kazaları Açısından Karşılaştırılması.**

Robotlar, önceden programlanmış işlemleri gerçekleştirirken insanlara göre daha az hata yapma eğilimindedir. İnsan hatalarından kaynaklanan kazaların önüne geçebilirler. Ancak, robotların düzgün programlanması, güvenlik önlemlerinin alınması ve doğru kullanılması önemlidir. İnsan iş gücü ise, dikkat dağılması, hatalı işlem veya yorgunluk gibi faktörler nedeniyle iş kazalarına daha yatkın olabilir.

Robotlar, mekanik parçalara, hareketli kollar veya aletlere sahip olabilirler. İşletmeler, robotların tehlikeli bölgelere erişimi kontrol altına almak için güvenlik önlemleri almalıdır. İnsan iş gücü ise, benzer fiziksel tehlikelere maruz kalabilir, ancak iş güvenliği eğitimi ve uygun koruyucu ekipmanlarla riskler azaltılabilir.

Robotlar ve insan iş gücünün iş kazaları açısından karşılaştırılması, işletmenin güvenlik gereksinimlerini dikkate alarak yapılmalıdır. İnsanların ve robotların birlikte çalıştığı durumlarda, uygun eğitim, denetim ve güvenlik önlemleri, iş kazalarını en aza indirmeye yardımcı olabilir.



## 7. ROBOTİK SİSTEMLERİN DİĞER TEKNİK FAYDALARI

### 7.1 Dijital İkiz

Dijital ikiz, ürün, sistem veya süreç gibi fiziksel bir varlığın dijital bir kopyasıdır. Dijital ikizler, gerçek dünyadaki varlıkların sanal bir kopyası olarak oluşturulurlar ve bu kopyalar gerçek zamanlı olarak güncellenir. Bu dijital kopya, sensörler aracılığıyla gerçek dünyadaki varlığın durumu, performansı ve davranışları hakkında veri toplar ve analiz eder.

Dijital ikizler, otomotiv, üretim, tarım, sağlık, uzay ve ticaret gibi birçok farklı endüstri ve sektörde kullanılır. Otomotiv sektörünü de imalat sanayinin bir alt parçası olarak kabul eder isek, dijital ikizin kullanımının yaklaşık %40 gibi büyük bir çoğunluğu imalat sektöründe gerçekleşmektedir [57]. İmalat sektöründe, bir ürünün dijital ikizi, tasarım aşamasından başlayarak üretim, işletme ve bakım süreçlerine kadar kullanılabilir [58]. Ayrıca büyük hacimli seri üretim tesislerinde üretim alanlarının daha verimli kullanabilmek amacıyla makine yerleşimlerini iyileştirmek için, iş ve işçi güvenliğini arttırabilmek için de dijital ikiz projelerinden yararlanılmaktadır [59]. Petrokimya tesislerinde makine öğrenimi tabanlı dijital ikiz projelerinden yararlanıldığı bilinmektedir [60]. Makine öğrenimi tabanlı projeler birçok farklı sektör ve endüstride kullanılması mümkündür.

Dijital ikiz projelerinin başlıca faydaları şunlardır:

- **Tasarım ve Simülasyon:** Dijital ikizler, ürünlerin tasarım aşamasında kullanılarak sanal olarak simüle edilebilir. Bu sayede, ürünün davranışı önceden tahmin edilebilir, tasarım hataları tespit edilebilir ve iyileştirmeler yapılabilir.
- **Performans İzleme ve Analiz:** Gerçek dünyadaki varlıklardan toplanan veriler, dijital ikizler aracılığıyla analiz edilebilir. Bu sayede, varlıkların performansı izlenebilir, verimlilik artırılabilir ve hata veya arıza durumlarında erken uyarılar alınabilir.

- Bakım ve Onarım: Dijital ikizler, varlıkların bakım ve onarım süreçlerini optimize etmek için kullanılabilir. Veriler sayesinde, bakım zamanlaması planlanabilir, arızalar önceden tahmin edilebilir ve işletmeler arıza durumlarıyla daha hızlı ve etkili bir şekilde başa çıkabilir.
- İşbirliği ve Paylaşım: Dijital ikizler, farklı paydaşlar arasında bilgi ve veri paylaşımını kolaylaştırır. Tasarım, üretim ve bakım süreçlerindeki farklı ekipler arasında işbirliğini artırır ve iletişimi geliştirir.
- Dijital ikizler, endüstri 4.0 ve akıllı üretim gibi kavramlarla birlikte önem kazanmıştır. Bu teknoloji, işletmelerin daha verimli, esnek ve rekabetçi olmalarını sağlarken aynı zamanda maliyetleri azaltmalarına da yardımcı olabilir.

Dijital ikiz çalışmalarını başarıyla uygulamış firmalara örnek verecek olur isek; Türkiye’de bir otomotiv firmasında yapılan dijital ikiz çalışmalarını sayesinde üretim hattı duruş sürelerinde %87,56 oranında, üretim verimliliğinde ise %6,01 oranında iyileştirme sağlandığı tespit edilmiştir [61].

Unilever firmasının gerçekleştirmiş olduğu dijital ikiz çalışmaları neticesinde; üretim hatlarında oluşan günde ortalama 3000 adet alarm sinyali %90 oranında azaltılarak günde ortalama 300 adet seviyelerinde düşmüştür [62].

Kinexon firmasının dijital ikiz projeleri sonucunda üretim hattı yaklaşık %5 oranında hızlanmış ve hatalı ürün miktarlarında da ciddi azalmalar gerçekleşmiştir [63].

Çin Halk Cumhuriyeti’nde gerçekleştirilen bir diğer dijital ikiz çalışmasında makine sıcaklıkları, makine hızları ve güç verilerini izleyen bir platform oluşturularak üretim maliyetleri %57, makine duruş süreleri ise %37 oranında azaltılmıştır [64].

Dijital ikiz çalışması için öncelikle uygulama yapılacak makine parkurundan hangi verilerin izlenmesi gerekliliği belirlenmelidir. Bu veriler makine çalışma hızları, motor devirleri, sürücü frekansları, motor veya ortam sıcaklıkları, ses seviyesi, titreşim değeri gibi çok çeşitli veriler olabilir. Ne kadar çok veri toplanabilirse çalışmanın doğruluğu o kadar fazla olacaktır.

İkinci aşama olarak izlenmesi kararlaştırılan veriler için uygun sensör ve cihazların seçimi yapılmalıdır. Bazı makine ve ekipmanlarda istenilen veriler

standart özellik olarak izlenebilir yapıda olabilir. Mesela sürücü ile çalışan makinelerde sürücü frekans değerleri işlemci vasıtasıyla kontrol edilebilir ve izlenebilir yapıda olabilir. Bu durumda ilave sensör ve ekipmana gerek kalmayacaktır. Sıcaklık, kirlilik seviyesi gibi dış ortam ölçümleri için ilave sensörlere ihtiyaç duyulacaktır. Her bir veri için uygun teknik özelliklerde sensör seçimi yapılmalı ve temin edilmelidir.

Sonraki aşamada ölçülen değerlerin sınıflandırılması gereklidir. İzlenmesi istenilen değerlerin hangi aralıklarda ideal, hangi aralıklarda uygunsuz olduğu belirlenmelidir. Dijital ikiz projelerinde motor sıcaklıkları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu durumda kullanılan motorların teknik verileri incelenerek hangi sıcaklık aralığında çalışması ideal olduğu, hangi aralıklarda çalışması uygun olmadığı belirlenmelidir. Bu işlem çalışma kapsamındaki bütün veriler ve ekipmanlar için yapılmalıdır.

Verilerin elde edilmesi projenin fiziksel tarafını oluşturmaktadır. Sonraki işlemler ise projenin yazılım tarafıdır. Elde edilen veriler uygun bir haberleşme protokolü vasıtasıyla veri tabanına aktarılmalı ve burada kayıt altına alınmalıdır. Kullanılması düşünülen bir analiz programı ile veri tabanında toplanan verilerin analizi yapılır. Bu noktada analiz programına projeye uygun özel yazılımlar yapılması gereklidir.

Projenin en önemli bölümlerinden biri de programın arayüzüdür. Kişiselleştirilmiş ve yazılım desteği verilmiş arayüz tasarımları ile programın kontrol paneli oluşturulmuş olur. Bu kısımda izlenen veriler anlık olarak görülür, makine veya ekipmanlar izlenir, uygun değerlerin dışında çıktığı noktalarda program bilgi vererek kullanıcıyı uyarır. İsteğe bağlı olarak da sistem makine ve ekipmanlara otomatik müdahalede bulunabilir.

Termos üretim projesi ele alındığında özellikle robotik sistemlerinde kullanıldığı plastik şekil verme bölümünde dijital ikiz çalışması yapılması hedeflenmektedir. Tez çalışması kapsamında dijital ikiz çalışması için gerekli alt yapı belirlenecektir.

Termos projesinde izlenmesi hedeflenen veriler aşağıda gibidir.

- Robotların motor sıcaklıkları
- Robot motorların akım değerleri

- Robot motorlarının tork değerleri
- Üretim makinelerin motor sıcaklıkları
- Üretim makinelerin motor frekans değerleri
- Lazer sistemlerin akım değerleri
- Lazer sistemlerin nozul sıcaklık değerleri
- Lazer sistemlerinde parça sıcaklık değerleri
- Pnomatik sistemler için hava tüketim değerleri
- Ortam sıcaklığı
- Üretim miktarları

Yukarıda belirtilen bütün veriler toplanacak ve veri tabanında kayıt edilecektir. Makine öğrenmesi temeline dayalı bir analiz programı geliştirilecektir. Projenin öncelikle bakım faaliyetlerine katkı sunması hedeflenmektedir. Ayrıca yeni yatırımlar veya mevcut sistem için daha düşük enerji sarfiyatı diğer hedefler arasındadır.

## 7.2 Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım, bir makine veya ekipmanın arızalanmadan önce potansiyel arıza belirtilerini tahmin etmek ve önleyici bakım yapmak için kullanılan bir bakım yöntemidir. Kestirimci bakım, geleneksel zaman temelli bakım yöntemlerinden farklı olarak, ekipmanın gerçek durumunu izleyen sensörler ve veri analitiği kullanır.

Kestirimci bakım, aşağıdaki temel adımları içeren bir süreçtir:

- Veri Toplama: Ekipman üzerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla sürekli olarak veri toplanır. Bu sensörler, titreşim, sıcaklık, basınç, akım vb. gibi çeşitli parametreleri ölçebilir. Bu veriler, ekipmanın gerçek zamanlı durumunu izlemek için kullanılır.
- Veri Analizi: Toplanan veriler analiz edilir ve önceden belirlenmiş analitik algoritmalar kullanılarak anormal davranışlar veya arıza belirtileri tespit edilir. Makine öğrenimi ve yapay zeka teknikleri, verilerin daha karmaşık analizlerini yapabilme yeteneği sağlar.
- Arıza Tahmini: Analiz sonuçlarına dayanarak, ekipmanın ne zaman arıza yapabileceği tahmin edilir. Bu, arızanın ne zaman gerçekteşebileceğinin öngörülmesine ve önleyici bakımın zamanında yapılmasına olanak tanır.

- Önleyici Bakım: Arıza tahmini sonuçlarına dayanarak, gerekli önleyici bakım işlemleri planlanır ve gerçekleştirilir. Bu, ekipmanın arızaya yol açacak bileşenlerini değiştirmek, ayarlamak veya onarmak için zamanında müdahale etmek anlamına gelir.

Kestirimci bakımın faydaları şunlar olabilir:

- Ekipman arızalarının önceden tahmin edilerek planlı bakımın yapılması, işletmelerin üretim duruş sürelerini azaltır ve üretkenliği artırır.
- Kestirimci bakım, yedek parça stoğunu ve bakım maliyetlerini optimize ederek, işletmelerin maliyetlerini düşürmesine yardımcı olur.
- Daha düşük bakım maliyetleri, daha uzun ekipman ömrü ve daha az beklenmedik arıza, müşteri memnuniyetini artırır ve işletmenin güvenilirliğini yükseltir.
- Veri analitiği ve makine öğrenimi kullanımı sayesinde, kestirimci bakım sürekli olarak gelişebilir ve daha kesin tahminler yapabilir.
- Kestirimci bakım, planlı bakımın zamanlamasını iyileştirerek, bakım personelinin daha etkin kullanılmasını

Dijital ikiz çalışması yaparak kestirimci bakım konusunda başarıya ulaşmış firmalara örnek verecek olur isek; Çin halk Cumhuriyeti'nde faaliyet gösteren Citic Heavy Industries firmasında dijital ikiz çalışmaları gerçekleştirdi. Çalışma kapsamında 3 boyutlu bir ekipman modeli gerçekleştirdi ve üretim süreçlerini görsel olarak izleme yeteneği kazandırıldı. Bu sayede bakım maliyetlerini 2 milyon dolar azalttı [65].

Termos üretim projesi ele alındığında dijital ikiz projesi kapsamında kestirimci bakım faaliyetleri de hedeflenmektedir. Dijital ikiz projesinden toplanan özellikle motor ve pnomatik sistem verileri analiz yapılacak ve motor ile pnomatik sistemlerin arızaları önceden tahmin edilmeye çalışılacaktır. Böylece makine duruş sürelerinde, yedek parça stok miktarlarında ve üretim maliyetlerinde azalma hedeflenmektedir.

### **7.3 Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)**

MRP, işletmelerin üretim taleplerini karşılamak için hangi malzemelere, ne kadar ihtiyaç duyduklarını belirlemek için kullanılır. Bu planlama süreci, mevcut

envanter miktarı, üretim talepleri, teslim süreleri ve tedarik zinciri faktörlerini dikkate alır.

Robotik sistemlerin bu sürece katkıları oldukça yüksektir. Robotların, tekrarlanabilir görevleri otomatik olarak gerçekleştirme ve hataları en düşük seviyeye indirme konularında yeteneklerinden dolayı MRP süreçlerini yönetmek ve uygulamak daha kolay olur.

Robotlar, sensörler ve diğer veri toplama araçları ile entegre çalışabilir. Üretim sürecinde robotlar tarafından toplanan veriler, MRP sistemiyle entegre edilerek gerçek zamanlı ve doğru bilgilere dayalı malzeme gereksinimlerinin hesaplanmasına yardımcı olur. Bu da stok yönetimi ve talep tahmini gibi kritik MRP süreçlerinin doğruluğunu artırır.

Robotlar, programlanabilir ve esnek yapıları sayesinde farklı üretim ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde adapte olabilir. Üretim taleplerindeki değişikliklere hızlıca yanıt verebilir ve üretim kapasitesini ölçeklendirebilir. Bu, MRP sürecinin dinamik ve değişen taleplere uygun şekilde ayarlanmasını sağlar.

Termos üretim projesinde de kullanılacak robotik sistemlerin yazılımları ve çeşitli sensörler yardımıyla üretimden çeşitli bilgiler toplanması ve bu bilgilerin MRP çalışmalarına katkıda bulunması hedeflenmektedir.

## 8. SONUÇ

Proje kapsamında termos üretim hatları incelenmiş, termos üretim fabrikası için gerekli teknik altyapılar ve makineler tespit edilmiştir. Termos üretim hattının otomasyon düzeyi görece olarak daha yüksek olan plastik şekillendirme makineleri üzerine yoğunlaşmıştır. Öncelikle makinelerin otomasyon düzeylerine ve bunun bir çıktısı olarak üretim kapasitene önem verilmiştir. Üretim kapasitesi, verimlilik, hat etkinliği gibi teknik değerlerin optimize edilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak günlük üretim kapasitesi 1024 adetten, 3086 adete çıkartılarak yaklaşık 3 kat iyileştirme sağlanmıştır. Hat verimlilik değerleri ise %30,4'ten %66,1'e yükseltilerek %35,5'lük iyileştirme sağlanmıştır.

Montaj dengeleme probleminde belirlenen makine sayılarına göre üretici firmaya sipariş verilmiştir. Eş zamanlı olarak bu makine sayılarına göre simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmalarının amacı, robotik sistemlerin makineler ile daha hızlı ve verimli çalışmaları sağlamaktır. Bu doğrultuda robodk isimli bilgisayar programı kullanılmış ve yapılan denemeler sonucunda makine ve robotların optimum konum ve hareketleri tespit edilmiş. Tespit edilen bu bilgiler üretici firma ile paylaşılmış ve makine parkurunun bu bilgilere göre konumlandırılması sağlanmıştır. Ayrıca robot sistemlerini hareketleri de bu bilgilere göre ayarlanması sağlanmıştır.

Robotik sistemlerin bir parçası olan tutucu sistemler incelenmiş ve iki parmak tutucuların ağırlıklı olarak kullanıldıkları görülmüştür. Tutucu sistemleri üzerine tasarım çalışmaları yapılarak iki istasyonlu tutucular geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar üretici firma ile paylaşılmış ve tutucuların iki istasyonlu olarak uygulanması sağlanmıştır. Yapılan saha testleri sonucunda iki istasyonlu tutucuların verimleri çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Tutucu sistemlerin tasarımı sırasında, boruya etki eden kuvvetler tespit edilmiş ve bu doğrultuda HFT16x40S model piston kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılmasına karar verilen pistonun boruya uygulayacağı kuvvet 88N'dur. Tespit edilen bu kuvvet tesiri altında borunun gerilme kuvvetleri solidworks programının

analiz modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Hesap yapılırken termos sektöründe en sık olarak kullanılan 0.5mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin mukavemet değerleri kullanılmıştır. Yapılan hesap sonucunda boru üzerinde oluşan en büyük gerilme 30,3 N/mm<sup>2</sup>, en büyük yer değiştirme ise 0,17mm olarak bulunmuştur. AISI 304 malzeme için akma dayanımının 207 N/mm<sup>2</sup> olduğu değerlendirildiğinde emniyet katsayısı 6,83 olarak hesaplanmış ve seçilen pistonun uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Piston üzerine montajı yapılacak kauçuk parçaları tutacak sac levha için sehim hesabı yapılmış ve 2mm sehime müsaade edilecek şekilde, 30mm genişliğinde ve 3mm kalınlığında sac kullanımına karar verilmiştir. Kauçuk malzemelerin seçimi boru çaplarına uygun olacak şekilde yapılmış ve M4 civata kullanımı uygun bulunmuştur. Karar verilen bütün özellik ve ölçülere göre tutucu tasarımı 2 farklı geometride tamamlanmıştır.

Tasarımı yapılan 2 tutucunun gövdelerine etki eden kuvvetler hesaplanmış ve bu parçalarda oluşan gerilmelerin hesaplanması solidworks programının analiz modülü kullanılarak yapılmıştır. Tutucularında birinde en büyük gerilme kuvveti 2,15 N/mm<sup>2</sup>, emniyet katsayısı 12,83 olarak hesaplanmıştır. Diğer tutucu tasarımında ise en büyük gerilme kuvveti 2,15 N/mm<sup>2</sup>, emniyet katsayısı 2,08 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan emniyet katsayıları uygun görülmüş ve tutucu tasarımına onay verilmiştir.

Yapılan bütün bilgisayar çalışmaları neticesinde, makine, robot ve diğer sistemler üretimi tamamlanmış ve saha testleri yapılarak termos gövdelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Robotik sistemlerin diğer teknik faydaları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda dijital ikiz, kestirimci bakım ve MRP gibi sistemler ön plana çıkmıştır. Bu konularda literatür taraması yapılmış ve başarılı çalışmalardan örnekler verilmiştir. Sistemlerin termos üretim projesine uygunluğu değerlendirilmiştir. Yalnız bu aşamada herhangi bir uyarlama çalışması yapılmamış, gelecekte yapılması muhtemelen çalışmalara altyapı sağlaması açısından hangi bilgilerin toplanması gerekliliği tespit edilmiştir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] S. Özdemir, H. Y. Ersöz, ve H. İ. Sarıoğlu, “Küçük Girişimciliğin Artan Önemi ve KOBİ’lerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri”, *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, c. 53, 2007.
- [2] S. Yükçü ve G. Atağan, “Etkinlik, Etkililik ve Verimlilik Kavramlarının Yarattığı Karışıklık”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 23, pp 4, 2009.
- [3] C. S. Anyanwu, A. Gad, H. Bilal, ve D. R. E. Ewim, “Heat Analysis of a Vacuum Flask”, *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, c. 8, pp 11, 2022.
- [4] James Dewar’s vacuum flask, <[www.rigb.org/explore-science/explore/collection/james-dewars-vacuum-flask](http://www.rigb.org/explore-science/explore/collection/james-dewars-vacuum-flask)>, Viewed on 13 Feb 2023.
- [5] B. Burger, “Double Walled Vessel With a Space for a Vacuum Between the Walls”, US Patent 872,795, 1907.
- [6] D. Kurt ve Ü. Bozoklu, “Robot Ekonomisinin Yükselişi”, *Sosyal Bilimler Metinleri*, c. 2019, pp 1, 2019.
- [7] A. Dobra, “General classification of robots. Size criteria”, *23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, IEEE RAAD 2014 - Conference Proceedings*, 2015.
- [8] M. Ben-Ari ve F. Mondada, *Elements of Robotics*. 2017.
- [9] J. A. Gonzalez-Aguirre, “Service robots: Trends and technology”, *Applied Sciences (Switzerland)*, c. 11, pp 22. 2021.
- [10] M. Diana ve J. Marescaux, “Robotic surgery”, *British Journal of Surgery*, c. 102, pp 2. 2015.
- [11] D. Voth, “A new generation of military robots”, *IEEE Intell Syst*, c. 19, pp 4, 2007.
- [12] E. Ospennikova, M. Ershov, ve I. Iljin, “Educational Robotics as an Inovative Educational Technology”, *Procedia Soc Behav Sci*, c. 214, 2015.
- [13] S. G. Vougioukas, “Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems Agricultural Robotics”, *Annu. Rev. Control Robot. Auton. Syst.* 2019, c. 2, 2019.
- [14] J. Yuh ve M. West, “Underwater robotics”, *Advanced Robotics*, c. 15, pp 5, 2001.
- [15] E. Prassler, A. Ritter, C. Schaeffer, ve P. Fiorini, “A short history of cleaning robots”, *Auton Robots*, c. 9, pp 3, 2000.

- [16] A. Flores-Abad, O. Ma, K. Pham, ve S. Ulrich, “A review of space robotics technologies for on-orbit servicing”, *Progress in Aerospace Sciences*, c. 68, 2014.
- [17] Z. Chen vd., “Automated in-field leaf-level hyperspectral imaging of corn plants using a Cartesian robotic platform”, *Comput Electron Agric*, c. 183, 2021.
- [18] S. Suri, A. Jain, N. Verma, ve N. Prasertpoj, “SCARA Industrial Automation Robot”, içinde *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control, PEEIC 2018*, 2019.
- [19] M. El-Gohary ve J. McNames, “Human Joint Angle Estimation with Inertial Sensors and Validation with A Robot Arm”, *IEEE Trans Biomed Eng*, c. 62, pp 7, 2015.
- [20] F. Corcione, “Advantages and limits of robot-assisted laparoscopic surgery: Preliminary experience”, *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, c. 19, pp 1, 2005.
- [21] S. Bragança, E. Costa, I. Castellucci, ve P. M. Arezes, “A brief overview of the use of collaborative robots in industry 4.0: Human role and safety”, içinde *Studies in Systems, Decision and Control*, 2019.
- [22] G. Michalos, N. Kousi, S. Makris, ve G. Chryssolouris, “Performance Assessment of Production Systems with Mobile Robots”, *Procedia CIRP*, 2016.
- [23] J. Reis, N. Melão, J. Salvadorinho, B. Soares, ve A. Rosete, “Service robots in the hospitality industry: The case of Henn-na hotel, Japan”, *Technol Soc*, c. 63, 2020.
- [24] J. Wallén, “The history of the industrial robot”, 2008.
- [25] C. Karel, *R.U.R. (Rossum’s Universal Robots)*. Penguin Classics, 2004.
- [26] M. Hägele, K. Nilsson, J. N. Pires, ve R. Bischoff, “Industrial Robotics”, *Springer Handbooks*, 2016.
- [27] M. Hägele, K. Nilsson, J. N. Pires, ve R. Bischoff, “Industrial Robotics”, *Springer Handbooks*, pp 1386, 2016.
- [28] G. C. Devol, “*Programmed Artivle Transper*”, US Patent 2,988,237, 1961.
- [29] A. Gasparetto ve L. Scalera, “A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century”, *Advances in Historical Studies*, c. 08, pp 01, 2019.
- [30] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 309.
- [31] A. N. KARACAN, H. İ. ŞAHİN, M. ÖZMEN, “İnsan-robot iş birliği ile çok amaçlı montaj hattı dengeleme”, sayfa 33, 2012.
- [32] Y. Kara, Y. Atasagun ve S. Hezer, “*Üretim Planlama – II Ders Notları*” pp 4.
- [33] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 320.

- [34] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 322.
- [35] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 321.
- [36] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 317.
- [37] M. Tanyaş ve M. Baskak, “*Üretim Planlama ve Kontrol*”, İrfan Yayıncılık, pp 310.
- [38] K. Aıpak ve S. Zolfaghari, “Mathematical models for parallel two-sided assembly line balancing problems and extensions”, *Int J Prod Res*, c. 53(4), pp 1242-1254, 2015.
- [39] M. Amen, “Cost-oriented assembly line balancing: Model formulations, solution difficulty, upper and lower bounds”, içinde *European Journal of Operational Research*, 168(3), pp 747-770 2006.
- [40] E. Erel ve H. Gokcen, “Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem”, *Eur J Oper Res*, c. 116, pp 194-204, 1999.
- [41] H. Gokcen ve E. Erel, “A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem”, *Int J Prod Econ*, c. 48, pp 177-185, 1997.
- [42] B. Olga ve D. Alexandre, “A Taxonomy of Line Balancing Problems and their Solution Approaches”, *Int J Prod Econ*, c. 142(2), pp 259-277 2013.
- [43] H. Altunay, “*Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Çevrim Süresinin Minimasyonu İçin Yeni Yaklaşımlar: Paralel Görev Atama Ve Paralel İstasyon Oluşturma*” Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, pp 29, 2017.
- [44] H. Altunay, “*Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinde Çevrim Süresinin Minimasyonu İçin Yeni Yaklaşımlar: Paralel Görev Atama Ve Paralel İstasyon Oluşturma*” Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, pp 41-42, 2017.
- [45] R. G. Askin ve M. Zhou, “A parallel station heuristic for the mixed-model production line balancing problem”, *Int J Prod Res*, c. 35, sy 3095-3106, 1997.
- [46] S. Liu, F. Wang, Z. Liu, W. Zhang, Y. Tian ve D. Zhang, “*A Two-Finger Soft-Robotic Gripper with Enveloping and Pinching Grasping Modes*”, *Transactions on Mechatronics*, 2020.
- [47] Coefficient of Friction Equation and Table Chart, <[https://www.engineersedge.com/coefficients\\_of\\_friction.htm](https://www.engineersedge.com/coefficients_of_friction.htm)>, Viewed on 19 May 2023.
- [48] W. F. S. Araújo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, J. A. Matos, “*Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept*”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* sayı 90, pp 1539–1545, 2017.
- [49] R. J. S. Costa, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, “*A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry*”, *The*

*International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, sayı 91, pp 4043-4054, 2017.

- [50] M. J. R. Costa, R.M. Gouveia, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, “How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c 94, pp 3041–3063, 2018.
- [51] S. Ivanow, Robonomics – Principles, Benefits, Challenges, Solutions. *Yearbook of Varna University of Management*, c10, pp 283-293, 2017.
- [52] D. Kurt ve Ü. Bozoklu, “Robot Ekonomisinin Yükselişi”, Sosyal Bilimler Metinleri, c 01, pp 31 2019.
- [53] D. Acemoglu ve P. Restrepo, “Robots and jobs: Evidence from us labor markets”, *Journal of Political Economy*, c. 128, pp 6, 2020.
- [54] TÜSİAD, *Dijital Teknolojiler ve Ekonomik Büyüme*. İstanbul, 2018.
- [55] D. Kurt ve Ü. Bozoklu, “Robot Ekonomisinin Yükselişi”, Sosyal Bilimler Metinleri, Sayı 01, pp 40, 2019.
- [56] G. Graetz ve G. Michaels, “CEP Discussion Paper No 1335: Robots at Work”, *CEP Discussion Paper*, pp 1335, 2015.
- [57] Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report By End-use (Manufacturing & Agriculture), By Solution, (Component, Process, System), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030, <“<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>”>, Viewed on 26 May 2023.
- [58] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn, “Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification”, *IFAC-PapersOnLine*, 51, pp 1016–1022, 2018.
- [59] E.B. Arisoy, G. Ren, E. Ulu, N.G. Ulu, S.A. Musuvathy, “A Data-driven Approach to Predict Hand Positions for two-Hand Grasps of Industrial Objects”. In *Proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, NC, USA, 21–24 August 2016.
- [60] Q. Min, Y. Lu, Z. Liu, C. Su, B. Wang, “Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry”, *Int. J. Inf. Manag.* 49, pp 502–519, 2019.
- [61] A. F. Mendi, “A Digital Twin Case Study on Automotive Production Line”, *Sensors* 2022, pp 15, 2022.
- [62] Manufacturing Global. The Transformation of Digital Twins in Manufacturing, <https://manufacturingglobal.com/procurement-and-supply-chain/transformation-digital-twins-manufacturing>”, Viewed on 24 May 2023.
- [63] J. Welter, “Why a Digital Twin of Moving Things Is the Missing Piece for Successful Industrial Automation”, August 2021, <“<https://internetofbusiness.com/location-based-automation-why-adigital-twin-of-moving-things-is-the-missing-piece-for-successful-industrial-automation/>”>, Viewed on 14 June 2023.

- [64] C. Miskinis, “Reducing Car Manufacturing Costs by 54% via Digital Twin Genie”, <<https://www.challenge.org/insights/digital-twin-genie-in-manufacturing/>>, viewed on 5 May 2023.
- [65] J. Montague, “Building Information Modeling, Digital Twins Create Green, Smart Cement Factory”, <<https://www.controlglobal.com/articles/2021/building-information-modeling-digital-twins-create-green-smart-cement-factory/>>, viewed on 5 May 2023.



## EKLER

### Ek A: Saha Uygulama Testleri Yapılan Makine Görselleri



Şekil A.1: Bölme Makinesi (Proses I)



**Şekil A.2: Boyun İşleme Makinesi (Proses II)**



**Şekil A.3: Uç Kesme Makinesi (Proses III)**



**Şekil A.4: Alt Şekillendirme Makinesi (Proses IV)**



**Şekil A.5: Yuvarlama Makinesi (Proses V)**



**Şekil A.6: Kenar Bükme Makinesi (Proses VI)**



**Şekil A.7: Diş Açma Makinesi (Proses VII)**



**Şekil A.8: Trimleme Makinesi (Proses VIII)**



**Şekil A.9: Termos Üretim Hattı**

## ÖZGEÇMİŞ

### ÖĞRENİM DURUMU

**Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü

### MESLEKİ DENEYİMLER

**2013-2014** : Fokus Mühendislik A.Ş / Satış Mühendisi

**2015-2018** : Unimak Mühendislik Hizmetleri Ve Mak. San. Tic. Ltd. Şti.  
/ Arge Mühendisi

**2018-2022** : Unimak Mühendislik Hizmetleri Ve Mak. San. Tic. Ltd. Şti.  
/ Teknik Müdür

**2022-** : 7T Steel Çelik San. Ve Tic.Ltd.Şti / Teknik Operasyonlar  
Müdürü ve Ar-Ge Direktörü