

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**8 KAZANLI BİR ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN 2 EKSENLİ
ROBOT İLE TAM OTOMATİK KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut KOCAMAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

EKİM 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**8 KAZANLI BİR ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN 2 EKSENLİ
ROBOT İLE TAM OTOMATİK KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mesut KOCAMAN
(503111621)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sistem Dinamiği ve Kontrol Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayhan KURAL

EKİM 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111621 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mesut KOCAMAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “8 KAZANLI BİR ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN 2 EKSENLİ ROBOT İLE TAM OTOMATİK KONTROLÜ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ayhan KURAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Kenan Refah KUTLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlyas İSTİF
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 18 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 14 Ekim 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamda büyük emeği olan kıymetli hocalarım Doç. Dr. Ayhan Kural, Dr. Öğr. Üyesi İlyas İstif ve Doç. Dr. Kenan Refah Kutlu'ya, teze konu olan makinenin tüm sorumluluğunu bana vererek bu tezi hazırlamama yardımcı olan Lenze Türkiye ailesi adına Sn. Cihan Karaman ile makinenin üretimini gerçekleştiren firma Hydra Ultrasonik adına Sn. Erdem Armağan ve Sn. Yiğitcan Er'e verdiği tüm destekler adına teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca benden hiçbir zaman desteğini esirgememiş biricik aileme sevgi ve saygılarımla.

Ekim 2019

Mesut Kocaman
Elektrik-Elektronik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. ULTRASONİK DALGALAR	3
2.1 Ultrasonik Tanımı	3
2.2 Ses Dalgaları Ve Yayılımı	4
3. ULTRASONİK TEMİZLEME	7
3.1 Ultrasonik Temizleme Teorisi Ve Kavitasyon	7
3.2 Ultrasonik Temizleme Sistemini Oluşturan Parçalar	8
3.2.1 Ultrasonik yıkama kazanları	9
3.2.2 Temizlik sıvısı	9
3.2.3 Ultrasonik dönüştürücüler	10
3.2.3 Ultrasonik üreteçler	11
4. ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODELLENMESİ VE SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIMI	13
4.1 Ultrasonik Dönüştürücünün Modellenmesi	13
4.2 Ultrasonik Dönüştürücü İçin Sürücü Devresi Tasarımı	19
5. ROBOTLU TAM OTOMATİK ULTRASONİK TEMİZLEME MAKİNESİNİN TASARIM AŞAMALARI	25
5.1 Makinenin Tasarım Amacı	25
5.1.1 Makine prosesi	25
5.1.2 Kazan işlemleri	25
5.1.2.1 1. Kazan işlemleri	26
5.1.2.2 2. Kazan işlemleri	26
5.1.2.3 3. Kazan işlemleri	27
5.1.2.4 4. Kazan işlemleri	27
5.1.2.5 5. Kazan işlemleri	27
5.1.2.6 6. Kazan işlemleri	27
5.1.2.7 7. Kazan işlemleri	27
5.1.2.8 8. Kazan işlemleri	28
5.1.3 2 eksenli robot işlemleri	28
5.1.3.1 Sepet alma işlemi	30
5.1.3.1 Sepet bırakma işlemi	30
5.2 Mekanik Tasarım	31

5.2.1 Kazanlar	31
5.2.1.1 Ultrasonik dönüştürücüler	36
5.2.1.2 Isıtıcılar.....	36
5.2.1.3 Pompalar.....	37
5.2.1.4 Yağ sıyırma diskleri	37
5.2.2 Robot kol.....	37
5.2.3 Servo motorlar.....	41
5.2.3.1 Dikey modül servo motoru.....	41
5.2.3.2 Yatay modül servo motoru	43
5.2.4 Pistonlar.....	45
5.2.5 Yıkama sepetleri.....	45
5.2.6 Giriş Konveyörü.....	46
5.2.7 Çıkış Konveyörü	46
5.3 Elektrik Tasarım	48
5.3.1 PLC (Programlanabilir lojik kontrolör)	48
5.3.2 Giriş ve çıkış modülleri	48
5.3.3 Sürücüler	49
5.3.4 HMI paneli	50
5.3.5 Güç kaynakları	50
5.3.6 Şalt malzemeler	50
5.3.7 Sensörler.....	51
5.3.7.1 Yaklaşım sensörleri	51
5.3.7.2 Manyetik piston sensörleri	51
5.3.7.3 Kapı anahtar sensörleri.....	52
5.3.7.4 PT100 sensörleri.....	52
5.4 Haberleşme Sistemi	52
5.5 Kontrol Tasarımı	52
5.5.1 Servo motor kontrolü	52
5.5.2 Robot kontrolü.....	55
5.5.3 Sıcaklık kontrolü	57
5.5.4 Sıvı seviyesi kontrolü.....	58
5.5.5 Zaman kontrolü	59
5.6 Yazılım Tasarımı	61
5.6.1 PLC yazılımı	61
5.6.1.1 CoDeSys standardı	61
5.6.1.2 PLC programlama yaklaşımı.....	65
5.6.2 Reçete	67
5.6.2.1 Kazan seçimleri	67
5.6.2.2 İşlem süresi.....	67
5.6.2.3 Sıcaklık ayarı.....	67
5.6.2.4 Sıcaklık çalışma toleransı.....	68
5.6.2.5 Süzülme süresi.....	68
5.6.2.6 Filtrasyon süresi	68
5.6.2.7 Taşıma süresi	68
5.6.3 Makine başlangıç koşulları.....	68
5.6.4 Kazan ünitesi seçimleri	69
5.6.5 Çalışma modları	70
5.6.5.1 Homing modu.....	70
5.6.5.2 Manuel modu.....	71
5.6.5.3 Boşaltma modu.....	74

5.6.5.4 Otomatik yıkama modu.....	78
5.6.5.5 Duraksama (Pause) modu	82
5.6.6 Alarmlar	82
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	85
6.2 Tartışmalar Ve İleri Çalışmalar.....	87
KAYNAKLAR	89
EKLER	91
ÖZGEÇMİŞ.....	155





KISALTMALAR

PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
NA	: Normalde Açık
NK	: Normalde Kapalı
UPS	: Uninterruptible Power Source (Kesintisiz Güç Kaynağı)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)
IO	: Input Output (Giriş Çıkış)
RMS	: Root Mean Square (Alternatif Akımda Etkin Değer)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)



SEMBOLLER

P	: Güç
V	: Elektriksel gerilim
I	: Elektrik akımı
R	: Rezistans
L	: Endüktans
C	: Kapasitans
Z	: Empedans
t	: Zaman
f	: Frekans
w	: Doğal frekans
F	: Kuvvet
T	: Moment
J	: Atalet momenti
x	: Yol
v	: Hız
ω	: Açısal hız
a	: İvme
m	: Kütle
B	: Sürtünme
k	: Sönümlenme
d	: Çap
r	: Yarıçap
h	: Hatve
p	: Adım
n	: Devir sayısı
θ	: Açı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı.	4
Çizelge 5.1 : Servo motorlara ait nominal değerler.	41





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bir cisme çarpan ses dalgasının yansıması ve absorbe edilmesi.	3
Şekil 3.1 : Örnek bir ultrasonik temizleme sistemi.	7
Şekil 3.2 : Kavitasyon oluşumu.	8
Şekil 3.3 : Kavitasyon sonucu malzeme yüzeyinden kirlerin uzaklaştırılması.	8
Şekil 3.4 : Piezoelektrik dönüştürücü iç yapısı.	10
Şekil 3.5 : Piezoelektrik dönüştürücü kesiti.	11
Şekil 4.1 : Ultrasonik dönüştürücünün mekanik modeli.	13
Şekil 4.2 : Ultrasonik dönüştürücünün elektriksel ve mekanik bölge modeli. ...	14
Şekil 4.3 : Butterworth – Van Dyke transdüser modeli.	15
Şekil 4.4 : Butterworth – Van Dyke transdüser modeli empedans eğrisi.	15
Şekil 4.5 : Empedans ölçümleri için kurulması gereken test düzeneği şeması. ..	17
Şekil 4.6 : Empedans ölçümleri için laboratuvarında kurulan test düzeneği.	17
Şekil 4.7 : Empedans analizöründe eşdeğer devre modelinin seçilmesi.	18
Şekil 4.8 : Ultrasonik dönüştürücüye ait empedans eğrisi ve eşdeğer devre parametrelerine ait değerler.	18
Şekil 4.9 : Ultrasonik dönüştürücüye ait Butterworth – Van Dyke eşdeğer devre modeli parametre değerleri.	19
Şekil 4.10 : PIC16F84A mikrokontrolcüsü içine yazılan yazılım.	20
Şekil 4.11 : Yarım köprü MOSFET devresi ile ultrasonik dönüştürücünün sürülmesi.	21
Şekil 4.12 : Yarım köprü MOSFET devresi ile sürülen ultrasonik dönüştürücüde görülen PWM sinyali.	22
Şekil 4.13 : Tam köprü MOSFET devresi ile ultrasonik dönüştürücünün sürülmesi.	23
Şekil 4.14 : Tam köprü MOSFET devresi ile sürülen ultrasonik dönüştürücüde görülen PWM sinyali.	24
Şekil 5.1 : 2 eksenli robot koordinat sistemi.	29
Şekil 5.2 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait genel görünüm.	32
Şekil 5.3 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait üstten görünüm.	32
Şekil 5.4 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait yandan görünüm.	32
Şekil 5.5 : Durulama kazanlarına ait genel görünüm.	33
Şekil 5.6 : Durulama kazanlarına ait üstten görünüm.	34
Şekil 5.7 : Durulama kazanlarına ait yandan görünüm.	34
Şekil 5.8 : Pasivasyon kazanına ait genel görünüm.	35
Şekil 5.9 : Vakumlama kazanına ait genel görünüm.	35
Şekil 5.10 : Vakumlama kazanına ait yandan görünüm.	36
Şekil 5.11 : Makinede kullanılan ultrasonik dönüştürücü.	36
Şekil 5.12 : Robot kola ait genel görünüm.	38
Şekil 5.13 : Robot kola ait önden görünüm.	39
Şekil 5.14 : Robot kola ait yandan görünüm.	40
Şekil 5.15 : Dikey modül hareket profili.	42

Şekil 5.16 : Yatay modül hareket profili.	44
Şekil 5.17 : Yıkama sepeti genel görünümü.	46
Şekil 5.18 : Makine genel görünümü.	47
Şekil 5.19 : x – eksenli motorunun kontrol parametreleri.	53
Şekil 5.20 : z – eksenli motorunun kontrol parametreleri.	54
Şekil 5.21 : 2 eksenli robotun makine üzerindeki hareket koordinatları.	55
Şekil 5.22 : L_MC1P_AxisBasicControl fonksiyon bloğu.	56
Şekil 5.23 : Çekmede gecikme ve bırakmada gecikme zaman diyagramları.	60
Şekil 5.24 : Duraksama özellikli zamanlayıcılar.	61
Şekil 5.25 : IL programlama dili örneği.	62
Şekil 5.26 : ST programlama dili örneği.	62
Şekil 5.27 : LD programlama dili örneği.	63
Şekil 5.28 : FBD programlama dili örneği.	63
Şekil 5.29 : SFC programlama dili örneği.	64
Şekil 5.30 : Ayrık olay sistem yaklaşımına göre bir durum geçiş grafi örneği. ..	65
Şekil 5.31 : Reçete sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.	67
Şekil 5.32 : Ünite seçimleri sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.	69
Şekil 5.33 : Referanslama prosedürü.	70
Şekil 5.34 : Manuel moduna ait HMI ekranı görüntüsü.	72
Şekil 5.35 : HMI ekranından temel boşaltma modu seçimi yapılması.	76
Şekil 5.36 : HMI ekranından tam boşaltma modu seçimi yapılması.	77
Şekil 5.37 : Otomatik yıkama modu seçimi yapılmış HMI ana sayfa ekran görüntüsü.	78
Şekil 5.38 : Otomatik yıkama modu genel akış şeması.	81
Şekil 5.39 : Alarm sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.	84
Şekil A.1 : Kazan işlemlerini gerçekleştiren kodlar: (a) İşlem süresi ve 1., 2., 3., 4., kazanlara ait kontrol blokları. (b) 5., 6., 7., 8. kazanlara ait kontrol blokları.	92
Şekil A.2 : 1., 3., 4. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.	94
Şekil A.3 : 2., 5., 6., kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.	97
Şekil A.4 : 8. kazan kontrol bloğunu oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.	100
Şekil A.5 : 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.	102
Şekil A.6 : 1. kazan için sıcaklık kontrol kodu. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır.	110
Şekil A.7 : 1. kazan için sıcaklık tolerans kontrolü. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır: (a) Sıcaklık yüksek alarmı. (b) Sıcaklık düşük alarmı. (c) Sıcaklıkların uygunluğu. (d) Herhangi bir kazandaki sıcaklık alarmı.	111
Şekil A.8 : Kazanlara sıvı dolm kontrolüne ait kodlar: (a) Ana dolm valfinin kontrolüne ait kodlar. (b) 1. kazan sıvı dolmuna ait kodlar.	113
Şekil A.9 : Duraksama özellikli zamanlayıcılara ait kodlar: (a) Çekmede gecikmeli zamanlayıcı. (b) Bırakmada gecikmeli zamanlayıcı.	115

Şekil A.10 : Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.(c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.	117
Şekil A.11 : Robotun referanslanmasına ait kodlar.....	121
Şekil A.12 : Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.	122
Şekil A.13 : Tam boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.	129
Şekil A.14 : Maksimum işlem zamanını hesaplayan kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı. (c) Devamı.	138
Şekil A.15 : Makineye yeni sepet alınmasına ait kodlar. Sadece 1. sepetin alınmasına ilişkin verilmiştir. Diğer 8 sepetin alınması da benzerdir: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.	141
Şekil B.1 : Makine genel görünümü.	143
Şekil B.2 : Makine önden görünümü.....	144
Şekil B.3 : Makine arkadan görünümü.....	145
Şekil B.4 : Makine iç görünümü.	146
Şekil B.5 : Makine genel ölçüleri.	147
Şekil C.1 : Makinenin devreye alınması sonrası görünümü.	148
Şekil C.2 : Makinenin iç görünümü.	149
Şekil C.3 : Robot kol.	150
Şekil C.4 : Robot kol.	151
Şekil C.5 : Makine arkadan görünümü.	152
Şekil C.6 : Makine elektrik panosu.	153
Şekil C.7 : PLC ve giriş çıkış modülleri.	154



8 KAZANLI BİR ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMİNİN 2 EKSENLİ ROBOT İLE TAM OTOMATİK KONTROLÜ

ÖZET

Günümüzde endüstrinin temel problemlerinden birisinin de temizlik olduğu aşîkardır. Bu nedenle bir çok sanayi kolunun farklı alanlarında ortaya çıkan temizlik ihtiyacına yönelik farklı temizlik yöntemleri geliştirilmiştir. Bunun yanında artan parça çeşitliliği, karmaşıklığı ve bunlara bağılı olarak artan temizlik hassasiyeti ve kalitesi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yeni temizlik yöntemlerinin de geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu talepleri karşılamak üzere geliştirilen ve günümüzde yüksek başarı yakalanmış yöntemlerin başında ise ultrasonik temizleme gelmektedir.

Ortaya çıkan temizlik taleplerini karşılamak için göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta ise ultrasonik temizlik sisteminin tasarımının uygun bir şekilde yapılması gerekliliğidir. Çünkü ultrasonik temizleme yöntemi temizlenmek istenen malzemeye göre belirlenecek temizlik sıvısı, temizlik sıvısı sıcaklığı, ultrasonik çalışma frekansı, ultrasonik dönüştürücü sürme yöntemi ve ultrasonik temizlik süresi gibi bir çok parametreye doğrudan bağılıdır.

Ultrasonik temizleme temel olarak ses ötesi dalgalardan yararlanan bir temizlik yöntemidir. Bu dalgaların temizleyici etkisini gösterebilmesi ise ancak sıvı bir banyo içerisinde mümkündür. Ultrasonik temizleme genel olarak kimyasal ihtiyacını azaltan bir yöntem olmakla birlikte, yine de temizlik sıvısının daha etkili bir temizlik sağlamak adına çoğunlukla kimyasal bir çözelti olması tercih edilmektedir.

Ultrasonik temizleme bugün başta otomotiv endüstrisi olmak üzere, makine ve parça imalatından, sağlık gereçlerinin temizliğine, yarı iletken sanayisinden, koruyucu ve önleyici bakım uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanına yayılmış bulunmaktadır.

Bir ultrasonik temizleme sistemini oluşturan elemanlar temelde, ultrasonik yıkama kazanı, temizlik sıvısı, ultrasonik dönüştürücüler ve ultrasonik sinyal üretici şeklindedir. İçine temizlik sıvısı doldurulan ultrasonik temizleme kazanının yüzeylerine yerleştirilen veya kazanın içerisine daldırılan ultrasonik dönüştürücülerin ürettiği yüksek frekanstaki ultrasonik ses dalgaları temizlik sıvısı içerisinde yüksek enerjili milyonlarca hava kabarcığı oluşturur. Oluşan bu hava kabarcıklarının yıkama kazanındaki kirli malzeme üzerine çarpıp patlamaları sonucunda yağ, kireç, pas gibi kirler malzeme üzerinden uzaklaştırılmış olur. Ultrasonik temizleme teorisinin temelini oluşturan bu olaya ultrasonik kavitasyon adı verilir.

Bugün sanayide ihtiyaca göre küçük ve tek kazanlı sistemlerden büyük ve çok kazanlı sistemlere kadar farklı tipte bir çok ultrasonik temizleme sistemi üretilmektedir. Temizlenmesi istenen malzemenin boyutları, yapısının karmaşıklığı ve ihtiyaç duyulan temizlik hassasiyeti arttıkça daha büyük boyutlu, daha fazla kazanlı ve otomatize edilmiş sistemlere ihtiyaç da artmaktadır. Günümüzde otomasyon sistemlerinin gelişmesiyle bu ihtiyaçlar da artık karşılanabilir duruma gelmiştir.

Yıkaması istenen bir malzemede yıkama adımlarının arttırılması, temizlik kalitesini arttıran bir unsurdur. Bu amaçla çok kazanlı ultrasonik temizleme sistemlerinin kullanımı büyük önem kazanmaktadır. Ultrasonik yıkama işlemi öncesi ön yıkama işlemi ve ultrasonik yıkama işlemi sonrasında durulama işlemi yapılması temizlik kalitesini önemli ölçüde arttıran adımların başında gelmektedir. Temizlenen malzemeye göre bu adımların birden fazla tekrarlanması da ayrıca söz konusu olabilmektedir. Bu adımların yanında, temizlik sonrasında oksidasyondan koruma amaçlı pasivasyon işlemi yapılması da kirli parçanın temizlenmesi kadar tekrar kirlenmesini önleyici bir işlem adımı olarak yerine getirilmektedir.

Ultrasonik temizleme teorisi gereği malzemelerin bir temizlik sıvısı içerisinde yıkanması, temizlik sonrasında ayrıca kurutma işlemi gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Bu sebeple sıcak hava ile kurutmanın yanında, vakumlama yöntemi ile daha etkin bir kurutma sağlanması da bir seçenek olabilmektedir.

Ultrasonik yıkama sonucunda malzemeden uzaklaştırılan kirlerin ve yağların temizlik sıvısından ayrıştırılması ise temizlik sıvısının yeniden kullanımı ve her işlemde yeniden temizlik sıvısı hazırlama gerekliliğini ortadan kaldırmak adına göz önünde bulundurulması gereken bir diğer noktadır.

Çoklu kazanlarda yapılan yıkama, tüm bu işlem adımlarının sonucunda, özellikle kazan boyutları arttıkça taşıma sistemi problemlerini de ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple endüstride manuel vinç sistemlerinin kullanılması operatöre bağımlı bir çalışmaya neden olmakta ve yıkama kalitesini büyük ölçüde operatörün deneyimine ve yeteneğine bırakmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin otomatize edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada yıkanmak üzere ele alınan malzemeler otomotiv endüstrisi ürünlerinden olan alüminyum ve çelik araç klima borularıdır. Bu boruların üretim aşamasında oluşan yağ, çapak ve yanık karalıklarının temizlenmesi amacıyla bu teze konu olan makinenin tasarlanmasına karar verilmiştir. Daha önce yine aynı ürünlerin temizlenmesinde kullanılan çok kazanlı, fakat manuel vinç sistemli bir makine olmasına rağmen, bu makinenin temizlik performansının stabil olmaması ve tüm yıkama adımlarını bilfiil yerine getirmek üzere bir operatör bulunması gerekliliğinden dolayı bu teze konu olan makinenin tasarım ihtiyacı oluşmuştur.

Söz konusu makinenin tasarımı amacıyla ilk önce makine prosesi belirlenmiştir. Buna göre makine prosesi; kazan işlemleri ve yıkanacak malzemelerin içinde bulunacağı sepetleri taşımakla görevli olan 2 eksenli robot işlemleri olarak ikiye ayrılmıştır.

Makinede toplam sekiz kazan olmakla birlikte bu kazanların üçü ultrasonik yıkama, üçü durulama, biri pasivasyon ve diğeri de vakumlama ve kurutma işlemleri için tasarlanmıştır.

Ultrasonik yıkamanın yapıldığı üç kazan eşdeğer kazanlar olmakla birlikte gerçekleştirdikleri kazan işlemleri ise sırasıyla şöyle özetlenebilir; temizlenecek malzemelerden büyük partiküllü kirleri uzaklaştırmak amacıyla yapılan filtrasyon işlemi, ultrasonik dönüştürücülerin çalıştırılması suretiyle gerçekleştirilen ultrasonik yıkama işlemi ve son olarak temizlik sıvısında biriken yağların uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilen yağ ayrıştırma işlemleri.

Durulama işlemlerinin yapıldığı üç kazan da yine eşdeğer kazanlar olmakla birlikte bu kazanlardaki kazan işlemleri ise sırasıyla şu şekilde özetlenebilir; büyük partiküllü kirlerin uzaklaştırılması amacıyla yapılan filtrasyon işlemi, filtrasyon işlemi sırasında

karışan yıkama sıvısını durultmak amacıyla gerçekleştirilen 20 saniyelik bekleme işlemi ve son olarak yağ ayrıştırma işlemleri.

Pasivasyon kazanında yerine getirilen pasivasyon işlemi ise yıkanan malzemenin belirlenen süre kadar ve belirlenen sıcaklıktaki pasivasyon sıvısı içerisinde bekletilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

Vakumlama kazanında ise yıkama sıvısı bulunmaz ve yıkanan malzemelerden sıvının tamamen uzaklaştırılması amacıyla tasarlanmış olup, aynı anda vakumlama ve kurutma işlemleri yapılır.

Tüm bu işlemlerin yapıldığı kazanlar ultrasonik yıkama, durulama, ultrasonik yıkama, ultrasonik yıkama, durulama, durulama, pasivasyon ve vakumlama şeklinde sıralanmışlardır ve oluşturulan reçete yapısıyla istenilen reçete oluşturularak istenilen temizleme işlemi alüminyum veya çelik klima boruları için gerçekleştirilebilir.

Reçete parametreleri ise kazan seçimi, kazanlara ait sıcaklık değerleri, sıcaklık değerleri için belirlenen tolerans değerleri, ultrasonik yıkama kazanlarında gerçekleştirilen filtrasyon işlemleri için çalışma süresi, yağ ayrıştırma işlemleri için çalışma süresi ve kazandan alınan sepetlerdeki sıvının kazana geri süzülmesi için bekleme süresi olarak belirlenmiştir. Ultrasonik dönüştürücülerin çalışma süresi ise toplam kazan işlemlerinden filtrasyon işlemleri ve yağ ayrıştırma işlemlerinin çıkarılmasıyla hesaplanır. Benzer şekilde durulama işlemi yapılan kazanlarda filtrasyon işlemi için belirlenen süre de toplam işlem süresinden bekleme süresi ve yağ ayrıştırma süresinin çıkartılmasıyla hesaplanır. Sürelerin bu şekilde belirlenmesinin sebebi dengeli bir yıkama işlemi sağlanabilmesi için kullanıcı hatasını ortadan kaldırmaktır.

Yıkama işlemi gerçekleştirilecek malzemeler 200 kg'a kadar taşıma kapasitesine sahip yıkama sepetlerine koyulurlar ve makine prosesini oluşturan diğer işlem olan 2 eksenli robot işlemleri ile otomatik olarak taşınmaları gerçekleştirilir. Buna göre; yıkama sepetleri operatör tarafından giriş konveyörüne yerleştirildikten sonra çalışma reçetesinde seçimi yapılan parametrelere göre makineye 2 eksenli robot ile kabul edilirler ve makine içerisindeki tüm taşıma işlemleri de yine robot tarafından gerçekleştirilir. Son olarak yıkama işlemi biten sepet içindeki malzemeler çıkış konveyörüne aktarılarak operatör tarafından makineden alınırlar.

2 eksenli robot işlemleri ise sepet alma ve sepet bırakma işlemleri olarak ikiye ayrılmıştır. Her iki işlemin gerçekleşmesi için robot kolun sepet alma veya bırakma bölgesine hareketi (yani x – ekseninde), olası bir çarpışma riskini minimuma indirmek amacıyla z – ekseninin her zaman “0” pozisyonunda olduğu durumlarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca makine prosesi sürekli ileri yönde oluşturulduğu için kazan işlemleri makinede bulundukları sıraya göre yapılır. Bu nedenle robot kolun hareketi sadece ileri yönlüdür. Örneğin; 3. kazan işlemi sonrası 1. veya 2. kazana geri dönüş yoktur. Bu durumda sepet ileri yönde seçilen bir kazan varsa bu kazana bırakılır veya doğrudan çıkış konveyörüne aktarılır.

Makinede toplam sekiz kazan olduğu için makinede aynı anda tüm kazanlar da dolu olabilir. Fakat makinenin çalışma prensibi gereği her zaman ileri yönlü bir hareket söz konusu olmasından ve bir kazan doluyken bu kazana yeni bir sepet koyulamayacağından dolayı, yeni bir sepet alma işlemi ancak makinede çalışma yönünde en son kazanda bulunan sepetin çıkartılmasıyla mümkün olabilir. Bu durum bazı kazanlarda bulunan malzemelerin haddinden fazla beklemesine sebep olabileceği için en optimum sürenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden, yeni sepet alma

işlemi için seçilen reçetede en fazla süreli kazan işleminin süresine robot taşıma işlemlerinden dolayı kaybolan zaman için de ortalama 2 dakikalık bir süre ilave edilir ve her yeni sepet alma işlemi ancak bu süre tamamlandıktan sonra gerçekleştirilir.

Belirlenen makine prosesi sonrası, ultrasonik temizlemenin kalbi olan ultrasonik dönüştürücülerin rezonans frekansında sürülebilmesi için çalışma frekansının belirlenmesi amacıyla söz konusu dönüştürücülerin Butterworth – Van Dyke modeline göre modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma frekansının bulunmasından sonra ise dönüştürücüleri bu frekansta çalıştıracak uygun sürücü devresi tasarlanmıştır.

Tüm otomasyon süreçlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla gerekli elektrik tasarımı yapılmış ve ana kontrolcü olarak PLC ve robot kol için her iki eksen de servo motor kullanılmasına karar verilmiştir. Sensörler ve kumanda elemanları için uygun giriş ve çıkış modülleri seçilmiştir.

Makinenin otomasyonu için tüm yazılımlar ise kontrolör tabanlı otomasyon yaklaşımı gözetilerek PLC içerisinde gerçekleştirilmiştir ve PLC yazılımları Otomata Teorisi temel alınarak yapılmıştır. Bunun yanında görselleştirme için de yine bir HMI ekranı tasarımı yapılarak kullanıcının makineyi en rahat şekilde kullanması sağlanmıştır. Ayrıca makinede anlık olarak beliren alarm ve uyarılar da yine bu ekran vasıtasıyla kullanıcıya gösterilmektedir.

Teze konu olan makine Hydra Ultrasonik firması adına Ormak Hortum şirketine yapılmıştır ve şu anda halihazırda Düzce fabrikasında devreye alınmış olup, üretimde altı aydır sorunsuz olarak çalışmaktadır. Daha önce kullandıkları çok kazanlı ve manuel vinç sistemli makine ile karşılaştırıldığında ise yıkama ve üretim performansı olarak yüksek memnuniyet yarattığı müşteri tarafından iletilmiştir.

FULL AUTOMATION OF AN 8 – TANKED ULTRASONIC CLEANING MACHINE BY USING 2 – AXES ROBOT

SUMMARY

It is apparent that the cleaning is accepted as one of the base problems in the industry. Different methods were developed to maintain the cleaning needs in the different areas of several branches of industry. Developing new cleaning methods and improving the new ones was also become a strong need because of the increasing variety and complexity of manufactured parts in the industry and also cleaning precision and cleaning quality. Therefore, ultrasonic cleaning is one of the methods that was developed to satisfy those needs and now it is accepted that it is one of the best methods as it provides high satisfaction for a wide range of cleaning needs in the industry.

The most important point about an ultrasonic cleaning process is its design. After determining the cleaning needs, ultrasonic cleaning system has to be designed properly to satisfy those needs. Because cleaning success with an ultrasonic cleaning system is related to different parameters like ultrasonic cleaning liquid which has to be determined according to the material that is aimed to be cleaned, ultrasonic cleaning liquid temperature, operating frequency and driving methods of ultrasonic transducers, and ultrasonic cleaning time.

Ultrasonic cleaning is basically the method which utilizes the ultrasonic waves to clean the parts. Cleaning effect of those waves is only possible in a liquid bath. Although ultrasonic cleaning is a method which can decrease the chemical needs for cleaning, ultrasonic cleaning liquid is generally used as a chemical solution to increase the cleaning success.

With its high cleaning success, now ultrasonic cleaning is utilized especially in automotive industry, manufacturing parts and machines, cleaning of medical tools, semiconductor industry and preventive maintenance.

The basic parts that compose an ultrasonic cleaning system is ultrasonic cleaning tank, cleaning liquid, ultrasonic transducers and ultrasonic signal generator. High frequency – ultrasonic waves which are produced by the ultrasonic transducers that are mounted to ultrasonic tank create millions of air bubbles with high energy. The dirt aimed to be cleaned is removed by bumping of those air bubbles to the surface of dirty parts. This event is called as ultrasonic cavitation and it is the core of ultrasonic cleaning theory.

Recently in the industry, lots of ultrasonic cleaning systems are manufactured from small sizes to bigger sizes or from one tanked – system to multiple tanked – systems. As it is increasing the sizes, complexity and cleaning precision of the materials aimed to be cleaned, amounts of cleaning tanks, sizes of the cleaning system and automation needs also increase. Now with advanced automation systems, those needs can be satisfied.

Multiplying of cleaning steps of a material is a direct factor for increasing cleaning quality. For that reason, using of multiple tank systems has high importance. Pre-cleaning of an ultrasonic cleaning operation and rinsing of the cleaned material is the base operations of utilizing multiple tank systems for increasing the cleaning quality. Sequential ultrasonic cleaning operations can also be an option in multiple tank systems considering the properties of the material and the dirt over it. On the other hand, passivation of the materials can be fulfilled after the cleaning operation to prevent oxidation and to keep the materials clean.

Cleaning of the materials in a liquid bath since ultrasonic cleaning theory, it is also required to dry the materials after cleaning operation. Therefore, drying of the materials are fulfilled only by hot air or with vacuuming operation at the same time in the same tank.

As ultrasonic cleaning operations pollutes the cleaning liquid while the materials are cleaned, it is another challenge to purify the liquid in some period. Therefore, filtration of the big particles and skimming the oil from the liquid before or after the ultrasonic cleaning has high importance for preventing to change cleaning liquid for every cleaning operation.

Cleaning operations in multiple tank systems results in transporting problems especially in bigger systems. Therefore, using of manuel crane systems for transporting purposes makes ultrasonic cleaning operations operator – related and so the quality of the cleaning decreases dramatically. For that reason, automating of cleaning process must be considered very important.

The materials were considered to clean in the scope of this study are aluminum and steel vehicle air conditioner pipes. The machine in this study was decided to design to clean the oil, burr and the burn over those pipes while their manufacturing process. Although there was a machine which has multiple tanks, but with manuel crane system, the need for the machine in this study has apperaed since the cleaning performance of previous machine was not stable and an operator was required to fulfill every cleaning step sequentially.

Before designing of this machine, firstly machine process is determined and it is seperated two parts as tank operations and 2 – axes robot operations which is used for transporting the baskets that the materials are located in.

There are eight tanks in the machine and three of them were designed for ultrasonic cleaning operations, other three of them were designed for rinsing operations, one of them was designed for passivation operation and the last one was designed for vacuuming and drying operations.

Three ultrasonic cleaning tanks have identical tank operations and those operations can be summarized like that: filtration operation which is for removing big particles from the materials, ultrasonic cleaning operation which is fulfilled by running ultrasonic transducers and oil skimming operation which is for filtering the oil accumulated in the cleaning liquid.

Three rinsing tanks have also identical tank operations and those operations can be summarized like that: filtration operation which is for removing big particles from the materials, waiting operation for pacifying of the cleaning liquid that is blurred while filtration and oil skimming operation which is for filtering the oil accumulated in the cleaning liquid.

Passivation tank operation is fulfilled as keeping the cleaned materials wait inside the passivation liquid which is heated according to set temperature.

No cleaning liquid exists in vacuuming tank and this tank is designed for drying all cleaning liquid after cleaning and rinsing operations. Vacuuming and heating of the materials are fulfilled at the same time.

All tanks where those operations are fulfilled are located according to following order: ultrasonic cleaning, rinsing, ultrasonic cleaning, ultrasonic cleaning, rinsing, rinsing, passivation and vacuuming. Desired tank operations can be run sequentially by selecting via recipe structure and aluminum or steel vehicle air conditioner pipes can be cleaned.

Recipe parameters are selection of tanks, temperatures of tanks, temperature tolerances of tanks, filtration operation time for the ultrasonic cleaning tanks, oil skimming operation time and dripping time of cleaning liquid after the basket is removed up, but not transported to the next tank. Operation time of ultrasonic transducers is calculated as subtracting filtration operation time and oil skimming operation time from total tank operation time. Filtration time in rinsing tanks is also calculated similar to ultrasonic operation time, as subtracting waiting time and oil skimming operation time from total tank operation time. Reason for determining of those parameters like that is for achieving the cleaning proper by eliminating possible operator faults while specifying operation times.

The materials going to be cleaned are located inside the baskets which can carry about 200 kg and they are transported automatically according to 2 – axes robot operations which is the other main operation of the machine process. Operator locates the baskets on the entrance conveyor and starts the operation after selecting recipe parameters according to desired operation. At that point every basket are accepted into the machine by 2 – axes robot and every transporting operations inside the machine are fulfilled by this robot. Finally, the baskets that every operations are fulfilled, are carried to exit conveyor and operator takes them out the machine.

2 – axes robot operations are divided two sections as basket handling and basket releasing. Positioning of robot to basket handling or releasing area (i.e. positioning in x – axes) is only possible if the position of z – axes is at “0” position in order to eliminate the collision risk. On the other hand, operations starts of every tanks are performed according to the order of tanks in the machine since the machine process is only defined forward. Because of that reason, movement of the robot is only in forward direction (+x direction). For instance, it is not possible of returning of the robot back to 1. or 2. tank, after the operation of 3. tank. In this case, the basket is transported to the first tank in forward direction if it is already selected. Otherwise, the basket is carried to the exit conveyor directly.

Since the machine has eight tanks, those eight tanks can have baskets. But in this case, because of only forward direction movement is enabled since operation procedure of the machine and it is not possible to put a basket to a tank which has already got a basket, it is only possible to accept a new basket to the machine after the last tank is discharged. This situation may cause to wait of some baskets in the tanks more than their set time. For that reason, the optimum period for accepting a new basket to the machine has to be determined. Therefore, 2 minutes which represent the mean value for transporting operations are added to maximum operation time in the recipe and this is defined as the period for accepting a new basket to the machine.

After machine process is defined, ultrasonic transducers that are the core of the machine were modeled according to Butterworth – Van Dyke transducer model for determining the resonance frequency of the transducers and transducer driver circuit was designed so that it transfers maximum power to the transducers by working at resonance frequency.

Electrical design is made for realizing all automation works. It is decided to use a PLC for main controller in the machine and servomotors for both axes of the robot. Proper input and output modules are chosen for sensors and the control equipments.

All software for the machine is developed according to controller – based automation and is implemented into the PLC by using Automata Theory. In addition to PLC software, an HMI software is developed for the visualization so that the operator can use the machine in the most efficient way. Warnings and alarm messages are also shown in HMI screen when they occur.

The machine in the scope of this thesis has already commissioned in the customer side and it has been utilized for 6 months without any problem. Comparing to the previous multi – tanked machine with manuel crane system that the customer had used before, new machine is stated that it has satisfied their cleaning and manufacturing performance needs quite well.

1. GİRİŞ

Çeşitli sanayi kollarının farklı alanlarında göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan birisi de hiç şüphesiz ki temizliktir. Bu sebeple uzun yıllardır çok çeşitli temizlik yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat artan parça çeşitliliği, karmaşıklığı, hassasiyeti ve kalitesi gibi faktörler dolayısıyla temizlik talepleri de aynı oranda artış göstermiştir. Bu sebeple, endüstride artan bu talepleri karşılamak adına yapılan farklı çalışmalar neticesinde ultrasonik temizleme sık başvurulan bir yöntem haline gelmiştir.

Günümüzde ultrasonik temizleme, endüstride karmaşık alt parçalardan sistemin bütününe kadar her kademede uygulanabilmektedir. Bunun yanında, temizlik talebine konu olan parçaların hassasiyeti ve özelliklerine göre temizlik sisteminin de uyarlanabilmesi büyük bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple ihtiyaçların doğru bir şekilde belirlenmesi ve sistem tasarımının doğru bir şekilde yapılması temizlik kalitesinin artırılması adına büyük önem taşımaktadır.

Ultrasonik temizleme yöntemi, temizlenmesi istenen malzemeye uygun olarak seçilen sıcaklık, ultrasonik çalışma frekansı ve sürme yönteminin belirlediği çalışma koşulları ile hızlı, güvenli ve malzeme dostu bir temizliği mümkün kılmaktadır. Bu sebeple bir çok farklı alanda, çok farklı kirlerin temizliği ultrasonik temizleme yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir. Bu kirler talaş gibi büyük formlardan, toz gibi daha küçük parçacık boyutuna kadar değişebilirken, yağ, pas veya kaynak kalıntısı gibi farklı formlarda da olabilir.

Ultrasonik temizleme adından anlaşılacağı üzere ses ötesi dalgalardan yararlanan bir temizlik yöntemidir. Ses ötesi dalgaların temizleyici etkisi ise sıvı bir banyo içerisinde görülebilmektedir. Bu banyo içerisindeki sıvı, zaman zaman belirlenen çalışma koşullarına göre hazırlanmış kimyasal bir çözelti olmakla birlikte genel olarak bakıldığında ultrasonik temizleme yöntemi, temizlik sırasında gerekli kimyasal ihtiyacı önemli ölçüde azaltan ve aynı zamanda temizlik süresini de kısaltan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özellikleri ışığında ultrasonik temizleme

yöntemi, otomotiv endüstrisi başta olmak üzere makine ve parça imalatı endüstrisinden, sağlık gereçleri temizliğine, galvanik, fotovoltaiik, yarı iletken sanayisine, elektronikten optike ya da koruyucu ve önleyici bakıma kadar yayılan çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır [1].

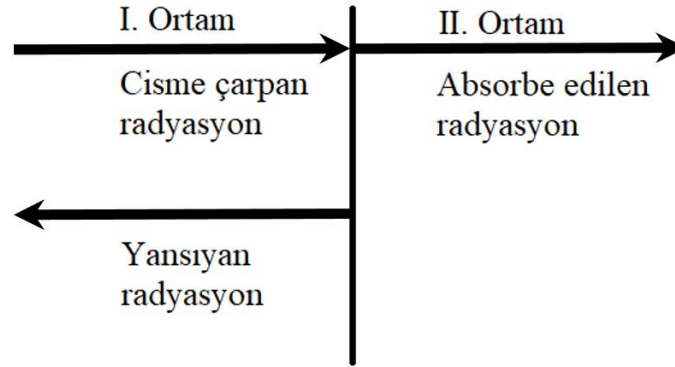
Temel bir ultrasonik temizleme sistemi genel olarak temizleme kazanı, temizlik sıvısı, ultrasonik dönüştürücü ve ultrasonik üreteç devresinden meydana gelir. Fakat sanayide artan ihtiyaçlar doğrultusunda çoklu temizlik sistemlerinin oluşturduğu temizlik sistemlerinden bugün nihayet bu sistemlere robotlu sistemlerin de entegre edildiği ve temizlik işleminin tamamen otomatik hale getirildiği sistemlere ihtiyaç duyulur hale gelmiştir.

Bu tezde ilk olarak ultrasonik dalgaların tanımı Bölüm 2’de verilmiş, ultrasonik temizleme yöntemi ise Bölüm 3’te ele alınmıştır. Bölüm 4’te teze konu olan sistemde kullanılan ultrasonik dönüştürücülerin modellenmesi ve PWM yöntemi ile kontrolü ele alındıktan sonra teze konu olan makinenin mekanik, elektriki ve yazılım tasarımı detaylı olarak Bölüm 5’te anlatılmıştır. Son bölüm olan Bölüm 6’da ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. ULTRASONİK DALGALAR

2.1 Ultrasonik Tanımı

Ultrasonik; ses ötesi anlamına gelen, insan kulağının duyabileceği frekans sınırının üzerindeki frekansa sahip mekanik ses dalgalarını inceleyen bilimdir. Elektromanyetik dalgalarda olduğu gibi, ultrasonik dalgalar da herhangi bir cisme çarpmaları halinde bu dalgaların bir kısmı cisim tarafından absorbe edilirken, bir kısmı da cisim üzerinden geçer. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi ses dalgasının yansıtıcı cisme yaklaştırılması durumunda ise bu dalgalar yansıyarak geri dönerken, yansıyan bu dalgaların frekanslarında da değişimler meydana gelir. Bu etkiye “Doppler Etkisi” denir. Ses dalgalarının bu özelliği, bazı fiziksel büyüklüklerin ölçülmesini ve hareketli cisimlerin hızlarının belirlenmesini mümkün kılabilir. Ses dalgalarının bir diğer özelliği olan cisimlerin içine absorbe edilebilmesi sayesinde ve röntgen ışınlarına göre daha güvenilir olması dolayısıyla tıpta da kullanılmaktadır [1].



Şekil 2.1 : Bir cisme çarpan ses dalgasının yansıması ve absorbe edilmesi [1].

Ses dalgalarının sahip olduğu frekans değeri ses dalgalarının tonunu belirler. Düşük frekanslı dalgalar kalın tonda (bas) ses oluştururken, yüksek frekanslı dalgalar ince tonda (tiz) ses oluştururlar. 18 kHz üzerindeki sesler ise ultrasonik olarak değerlendirilir. Ultrasonik temizlik için kullanılan ses dalgaları 20 – 120 kHz aralığında olmakla birlikte, sanayide en çok kullanılan frekanslar 20 – 50 kHz arasındadır. 50 kHz üzerindeki frekanslı ultrasonik temizleme işlemleri genelde

masaüstü olarak adlandırılan diş hekimliği, kuyumculuk ve yarıiletken alanlarındaki temizlik işlemlerinin yapıldığı temizlik sistemlerinde kullanılmaktadır [2].

2.2 Ses Dalgaları Ve Yayılımı

Ses, maddeleri oluşturan moleküllerin titreşmesiyle oluşan bir dalga hareketi olarak tanımlanabilir. Bu sebeple ses dalgaları mekanik dalgalar olarak ele alınır. Ses dalgaları mekanik dalgalar olmalarından dolayı yayılmak için bir ortama yani maddeye ihtiyaç duyarlar. Bu ortam katı, sıvı veya gaz formunda olabilir. Dolayısıyla ses dalgaları boşlukta yayılamazlar. Ses dalgalarının hızı da yine bulundukları ortama göre değişmekle birlikte, en hızlı katılarda, sonra sıvılarda ve en yavaş gaz ortamlarda yayılır. Bununla birlikte ortamın sıcaklığının ve yoğunluğunun artması da ses dalgalarının hızını artırır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Sesin değişik ortamlardaki yayılma hızı [2].

Ortam	Hız [m/sn]
Hava (0 °C)	331
Hava (20 °C)	343
Helyum (0 °C)	972
Su (25 °C)	1493
Deniz suyu	1533
Alüminyum	5100
Bakır	3560
Kauçuk	54

Bir ses dalgasını tanımlayan parametrelerden diğeri de frekanstır. Bir saniye içinde meydana gelen titreşim sayısına o ses dalgasının frekansı denir ve birimi Hertz (Hz)'dir. Frekanslarına göre ses dalgaları ise üçe ayrılır;

1. Infrasonic (Ses altı) dalgalar; insan kulağının duyabileceği minimum frekans olan 20 Hz altındaki ses dalgalarını temsil eder. Deprem dalgaları ve fillerin çıkardığı ses dalgaları bu dalgalara örnek olarak verilebilir.
2. Duyulabilen ses dalgaları; insan kulağının duyabildiği dalgalara örnektir. Genel olarak 20 Hz ile 20 kHz arasında değişmekle birlikte bu sınırlar kişiye göre değişebilmektedir.
3. Ultrasonik (Ses ötesi) dalgalar; 20 kHz üzeri dalgalar ultrasonik dalgalar olarak kabul edilir ve insan kulağının duyamayacağı frekanstaki ses dalgalarını ifade ederler [2].

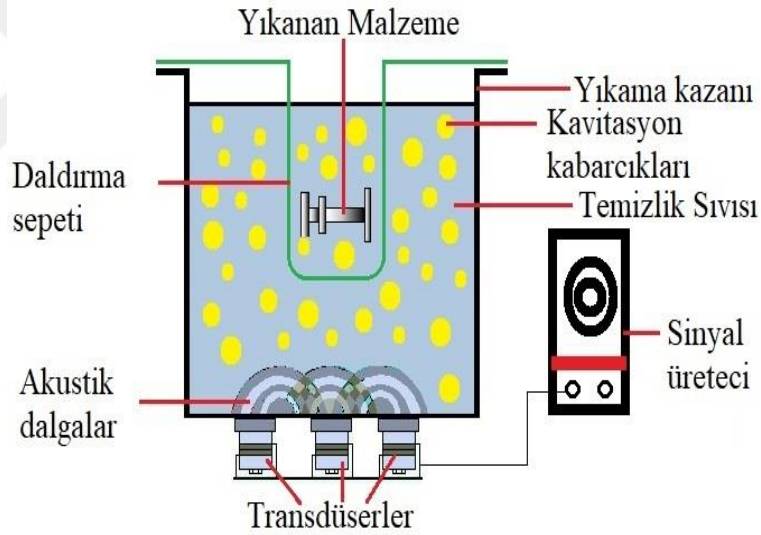
Ultrasonik temizleme yöntemi de ismini ultrasonik dalgalardan almaktadır. Endüstride 20 – 120 kHz arası dalgalar kullanılmakla birlikte bu tez çalışmasında 31 kHz mertebesinde rezonans frekansına sahip dalgalar üreten piezoelektrik dönüştürücüler kullanılmıştır.



3. ULTRASONİK TEMİZLEME

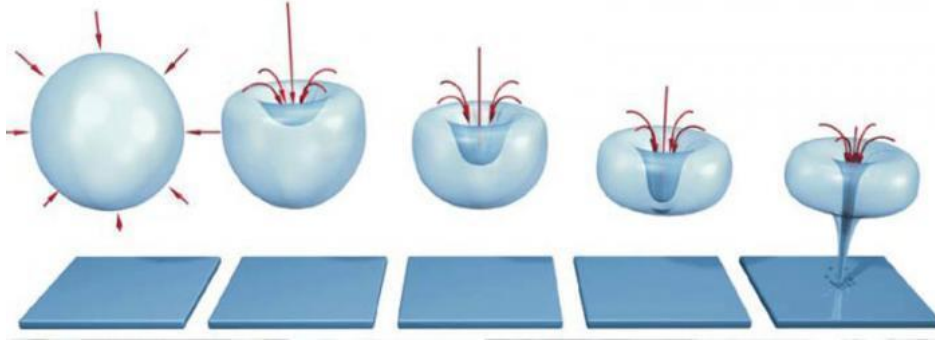
3.1 Ultrasonik Temizleme Teorisi Ve Kaviteasyon

Bir ultrasonik temizleme sistemi Şekil 3.1’de görülebileceği üzere, temelde ultrasonik yıkama kazanı, temizlik sıvısı, ultrasonik dönüştürücüler (transdüser) ve ultrasonik sinyal üreticiden oluşur. Buna göre, ultrasonik dönüştürücülerin ürettiği yüksek frekanstaki ses dalgaları temizlik sıvısının içerisinde yüksek enerjili milyonlarca hava kabarcığı oluşturur. Bu hava kabarcıklarının yıkanan malzeme yüzeyinde bulunan pas, kireç, yağ gibi kirlere çarpıp patlaması ile söz konusu kirler malzeme üzerinden uzaklaştırılmış olur [3].



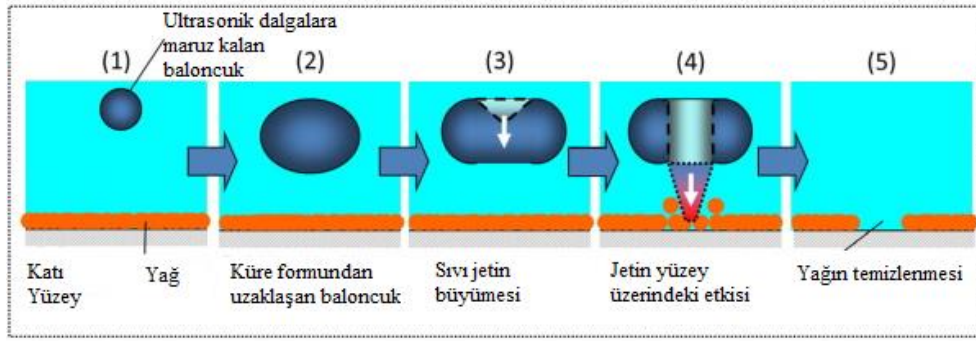
Şekil 3.1 : Örnek bir ultrasonik temizleme sistemi [2].

Şekil 3.2’de görülebileceği gibi, temizlik sıvısı içerisinde yüksek frekansta oluşturulan hava kabarcıkları negatif basınç ile genişleyerek büyürken, pozitif basınç ile ani bir şekilde içeri çökme suretiyle patlar ve yok olurlar. Bu olay sırasında ise 5000°C mertebesinde bir sıcaklık yükselmesi meydana gelir [4]. Bu boşlukların içeri çökmesi sonucunda boşalan hacimi çok hızlı bir şekilde temizlik sıvısı molekülleri doldururlar. Bu olay ultrasonik kaviteasyon olarak adlandırılır.



Şekil 3.2 : Kavitasyon oluşumu [15].

Şekil 3.3’de görülebileceği gibi kavitasyon olayı ile çok hızlı bir şekilde hareket eden temizlik sıvısı molekülleri sonucu temizlenen malzeme yüzeyi 7000 atmosfer düzeyinde bir basınç ile bombardımana tutulur [4]. Bu olay sayesinde parça yüzeyi arzu edildiği gibi temizlenmiş olur.



Şekil 3.3 : Kavitasyon sonucu malzeme yüzeyinden kirlerin uzaklaştırılması [5].

3.2 Ultrasonik Temizleme Sisteminin Oluşturan Parçalar

Ultrasonik temizleme sistemleri temelde 4 ana parçadan oluşur. Bunlar Şekil 3.1’de görüldüğü gibi; yıkama kazanı, temizlik sıvısı, ultrasonik dönüştürücüler ve ultrasonik üreteçler olarak sayılabilir. Yıkama kazanları temizlenecek malzemenin boyutuna göre belirlenirken, temizlik sıvısı ise temizlenecek malzemenin özelliği ve kirin türüne göre belirlenir. Bu nedenle temizlik kalitesi doğrudan temizlik sıvısına bağlıdır [2].

Ultrasonik dönüştürücüler ve ultrasonik üreteçler sistemin performansını ve güvenilirliğini belirleyen parçalardır. Bu sebeple bu parçaların tasarımı ve sisteme doğru bir şekilde yerleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Farklı ultrasonik dönüştürücü türleri içinden uygun ultrasonik dönüştürücünün seçilmesi, kazan

büyüklüğüne göre yeterli sayıda ultrasonik dönüştürücü kullanımı ve kazana doğru bir şekilde entegrasyonu sistemin performansı için çok önemlidir [2].

3.2.1 Ultrasonik yıkama kazanları

Ultrasonik yıkama kazanları, paslanmaz çelikten, farklı büyüklüklerde ve genelde dikdörtgen şeklinde üretilirler. Yıkama kazanları boyutlarına göre üç kategoriye ayrılabilir [2]. Bunlar;

1. Küçük boyutlu kazanlar: Daha çok kontak lens gibi çok küçük parçaların temizliğinde kullanılan küçük boyutlu kazanlardır. Küçük transdüserlere ve basit yapıda üreteçlere sahiptirler [2].
2. Orta boyutlu kazanlar: Diş hekimliği malzemeleri gibi malzemelerin temizliğinde kullanılan masaüstü temizlik sistemleridir. Daha büyük ve kaliteli transdüser ve üreteçlere sahiptirler ve üreteçleri de çoğunlukla kendi içlerindedir [2].
3. Büyük boyutlu kazanlar: Sanayi tipi kazanlardır. Büyük boyutlarda transdüserlere ve transdüser başına daha fazla enerji üretebilen büyük üreteçlere sahiptirler. Sanayide daha ağır işlerde kullanılırlar [2].

Ultrasonik temizleme kazanlarında, temizlenecek malzemeler bir sepet içine dizilirler. Bu sepetler de kazanlar gibi paslanmaz çelikten olmalıdır. Plastik gibi yumuşak malzemeler akustik enerjiyi absorbe edeceğinden tercih edilmemelidir [2].

3.2.2 Temizlik sıvısı

Ultrasonik temizleme sıvısının hedefi kir ile parça arasındaki bağı koparmaktır. Ultrasonik aktivitenin kullanım amacı ise temizlik sıvısına bu işi yapmakta yardımcı olmaktır. Bu sebeple, sıvı yüzey gerilimini düşürmek ultrasonik kavite şiddetini artıracak ve daha etkin bir temizlik elde edilmesi sağlanacaktır. Dolayısıyla ultrasonik temizleme sıvısı yüzey gerilimini azaltarak temizleme etkinliğini artıran malzemelerden oluşmalıdır [2].

Ultrasonik yıkama kazanı içinde temizlik etkinliğinin artırılması sadece sudan ziyade, temizlenecek malzemeye ve kire uygun bir çözeltinin hazırlanmasına bağlıdır. Bunun

yanında temizlik sıvısının sıcaklığının artırılması da temizlik etkinliğinin artırılmasında önemli rol oynar [2].

Uygun çözelti hazırlanması için seçilecek çözücü temizlenecek kire bağlıdır. Herhangi bir ultrasonik temizleme işlemi için bu en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında, çözücü miktarının da uygun seviyede tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde, malzeme üzerinde asıl kirden daha fazla çözücü birikimi gerçekleşebilir ve bu çözücünün temizlenmesi çok daha zahmetli olabilir [2].

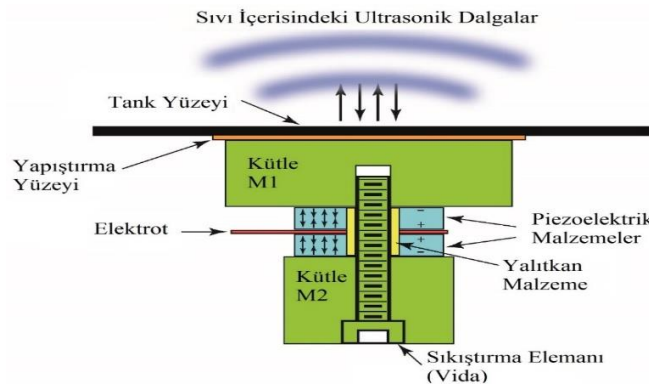
Ultrasonik yıkama kazanlarında, temizlik aktivitesi sırasında temizlenen kirler parça üzerinde veya çözelti içerisinde asılı halde kalırlar. Bu sebeple, temizlik kalitesinin artırılması için yıkama kazanlarında filtreleme ve ilave kazan kullanımı tercih edilmelidir [2].

3.2.3 Ultrasonik dönüştürücüler

Ultrasonik temizlemenin merkezinde, ultrasonik dalgaları üreten elemanlar olan transdüserler, yani elektrik enerjisini akustik enerjiye çeviren dönüştürücüler bulunur.

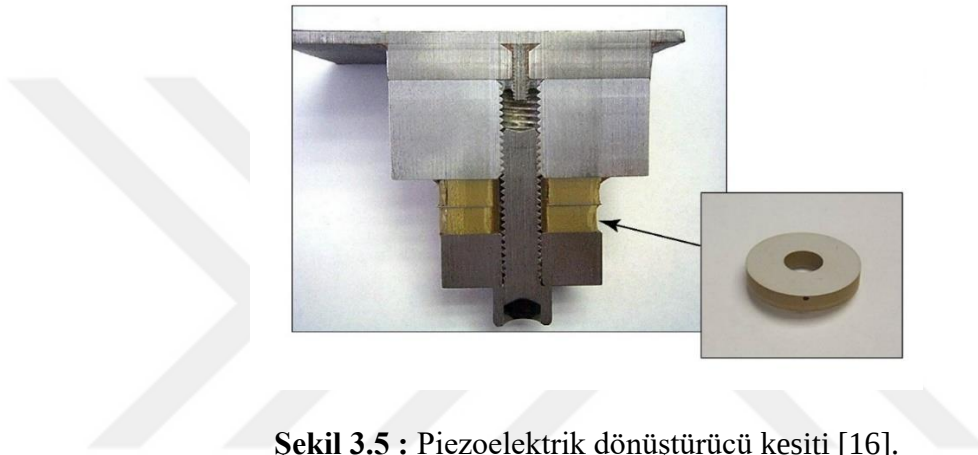
Günümüzde endüstride elektromanyetik dönüştürücüler ve piezoelektrik dönüştürücüler olmak üzere 2 tip ultrasonik dönüştürücü kullanılmaktadır. Bu tezde piezoelektrik dönüştürücüler kullanıldığı için elektromanyetik dönüştürücüler üzerinde durulmayacaktır.

Piezoelektrik dönüştürücüler kurşun zirkonyum titanat veya diğer seramiklerden yapılır. Bu tip malzemelerin değişken gerilimli bir elektrik alanda boyutlarında değişimler gözlenir. Bu etki piezoelektrik etki olarak adlandırılır. Bu tip dönüştürücülerin verimi %70 – %90 arasında değişmektedir [2]. Şekil 3.5'te bir piezoelektrik dönüştürücüye ait kesit görülmektedir.



Şekil 3.4 : Piezoelektrik dönüştürücü iç yapısı [16].

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi piezoelektrik dönüştürücüler, iki şerit arasına yerleştirilmiş bir seramik kristalden oluşurlar. Bu şeritler arasına gerilim uygulandığında kristalde yer değiştirme meydana gelir. Bu dönüştürücüler temizleme kazanının yan cidarlarına veya alt kısmına (diyaframa) yerleştirilirler ve kristaldeki yer değiştirme diyaframın hareket etmesini sağlar. Burada sırası ile oluşan basınç dalgaları temizlik kazanı içindeki temizlik sıvısı içine iletilir. Kristalin kütlesi, paslanmaz çelik diyaframın kütlesi ile uyum içinde değildir. Bu nedenle diyaframa akustik enerjiyi daha verimli bir şekilde taşımak ve empedans uyumunu iyileştirmek için genelde bir alüminyum blok kullanılır [2].



Şekil 3.5 : Piezoelektrik dönüştürücü kesiti [16].

Piezoelektrik dönüştürücüler Şekil 3.5'te görüldüğü gibi temizlik kazanının dışına yapıştırılan tipte olabildiği gibi, doğrudan temizlik sıvısı içine koyulabilen daldırılabilir tipte de olabilir. Bu dönüştürücüler sıvı geçirmeyen bir kutu ve sıvı geçirmeyen kablolar ile tasarlanırlar. Bu dönüştürücülerin avantajı, istenilen herhangi bir kazanı ultrasonik temizleme kazanına kolayca dönüştürebilmesidir.

3.2.4 Ultrasonik üreteçler

Ultrasonik üreteçler, ultrasonik dönüştürücüleri sürmek için kullanılırlar. Ultrasonik üreteç, şehir şebekesinden gelen enerjiyi ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansında ve çalışma geriliminde bir sinyale dönüştürerek ultrasonik dönüştürücüye iletir. Dönüştürücü aldığı bu sinyale şeklini değiştirerek cevap verir ve bu durum sinyal uygulandığı sürece devam eder. Uygulama tipine göre bu üreteçler 18 kHz ile 120 kHz arasında olabilirler. Özel durumlarda 400 kHz'e kadar sinyal üretebilen üreteçler de mevcuttur [2].

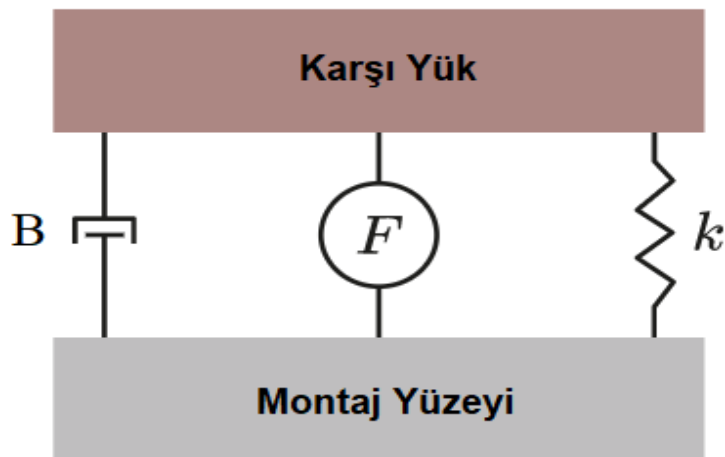


4. ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODELLENMESİ VE SÜRÜCÜ DEVRESİ TASARIMI

4.1 Ultrasonik Dönüştürücünün Modellenmesi

Ultrasonik temizlemenin kalitesini belirleyen unsurlar arasında olan ultrasonik temizleme sistemini oluşturan elemanların doğru seçilmesi kadar bir diğer önemli nokta da ultrasonik temizlemenin kalbi olan ultrasonik dönüştürücülerin uygun güç ve frekansta çalıştırılmalarıdır. Doğru güç ve frekansta, üreteç devresiyle uyum içinde çalıştırılan ultrasonik dönüştürücüye maksimum güç aktarımı yapılabilir ve rezonans frekansında çalışması sağlanarak maksimum titreşim elde edilebilir. Üreteç devresinin çıkış frekansı ile ultrasonik dönüştürücünün rezonans frekansının çakışmaması durumunda ise güç ve verimlilik düşecek ve zamanla dönüştürücüyü oluşturan piezoelektrik malzemelerde deformasyon oluşacaktır [6].

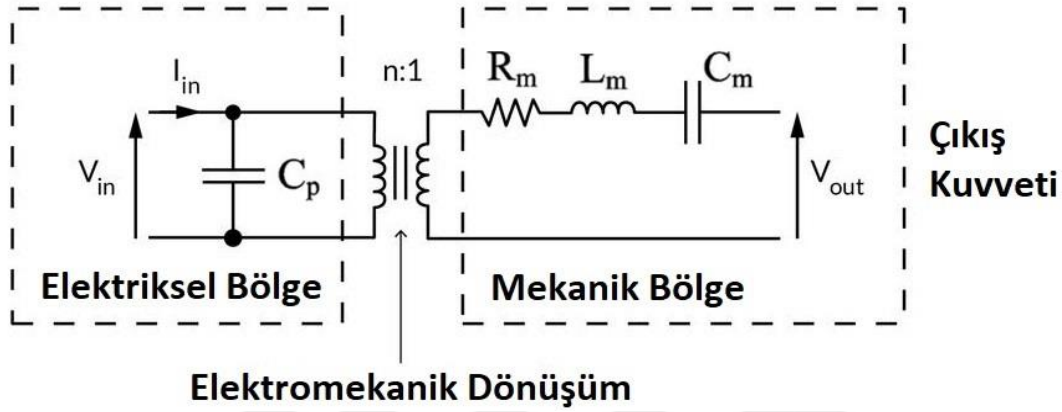
Bu sebeple ultrasonik dönüştürücünün doğru şekilde sürülmesi için ultrasonik dönüştürücünün elektriksel davranışının doğru bir şekilde modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Modelleme için ise literatürde ultrasonik dönüştürücüler için en temel eşdeğer devre olan Butterworth – Van Dyke modeli kullanılmıştır [7].



Şekil 4.1 : Ultrasonik dönüştürücünün mekanik modeli[17].

Elektriksel ve mekanik birimler arasında var olan şu ilişkiler vasıtasıyla Şekil 4.1’de görülen mekanik modelden Şekil 4.2’de görülen modellemeye geçiş yapılabilir [17];

- Gerilim V ile kuvvet F doğru orantılıdır,
- Akım I ile hız $\dot{x}$ doğru orantılıdır,
- Endüktans L ile kütle m doğru orantılıdır,
- Rezistans R ile sürtünme B doğru orantılıdır,
- Kapasitans C ile sönümlenme k ters orantılıdır.



Şekil 4.2 : Ultrasonik dönüştürücünün elektriksel ve mekanik bölge modeli [18].

Şekil 4.2’den görüldüğü üzere, ultrasonik dönüştürücünün girişine uygulanan bir elektrik gerilimi elektromekanik dönüşüm sonucunda seri bir RLC (Direnç – Bobin – Kapasitör) devresi gibi davranarak mekanik bir çıkış kuvveti yani ultrasonik titreşimleri oluşturur [18].

Burada,

V_{in} : Giriş gerilimi,

V_{out} : Çıkış gerilimi,

I_{in} : Giriş akımı,

n : Aktarma oranı,

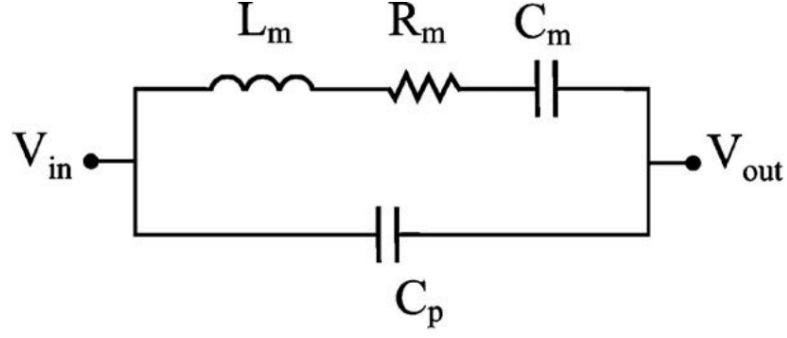
C_p : Ultrasonik dönüştürücünün statik kapasitansı,

R_m : Mekanik devrenin rezistansı,

L_m : Mekanik devrenin endüktansı,

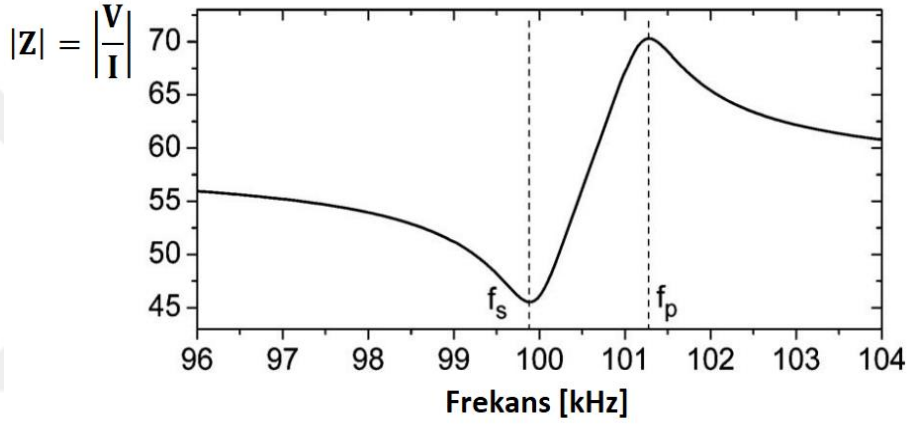
C_m : Mekanik devrenin kapasitansını ifade etmektedir.

Şekil 4.2’deki modelleme ile Şekil 4.3’te görülen devre oluşturulur ve ultrasonik dönüştürücünün eşdeğer devresi olarak ele alınır.



Şekil 4.3 : Butterworth – Van Dyke transdüser modeli [7].

Şekil 4.3'teki devre modeline ilişkin karakteristik empedans $[Z]$ eğrisi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Butterworth – Van Dyke transdüser modeli empedans eğrisi [7].

Şekil 4.4'deki eğride eşdeğer devrede seri kolda bulunan L_m ve C_m komponentlerinin etkilediği minimum empedans noktası olan f_s yani seri rezonans frekansı ile birlikte L_m ve C_m komponentlerine ek olarak C_p komponentinin de etkilediği minimum admitans (maksimum empedans) noktası olan f_p yani paralel rezonans frekansı noktası bulunmaktadır [7].

Eşdeğer devrede seri kola ait empedans $X_L = j\omega L$ ve $X_C = \frac{1}{j\omega C}$ olmak üzere, denklem 4.1 ile ifade edilir [19].

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4.1)$$

Devrenin seri rezonans frekansında olması durumunda $(X_L - X_C) = 0$ olacaktır. Buna göre devrenin doğal frekansı ω_0 ise denklem 4.2 ve denklem 4.3 vasıtasıyla ve $j^2 = -1$ olmak üzere denklem 4.4 olarak yazılır. [19].

$$X_L - X_C = 0 \quad (4.2)$$

$$j\omega_0 L - \frac{1}{j\omega_0 C} = 0 \quad (4.3)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te $\omega_0 = \omega_s = 2\pi f_s$ ifadesi yazılırsa ve devre parametreleri yerlerine koyulursa, seri rezonans frekansı denklem 4.5 olarak elde edilir [7].

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} \quad (4.5)$$

Paralel rezonans frekansını hesaplamak için ise C_m ve C_p komponentlerinin seri empedans değerleri denklem 4.6'daki eşitliğe göre hesaplanır ve denklem 4.7, denklem 4.5'te yerine koyulur [20].

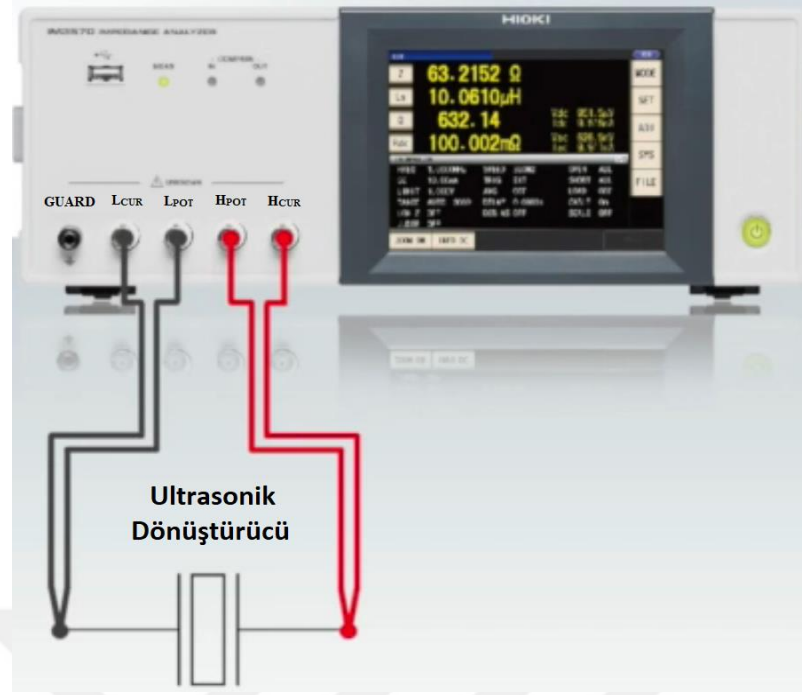
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_m} \quad (4.6)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_m} + \frac{1}{C_p} = \frac{C_m C_p}{C_m + C_p} \quad (4.7)$$

Buna göre paralel rezonans frekansı denklem 4.8'deki gibi elde edilir [7].

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m \frac{C_m C_p}{C_m + C_p}}} \quad (4.8)$$

Ultrasonik dönüştürücüye ait minimum empedans noktası f_s ve minimum admitans noktası f_p 'yi bulabilmek için İTÜ VLSI laboratuvarında bulunan HIOKI marka IM3570 model empedans analizörü ile Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi empedans ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

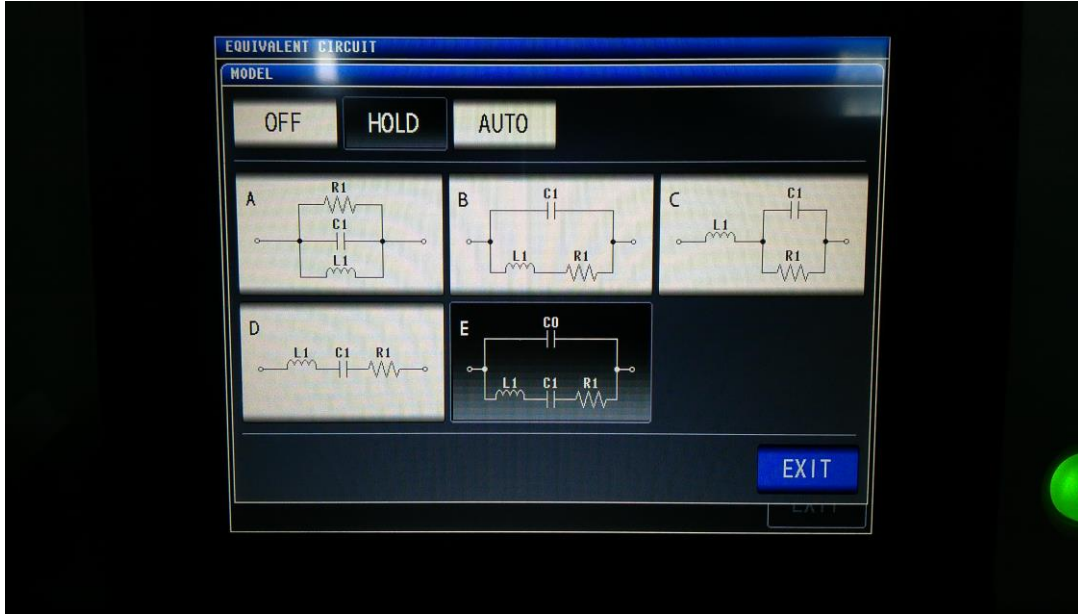


Şekil 4.5 : Empedans ölçümleri için kurulması gereken test düzeneği şeması [8].



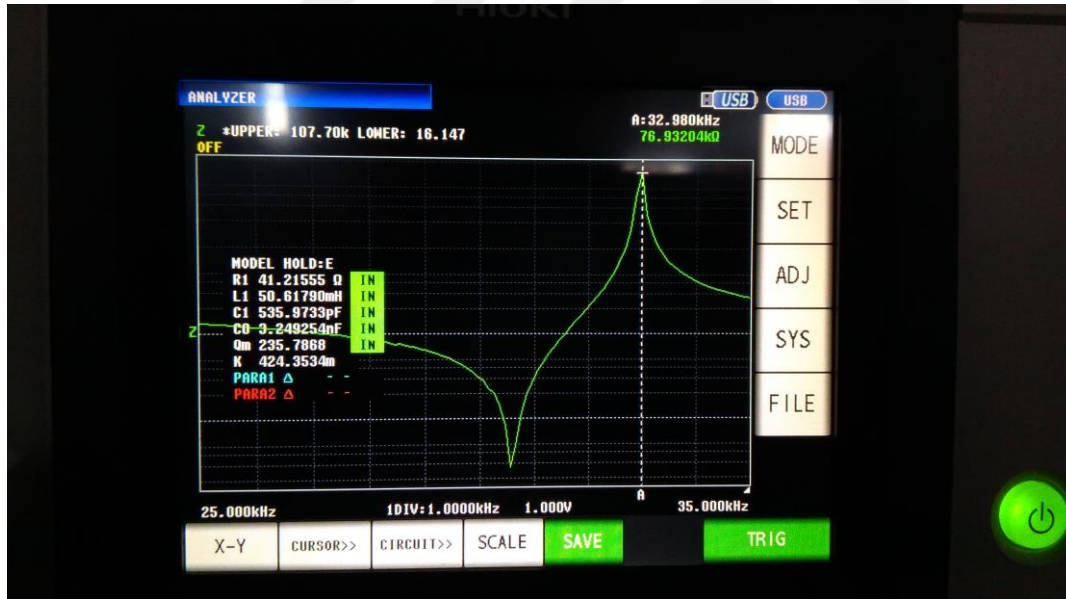
Şekil 4.6 : Empedans ölçümleri için laboratuvarda kurulan test düzeneği.

İstenen empedans ölçümlerini yapabilmek için öncelikle empedans analizörünün eşdeğer devre modeli Şekil 4.7’de gösterildiği gibi seçilir.



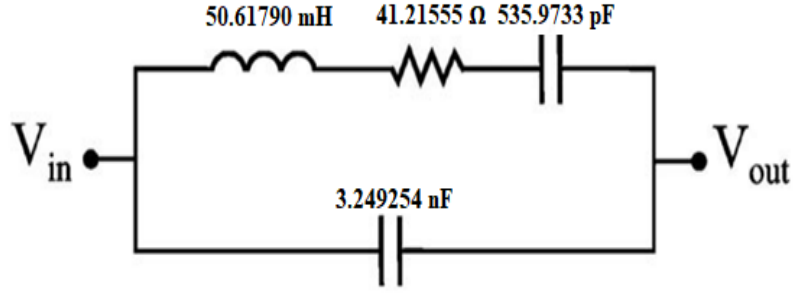
Şekil 4.7 : Empedans analizöründe eşdeğer devre modelinin seçilmesi.

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi kurulan test düzeneği ile alınan ölçüm sonuçları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Ultrasonik dönüştürücüye ait empedans eğrisi ve eşdeğer devre parametrelerine ait değerler.

Buna göre ultrasonik dönüştürücüye ait Butterworth – Van Dyke eşdeğer devre modeli Şekil 4.9'daki gibi elde edilmiş olur.



Şekil 4.9 : Ultrasonik dönüştürücüye ait Butterworth – Van Dyke eşdeğer devre modeli parametre değerleri.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi maksimum empedans noktası olan f_p değeri grafik üzerinden 32.980 kHz olarak okunmaktadır. Bu değer in eşdeğer devre parametrelerinin denklem 4.8’de yerine koyulması ile sağlanması yapılabilir. Ayrıca minimum empedans noktası olan f_s değeri de denklem 4.5’e göre denklem 4.9’daki gibi hesaplanabilir ve denklem 4.10’daki değer elde edilir.

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{50.6179 \cdot 10^{-3} \cdot 535.9733 \cdot 10^{-12}}} \quad (4.9)$$

$$f_s = 30.556 \text{ kHz} \quad (4.10)$$

Seri rezonans frekansında eşdeğer devrede seri kolda bulunan L_m ve C_m komponentleri birbirinin duali gibi davranacağından reaktansları toplamı sıfır olur ve eşdeğer devrede toplam gücün üzerine dağıtıldığı komponent olarak yalnızca R_m kalır. Ultrasonik dönüştürücü üzerinde endüklenen toplam güç ise denklem 4.11’e göre hesaplanır [17].

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R_m} = I_{rms}^2 \cdot R_m \quad (4.11)$$

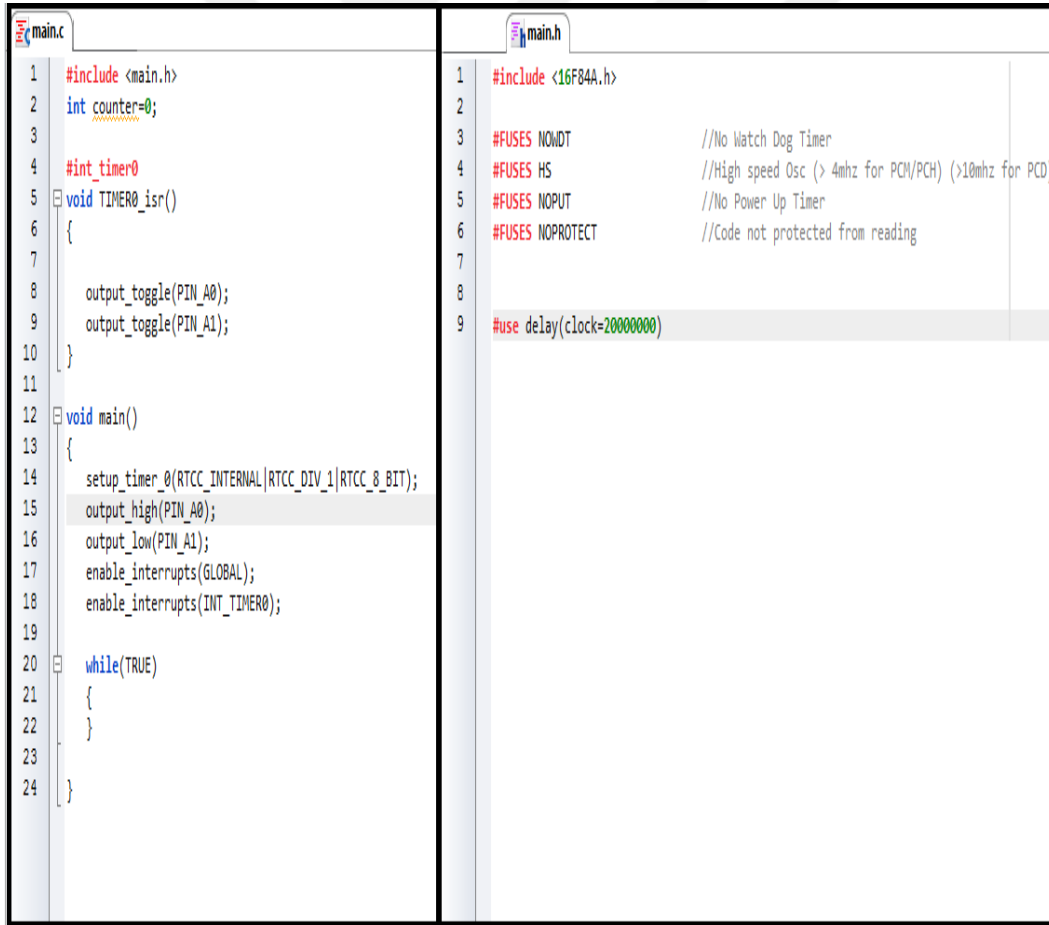
4.2 Ultrasonik Dönüştürücü İçin Sürücü Devresi Tasarımı

Eşdeğer devresi ve rezonans frekansları belirlenen ultrasonik dönüştürücülerin uygun şekilde çalıştırılabilmesi için bir sürücü devresi tasarlanmalıdır. Bu sürücü devresi minimum empedans noktası olan f_s frekansında çalışarak ultrasonik dönüştürücüye maksimum güç aktarmak suretiyle maksimum titreşimi elde etmeyi sağlayacaktır.

Bu tez kapsamında kullanılan ultrasonik dönüştürücülerin çalışma gerilimi 300 VAC ve yapılan ölçümler sonucu belirlenen rezonans frekansı $f_s = 30.556 \text{ kHz}$ olmasından dolayı bu gerilimin ultrasonik dönüştürücüye uygulanabilmesi için bu gerilim ve bu frekansta modüle edilmiş sinyallere ihtiyaç

vardır. Bu modülasyon işlemi PWM (Pulse Width Modulation) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

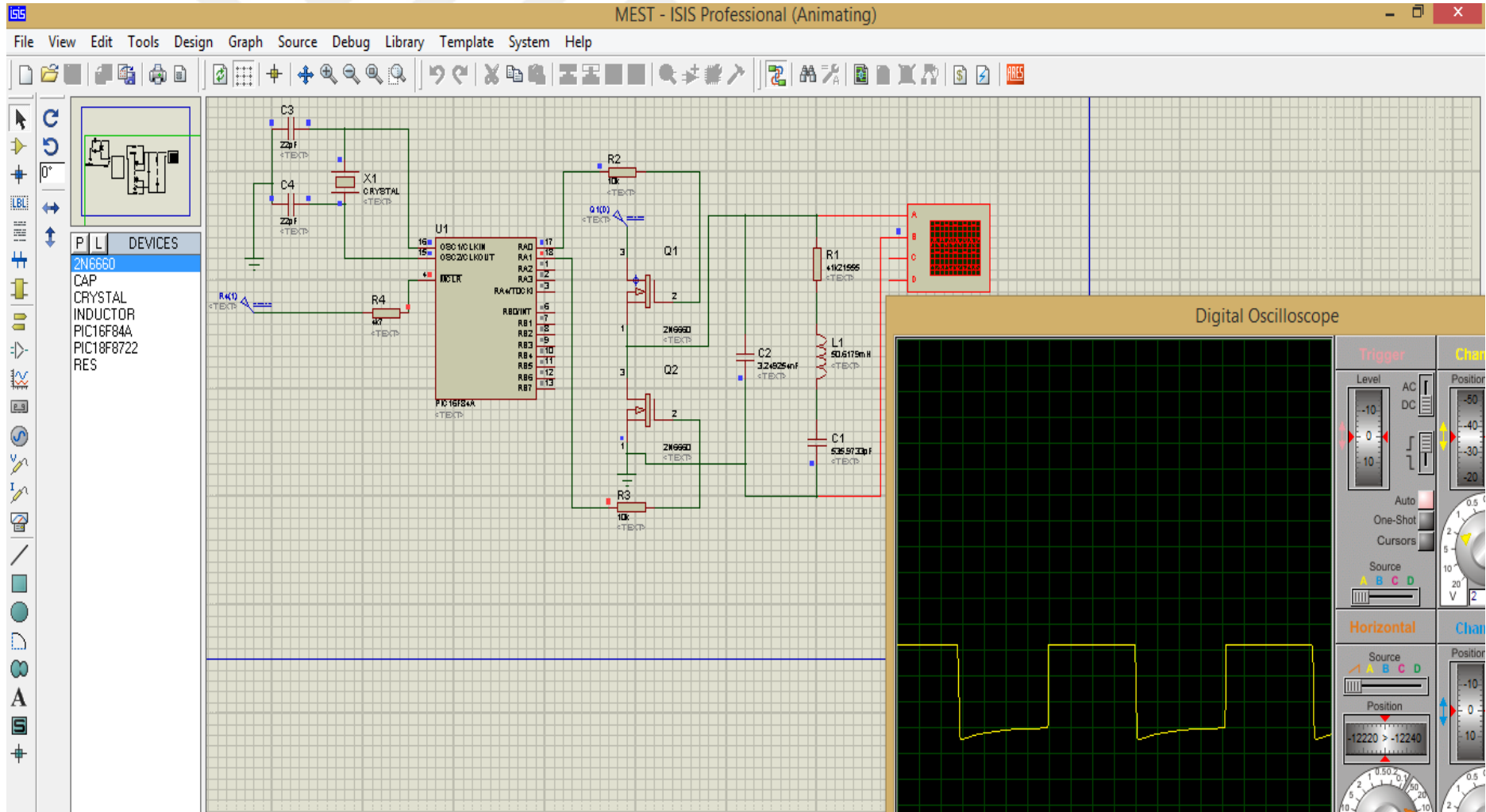
Şekil 4.11’de yarım köprü MOSFET devresi ile ultrasonik dönüştürücünün sürülmesi için hazırlanan devre görülebilir. Bu devrede PIC 16F84A mikrokontrolcüsü kullanılarak 17. ve 18. bacaklarından üretilen PWM sinyalleri dönüştürücünün girişine uygulanmaktadır. Şekil 4.12’de ise bu devre ile sürülen ultrasonik dönüştürücünün üzerinden okunan modüle edilmiş sinyal görülebilir. Aynı şekilde Şekil 4.13’te ise ultrasonik dönüştürücü tam köprü MOSFET devresi ile sürülmüştür ve Şekil 4.14’te de bu devre ile ultrasonik dönüştürücü üzerinden okunan modüle edilmiş sinyal görülebilir. Tam köprü MOSFET devresi ile sürme sonucu okunan modüle edilmiş sinyal formunun yarım köprü MOSFET devresine göre daha düzgün oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle ultrasonik transdüser tam köprü MOSFET devresi ile sürülmüştür. Ayrıca Şekil 4.10’da mikrokontrolcüye yazılan kodlar verilmiştir.



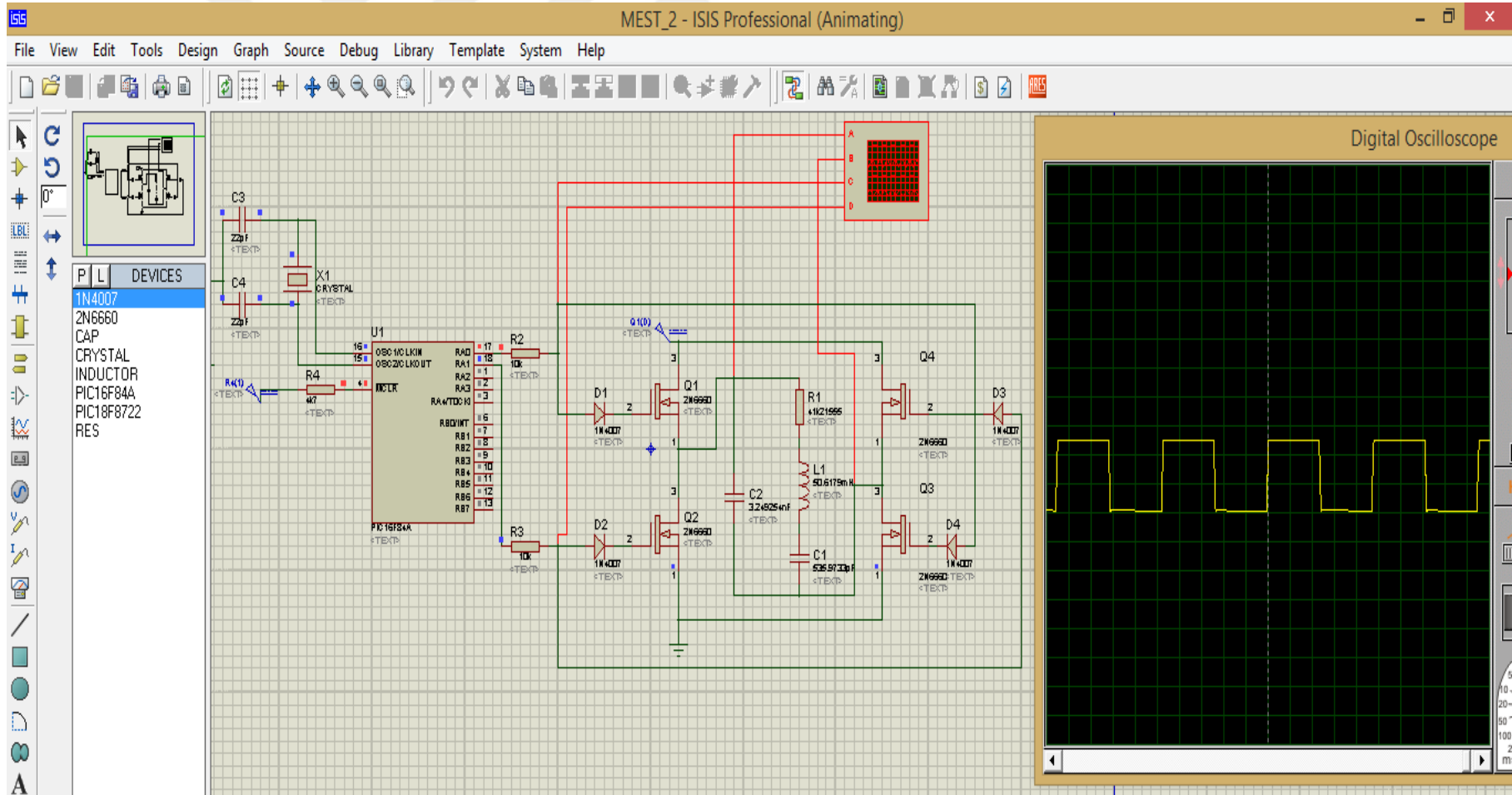
```
main.c
1 #include <main.h>
2 int counter=0;
3
4 #int_timer0
5 void TIMER0_isr()
6 {
7
8     output_toggle(PIN_A0);
9     output_toggle(PIN_A1);
10 }
11
12 void main()
13 {
14     setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1|RTCC_8_BIT);
15     output_high(PIN_A0);
16     output_low(PIN_A1);
17     enable_interrupts(GLOBAL);
18     enable_interrupts(INT_TIMER0);
19
20 while(TRUE)
21 {
22
23
24 }
```

```
main.h
1 #include <16F84A.h>
2
3 #FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
4 #FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz for PCH/PCH) (>10mhz for PCD)
5 #FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
6 #FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
7
8
9 #use delay(clock=20000000)
```

Şekil 4.10 : PIC16F84A mikrokontrolcüsü içine yazılan yazılım.



Şekil 4.12 : Yarı köprü MOSFET devresi ile sürülen ultrasonik dönüştürücüde görülen PWM sinyali.



Şekil 4.14 : Tam köprü MOSFET devresi ile sürülen ultrasonik dönüştürücüde görülen PWM sinyali.

5. ROBOTLU TAM OTOMATİK ULTRASONİK TEMİZLEME MAKİNESİNİN TASARIM AŞAMALARI

Belirlenen ihtiyaca göre çalışması istenen teze konu olan makinenin tasarım aşamaları bu bölümde adım adım tanıtılmıştır. Hydra Ultrasonik firması tarafından mekanik tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen makinenin tüm kontrol ve otomasyon işlemleri ise bu tez kapsamında yapılmıştır.

5.1 Makinenin Tasarım Amacı

Tasarımı yapılmış olan makinenin temel amacı, ultrasonik yıkama yöntemiyle ve belirlenmiş bir iş emrine göre yapılması istenen temizlik işleminin otomatik hale getirilmesidir. Bu sebeple, temizlenmesi istenen parçaların temizlik metoduna bağlı olarak oluşturulan proses bu bölümde anlatılacaktır.

5.1.1 Makine prosesi

Belirlenen temizlik metoduna göre çalışması istenen makine prosesi temelde iki bölüme ayrılmıştır;

1. Seçilen reçeteye göre gerçekleştirilmesi istenen yıkama işlemlerini kapsayan kazan işlemleri,
2. Yıkanması istenen parçaların içinde bulunduğu sepetleri kazanlara yerleştiren 2 eksenli robot işlemleri.

5.1.2 Kazan İşlemleri

Sistemde toplamda 8 adet kazan bulunmaktadır ve bu kazanlarda belirlenen temizlik metoduna göre farklı kazan işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu bölümde her kazan için belirlenen tüm kazan işlemleri anlatılacaktır.

Kazan işlemleri için yazılan kodlar ayrıca Şekil A.1’de sunulmuştur.

5.1.2.1 1. kazan işlemleri

Bu kazan ultrasonik temizleme yapılabilen kazanlardan ilkidir. İlgili kazana sepet koyulup kapağı kapandıktan sonra ilk olarak filtrasyon pompasının çalışması ile filtrasyon işlemi başlar ve “Reçete”de girilen filtrasyon süresi kadar bu işlem gerçekleştirilir.

Filtrasyon işleminin bitmesi ile birlikte ultrasonik dönüştürücülerin çalıştırılması suretiyle ultrasonik dönüştürücülerin çalışması başlatılır ve denklem 5.1’e göre hesaplanan işlem süresi boyunca sürdürülür.

$$t_{ultrasonik} = t_{kazan} - t_{filtrasyon} - t_{taşırma} \quad (5.1)$$

Burada,

$t_{ultrasonik}$: Ultrasonik dönüştürücülerin çalışma süresini (dk),

t_{kazan} : Kazanın toplam işlem süresini (dk),

$t_{filtrasyon}$: Filtrasyon pompasının çalışma süresini (dk),

$t_{taşırma}$: Taşıma (yağ sıyırma) pompasının çalışma süresini (dk) ifade etmektedir.

Ultrasonik çalıştırma işleminin bitmesinin ardından ise taşıma (yağ sıyırma) pompasının çalışması ile taşıma işlemi gerçekleştirilir ve “Reçete”de girilen taşıma süresi kadar bu işlem yerine getirilir.

Taşıma pompasının çalışmaya başlamasıyla birlikte aynı zamanda yağ sıyırma diski de çalıştırılmaya başlanır ve 20 dakika içerisinde tekrar çalışma komutu almamışsa bu süre sonunda otomatik olarak durur.

Taşıma süresinin sonunda 1. kazan’a ait işlemler tamamlanmış olur ve “İşlem Bitti” sinyali üretilerek kazan içerisindeki sepetin seçilen bir sonraki kazana otomatik olarak transferi gerçekleştirilir.

Bu kazana ait işlemler için yazılan kodlar Şekil A.2’de sunulmuştur.

5.1.2.2 2. kazan işlemleri

Bu kazan durulama yapılabilen kazanlardan ilkidir. İlgili kazana sepet koyulup kapağı kapandıktan sonra ilk olarak filtrasyon pompasının çalışması ile filtrasyon işlemi başlar ve denklem 5.2’ye göre hesaplanan filtrasyon süresi kadar bu işlem gerçekleştirilir.

$$t_{filtrasyon} = t_{işlem} - 20 - t_{taşırma} \quad (5.2)$$

Burada;

$t_{filtrasyon}$: Filtrasyon pompasının çalışma süresini (dk),

t_{kazan} : Kazanın toplam işlem süresini (dk),

$t_{taşırma}$: Taşıırma (yağ sıyıırma) pompasının çalışma süresini (dk) ifade etmektedir.

Filtrasyon işleminin bitmesi ile birlikte kazan içindeki sıvının durulması için 20 saniyelik bir bekleme ardından taşıırma pompasının çalışması suretiyle taşıırma işlemi gerçekleştirilir ve “Reçete”de girilen taşıırma süresi kadar süreyle bu işlem yerine getirilir.

Taşıırma pompasının çalışmaya başlamasıyla birlikte aynı zamanda yağ sıyıırma diski de çalışmaya başlar ve 20 dakika içerisinde tekrar çalışma komutu almamışsa bu süre sonunda otomatik olarak durur.

Taşıırma süresinin sonunda 2. kazana ait işlemler tamamlanmış olur ve “İşlem Bitti” sinyali üretilerek kazan içerisindeki sepetin seçilen bir sonraki kazana otomatik olarak transferi gerçekleştirilir.

Bu kazana ait işlemler için yazılan kodlar Şekil A.3’te sunulmuştur.

5.1.2.3 3. kazan işlemleri

Bu kazana ait işlemler tıpkı 1. kazan işlemleri gibidir.

5.1.2.4 4. kazan işlemleri

Bu kazana ait işlemler tıpkı 1. kazan işlemleri gibidir.

5.1.2.5 5. kazan işlemleri

Bu kazana ait işlemler tıpkı 2. kazan işlemleri gibidir.

5.1.2.6 6. kazan işlemleri

Bu kazana ait işlemler tıpkı 2. kazan işlemleri gibidir.

5.1.2.7 7. kazan işlemleri

Bu kazan pasivasyon için kullanılan kazandır ve ilgili kazana sepet koyulduktan sonra sadece “Reçete”de belirlenen işlem süresi kadar sepetin kazan içerisinde kalması

sağlanır. İşlem süresinin bitiminde sepet, seçiliyse 8. kazana alınır veya aksi halde doğrudan çıkış konveyörüne aktarılacak suretiyle dışarı alınarak bu sepet içerisindeki malzemelerin yıkanma işlemi tamamlanmış olur.

5.1.2.8 8. kazan işlemleri

Bu kazan vakumlama ve kurutmanın yapıldığı kazandır. İlgili kazana sepet koyulduktan sonra, işlem süresi boyunca hava yolunun vakum valfi vasıtasıyla açık kalması sağlanır. Vakum valfi açıldıktan 1 saniye sonra ise vakum pompası çalıştırılır ve pozitif vakum limit değeri görülene kadar vakum pompası çalışmaya devam eder. Pozitif vakum limitinin görülmesi ile birlikte vakumlama işlemi tamamlanmış olur ve vakum pompası ve vakum valfi kapatılarak kazanın kapağı açılır, kazan içerisindeki sepet çıkış konveyörüne alınır.

Bu kazana ait işlemler için yazılan kodlar Şekil A.4'te sunulmuştur.

5.1.3 2 eksenli robot işlemleri

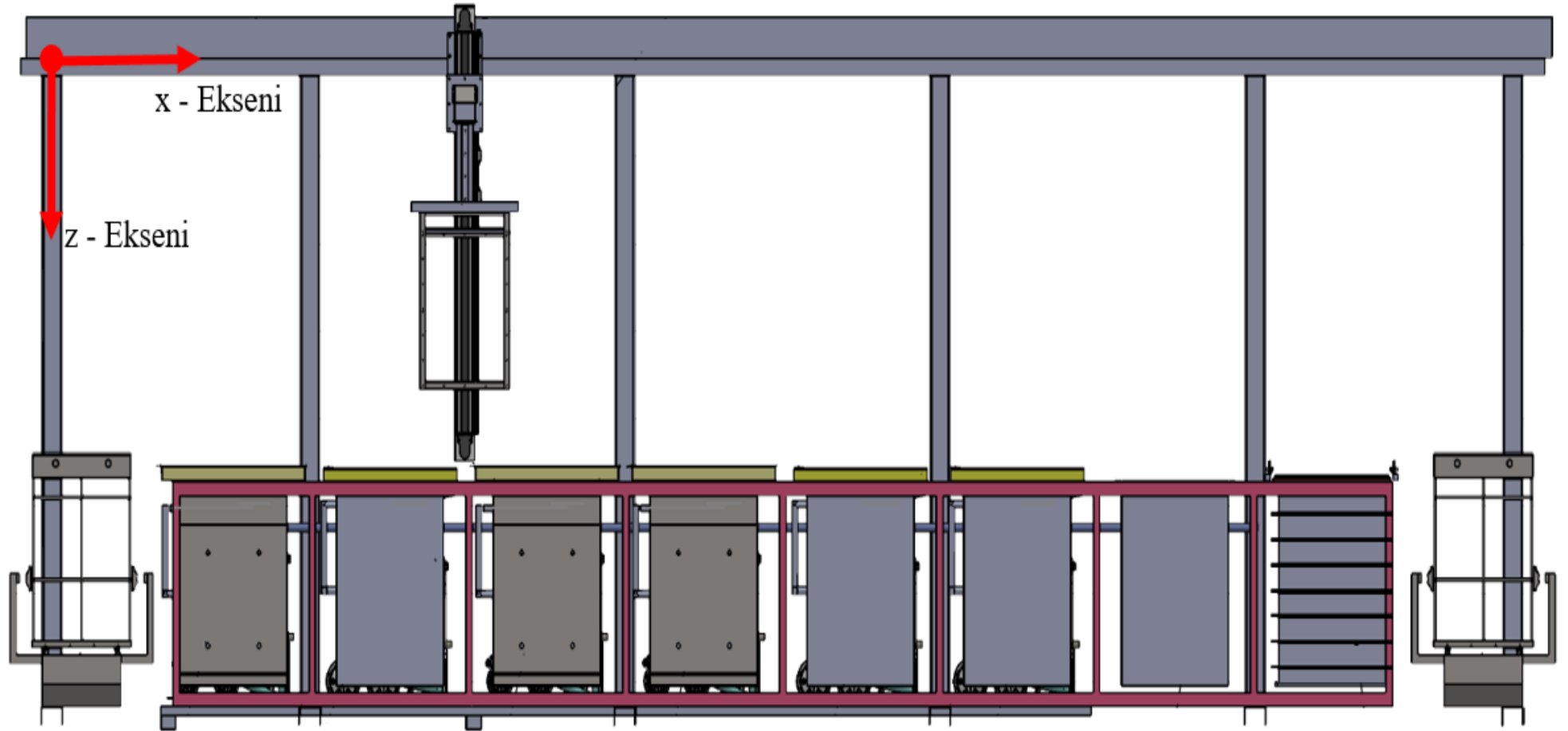
Giriş konveyörü ile sisteme alınan sepetleri makine içerisinde taşımak amacıyla 2 eksenli robot tasarımı yapılmıştır. Bu robot belirlenen “Reçete”ye göre sepetlerin ilgili kazanlara yerleştirilmesi ve işlemi bitmiş olan sepetlerin çıkış konveyörüne taşınması için kullanılır.

2 eksenli robot, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi koordinat sisteminde x – ekseni ve z – ekseninde çalışmaktadır. Şekil 5.1’den görüleceği gibi + x doğrultusu makinenin sağ yönünü, + z doğrultusu ise makinenin aşağı yönünü tanımlamaktadır.

Robotun “sepet alma” ve “sepet bırakma” olarak iki işlemi bulunmaktadır.

Makine prosesi gereği her bir sepet sadece + x doğrultusundaki bir sonraki işleme geçiş yapılabilir. Bu sebeple – x doğrultusunda bir taşıma işlemi tanımlanmamıştır.

Robot işlemleri için yazılan kodlar Şekil A.5’te sunulmuştur.



Şekil 5.1 : 2 eksenli robot koordinat sistemi.

5.1.3.1 Sepet alma işlemi

Otomatik çalışma sırasındaki bir sepet alma komutuna göre robotun sepet alma algoritması şu şekildedir;

1. Sepetlerin tasarımı gereği, robot sepetleri alırken ilk önce $-x$ doğrultusunda “kanca mesafesi” adı verilen küçük bir pozisyon kadar ilerletilmektedir.
2. Daha sonra $+z$ doğrultusunda her bir konveyör ve kazan için belirlenmiş olan güvenli bir aşağı iniş pozisyonu kadar pozisyonlama yapılmaktadır.
3. İlk iki hareket sonucunda sepet alma pozisyonuna gelmiş olan robot ilk adımda $-x$ doğrultusunda gitmiş olduğu “kanca mesafesi” kadar bu sefer $+x$ doğrultusunda hareket ederek sepetin merkezine gelir.
4. Son adım olarak da, ikinci adımda inmiş olduğu $+z$ doğrultusundaki pozisyonu $-z$ doğrultusunda katederek, yani “0” noktasına gelerek bir sepet alma işlemi tamamlanmış olur.

5.1.3.2 Sepet bırakma işlemi

Otomatik çalışma sırasındaki komuta göre alınmış olan sepetin bırakılması için işlem adımları şu şekildedir;

1. Sepetin bırakılması istenen konveyör veya kazanın merkez noktasına kadar $+x$ doğrultusunda pozisyonlama gerçekleştirilir.
2. Robot istenen bölümün merkez noktasına geldikten sonra sepet $+z$ doğrultusunda belirlenmiş olan iniş mesafesine indirilir.
3. Bu noktadan sonra sepet artık istenen bölüme yerleştirilmiştir. Robot “kanca mesafesi” kadar $-x$ doğrultusunda hareket ettirilerek sepet ile teması kesilmiş olur.
4. Son olarak da sepet ile teması kesilmiş olan robot $-z$ doğrultusunda hareket ettirilip, “0” noktasına gelerek bir sepet bırakma işlemini tamamlamış olur.

5.2 Mekanik Tasarım

Belirlenen proses adımlarına uygun olarak Hydra Ultrasonik firması tarafından mekanik tasarımı gerçekleştirilen makinenin ayrıntıları bu bölümde verilecektir.

Makinenin mekanik tasarımına ilişkin çizimler ise EK B’de Şekil B.1, Şekil B.2, Şekil B.3, Şekil B.4 ve Şekil B.5’te görülebilir.

Makinenin devreye alınması sonrası alınan fotoğraflar ise EK C’de Şekil C.1, Şekil C.2, Şekil C.3, Şekil C.4, Şekil C.5, Şekil C.6 ve Şekil C.7’de görülebilir.

5.2.1 Kazanlar

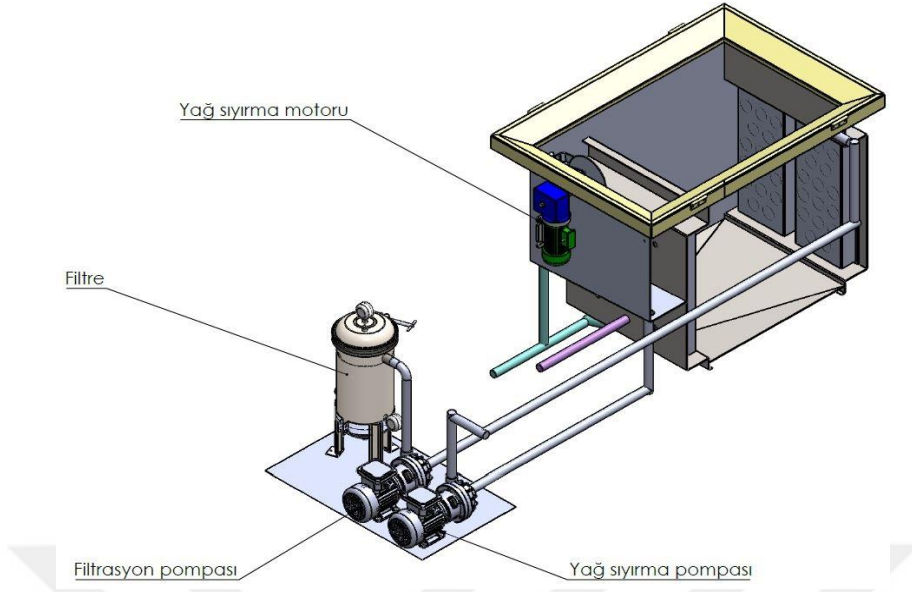
Sistemde tanımlanan kazan işlemlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanan kazanların gerçekleştirdiği işlemlere göre sınıflandırılması şu şekilde yapılabilir;

Ultrasonik yıkama kazanları:

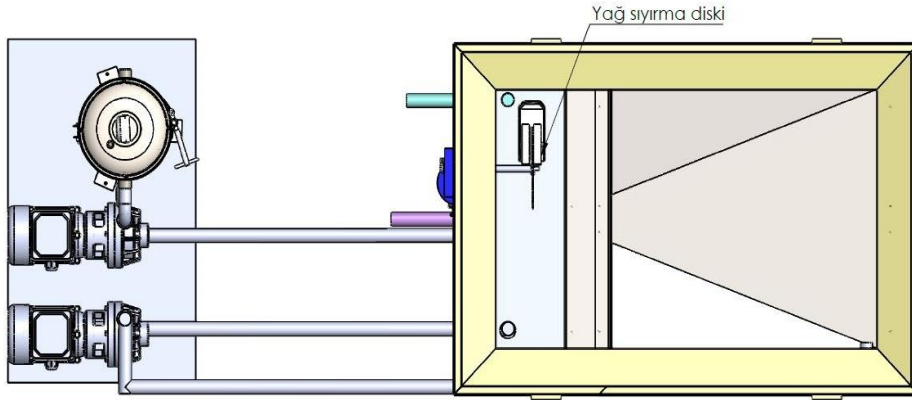
Sadece 1., 3. ve 4. kazanlar içerisinde ultrasonik yıkama işlemi yapılabilen kazanlarda ultrasonik dönüştürücüler, filtrasyon pompası, yağ sıyırma pompası, yağ sıyırma diski ve ısıtıcılar bulunur. Bu kazanlara ait çizimler Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te verilmiştir.

Bu kazanlardaki işlemler ise şu sırayla yapılmaktadır;

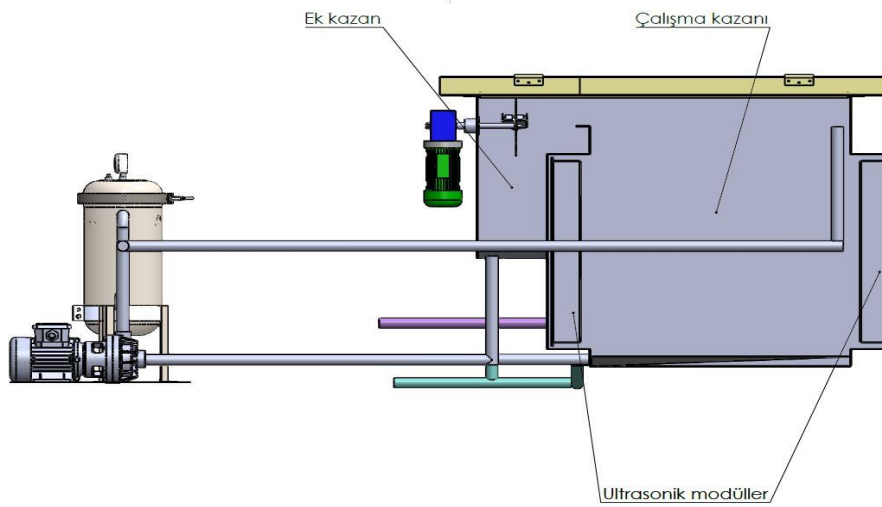
1. İlk önce belirlenen süre kadar filtrasyon pompasının çalışmasıyla kazan içerisindeki büyük ve katı partiküller kazandan filtreye geçirilir ve filtre bu partikülleri tutarken, kazandan gelen yıkama sıvısı kazana geri basılır.
2. Filtrasyon süresinin sonunda ultrasonik dönüştürücüler çalışarak yıkanacak malzeme üzerinde ultrasonik temizleme işlemini gerçekleştirirler.
3. Ultrasonik temizleme işleminin bitmesinin ardından ise yağ sıyırma pompası çalışarak Şekil 5.4’te görülebilecek ek kazanda bulunan suyu ana kazana basar ve ultrasonik temizleme sırasında açığa çıkmış olan yağ partiküllerinin sıvı üzerine çıkmasını ve tekrar ek kazana dolmasını sağlar. Bu sırada çalışan yağ sıyırma diski ise yağ partiküllerini üzerinde tutarak yağ haznesine alır ve yağ partikülleri yıkama sıvısından uzaklaştırılmış olur. Böylece bir çevrimdeki yıkama işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 5.2 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait genel görünüm.



Şekil 5.3 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait üstten görünüm.



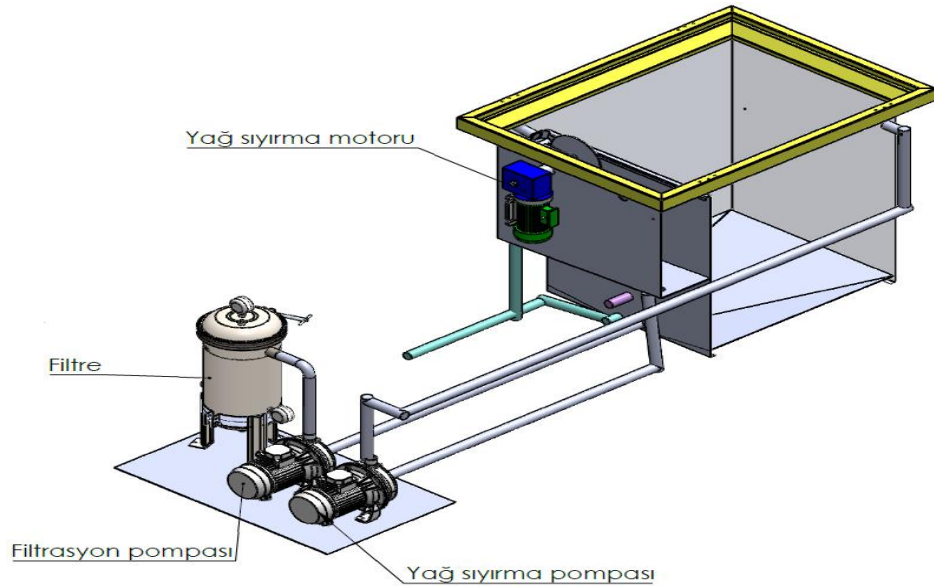
Şekil 5.4 : Ultrasonik yıkama kazanlarına ait yandan görünüm.

Durulama kazanları:

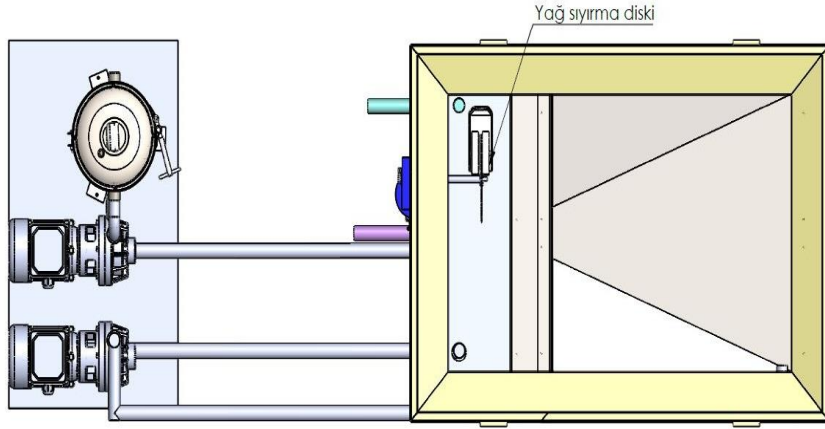
Ultrasonik yıkama sonrası durulama işleminin yapılabildiği 2., 5. ve 6. kazanlar içerisinde filtrasyon pompası, yağ sıyırma pompası, yağ sıyırma diski ve ısıtıcılar bulunur. Bu kazanlara ait çizimler Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

Bu kazanlardaki işlemler ise şu sırayla yapılmaktadır;

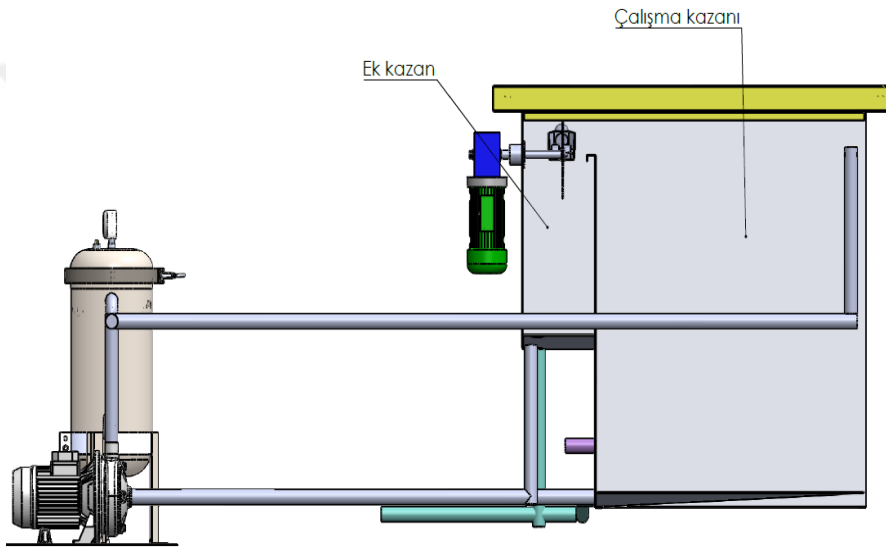
1. Tıpkı ultrasonik yıkama kazanlarında olduğu gibi ilk önce belirlenen süre kadar filtrasyon pompasının çalışmasıyla kazan içerisindeki büyük ve katı partiküller kazandan filtreye geçirilir ve filtre bu partikülleri tutarak kazandan gelen yıkama sıvısı kazana geri basılır.
2. Filtrasyon süresinin sonunda durulama suyundaki hareketin durulması için belirlenen süre kadar beklenir.
3. Bekleme süresinin ardından ise yağ sıyırma pompası çalışarak, Şekil 5.7’de görülebilecek ek kazanda bulunan suyu ana kazana basar ve ultrasonik temizleme sırasında açığa çıkmış olan yağ partiküllerinin sıvı üzerine çıkmasını ve tekrar ek kazana dolmasını sağlar. Bu sırada çalışan yağ sıyırma diski ise yağ partiküllerini üzerinde tutarak yağ haznesine alır ve yağ partikülleri yıkama sıvısından uzaklaştırılmış olur. Böylece bir çevrimdeki yıkama işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 5.5 : Durulama kazanlarına ait genel görünüm.



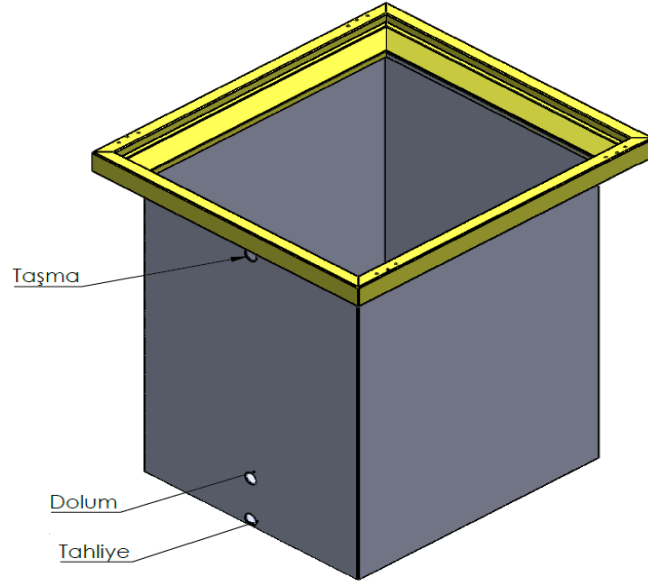
Şekil 5.6 : Durulama kazanlarına ait üstten görünüm.



Şekil 5.7 : Durulama kazanlarına ait yandan görünüm.

Pasivasyon kazanı:

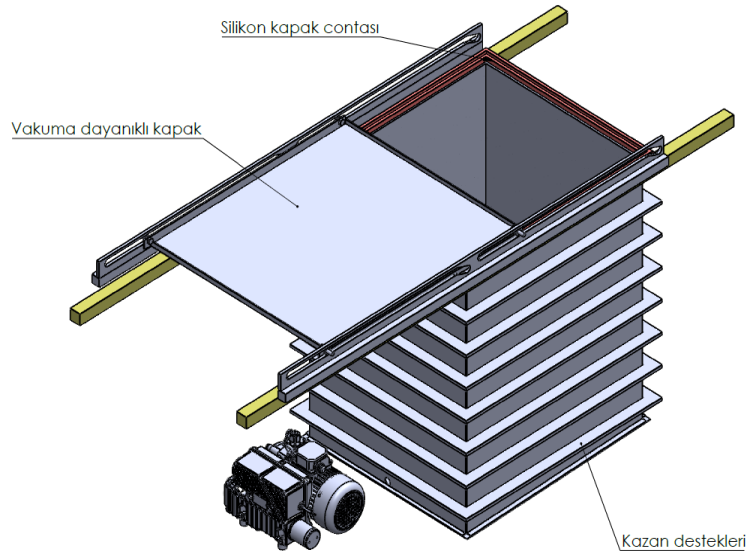
Yalnızca 7. kazandan ibaret olan pasivasyon kazanı içerisinde, yıkama işleminden sonra çelik malzemelerin korozyona karşı korunması amacıyla pasivasyon sıvısı içinde bekletme suretiyle yapılan pasivasyon işlemi gerçekleştirilir. Kazanda yalnızca pasivasyon sıvısını ısıtmak üzere ısıtıcılar bulunur. Bu kazana ait çizim ise 5.8’de verilmiştir.



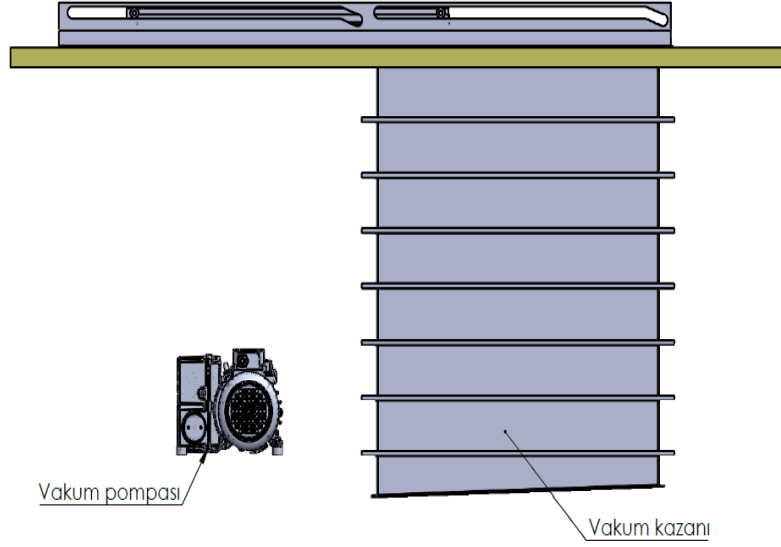
Şekil 5.8 : Pasivasyon kazanına ait genel görünüm.

Vakumlama kazanı:

Yalnızca 8. kazandan ibaret olan vakumlama işleminde yıkanan parçaların tamamen sıvıdan arındırılması sağlanır. Bu amaçla malzemeler yüksek sıcaklık altında vakumlanarak kurutulurlar. Dolayısıyla bu kazan içerisinde yalnızca vakum pompası ve ısıtıcılar bulunur. Bu kazana ait çizimler ise Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9 : Vakumlama kazanına ait genel görünüm.



Şekil 5.10 : Vakumlama kazanına ait yandan görünüm.

Kazanlarda bulunan tüm elemanlar ise alt bölümlerde tanıtılmıştır.

5.2.1.1 Ultrasonik dönüştürücüler

Sistemde kullanılan ultrasonik dönüştürücüler Şekil 5.11’de görülebilir. Bu dönüştürücüler, Bölüm 4’te ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.11 : Makinede kullanılan ultrasonik dönüştürücü.

5.2.1.2 Isıtıcılar

Sistemde 220 Volt AC gerilimle çalışan 1500 Watt gücündeki ısıtıcılar 8. kazan hariç her kazanda 3’er adet kullanılmıştır. 8. kazanda ise daha fazla sıcaklık istendiği için aynı ısıtıcının 2000 Watt gücünde olanı tercih edilmiştir.

5.2.1.3 Pompalar

Sistemde filtrasyon, yağ sıyırma ve vakum işlemleri için iki ayrı tip pompa kullanılmıştır.

Plastik gövdeli pompalar:

1, 3, ve 4. kazanlarda ultrasonik yıkama işlemi olduğu için buradaki sıvı asidik bir sıvıdır. Bu nedenle bu kazanlarda kullanılan filtrasyon ve yağ sıyırma pompaları aside dayanabilmeleri için plastik gövdeli olarak seçilmişlerdir.

Paslanmaz çelik gövdeli pompalar:

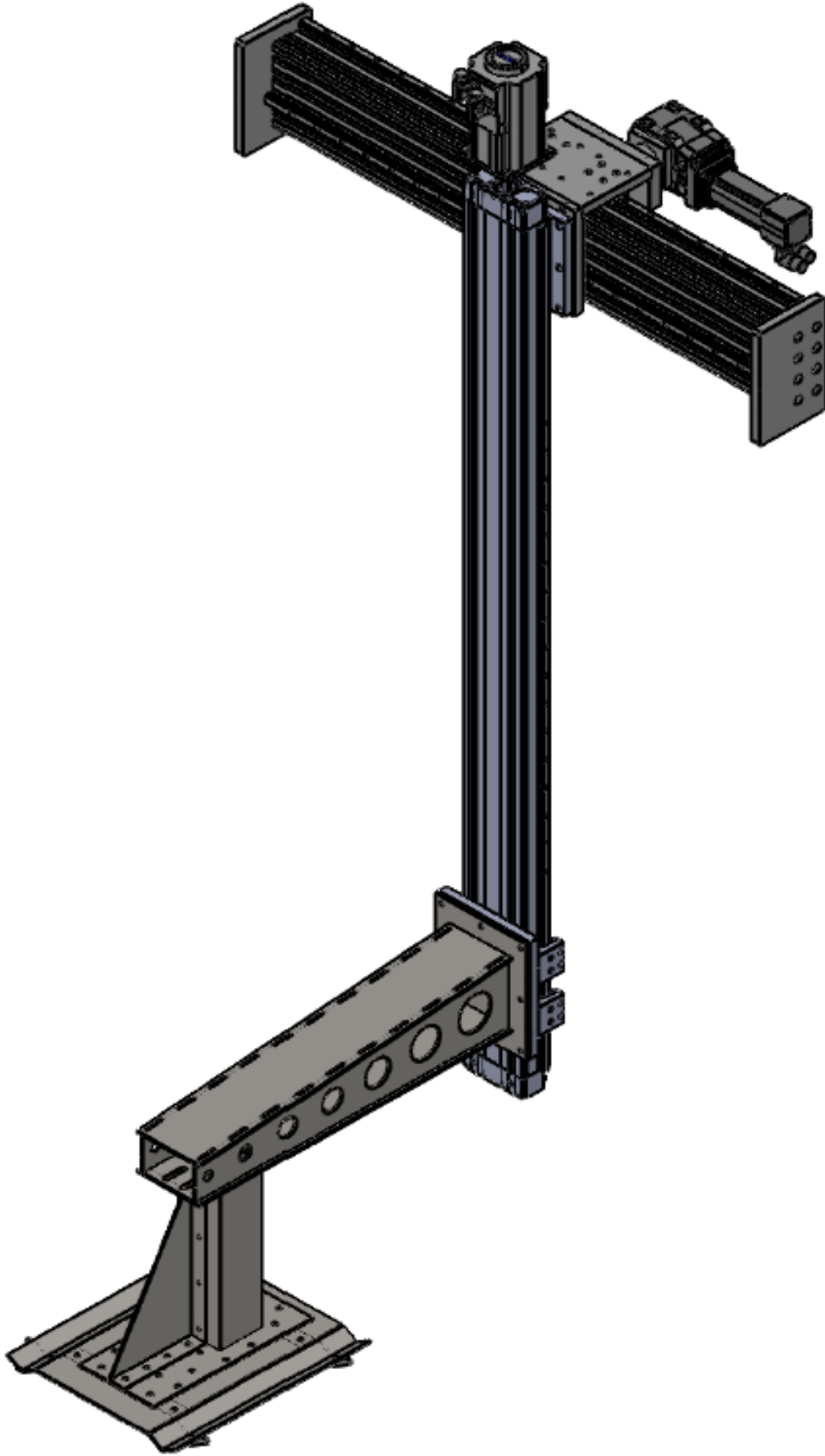
2, 5 ve 6. kazanlarda durulama işlemi yapıldığı için buradaki sıvı asidik özelliği olmayan bir sıvıdır. Bu yüzden bu kazanlarda kullanılan filtrasyon ve yağ sıyırma pompaları paslanmaz çelik gövdeli seçilmişlerdir.

5.2.1.4 Yağ sıyırma diskleri

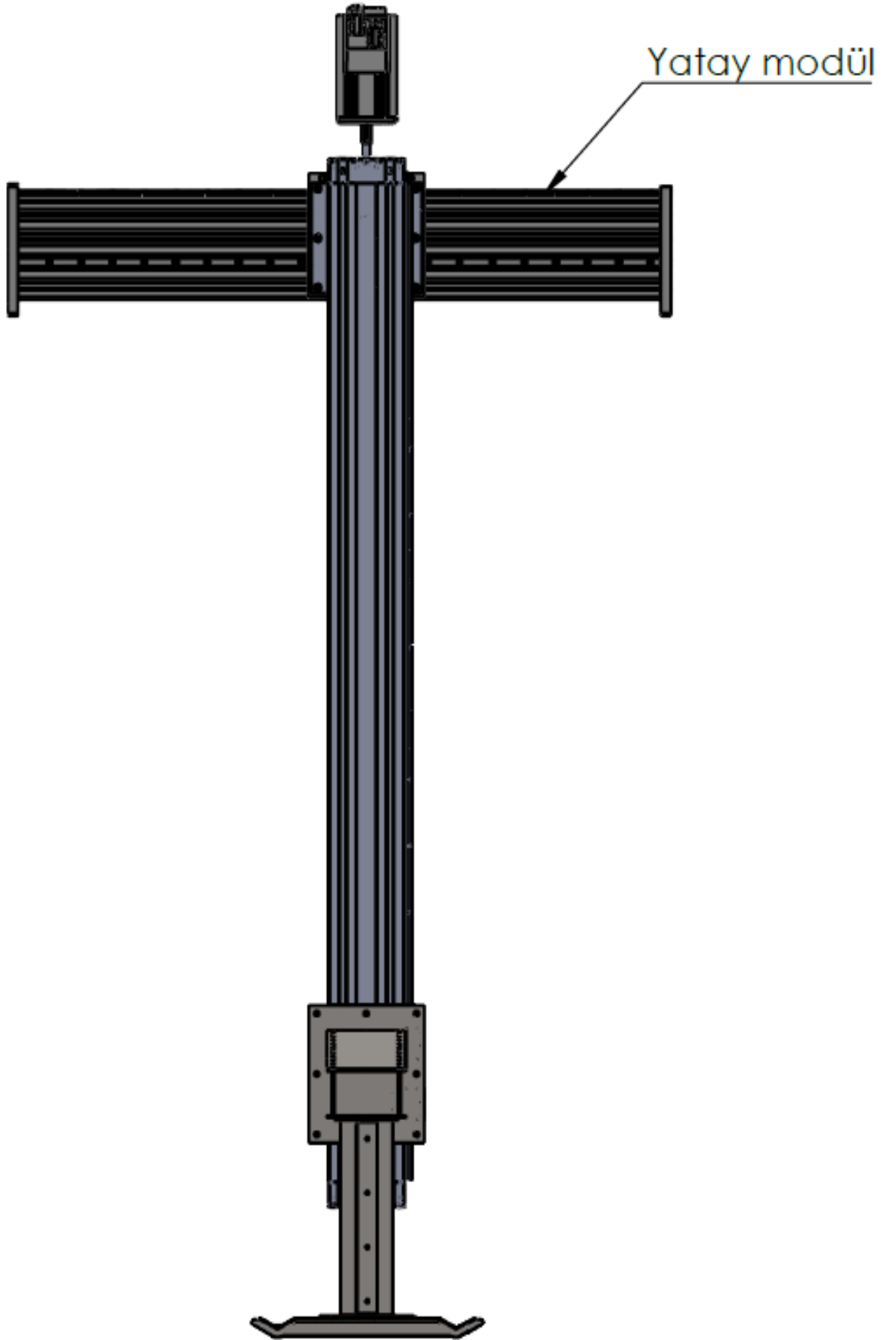
Yağ sıyırma diskleri yıkama ve durulama sıvısı üzerindeki yağı kazandan uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır.

5.2.2 Robot kol

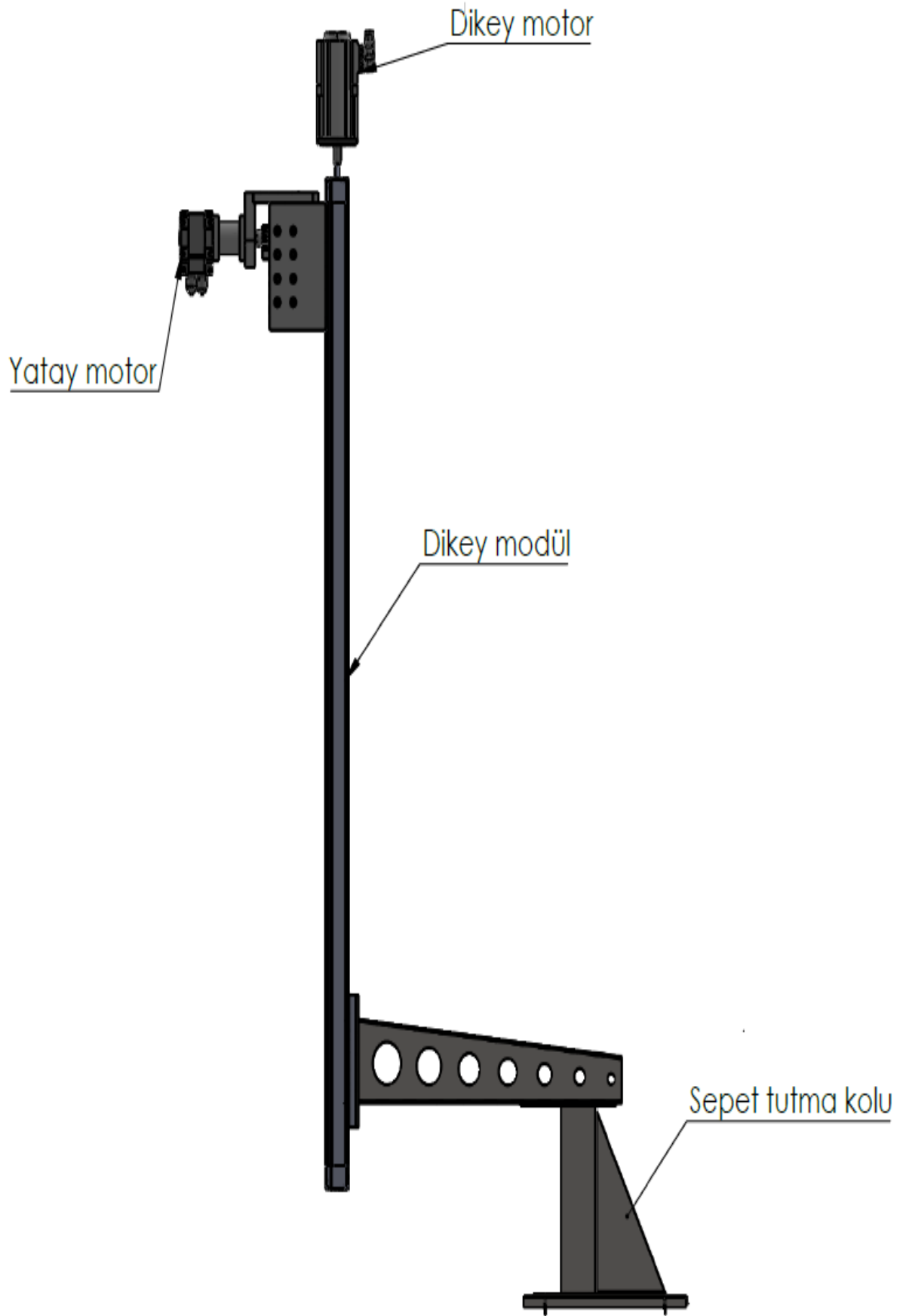
2 eksenli robot işlemlerini gerçekleştiren robot bir adet dikey modül ve bir adet yatay modülden oluşmaktadır. Dikey modül vidalı mil iken, yatay modül ise kremayer dişli şeklindedir. Her iki modül de birer servo motor ile tahrik edilmektedir. Robot kola ait çizimler ise Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te görülebilir.



Şekil 5.12 : Robot kola ait genel görünüm.



Şekil 5.13 : Robot kola ait önden görünüm.



Şekil 5.14 : Robot kola ait yandan görünüm.

5.2.3 Servo motorlar

Sistemde robot kol mekanizmasında Lenze marka iki adet servo motor kullanılmıştır.

Bu motorlara ait değerler ise şöyledir;

Çizelge 5.1 : Servo motorlara ait nominal değerler.

	Yatay Modül Servo Motoru	Dikey Modül Servo Motoru
Güç [kw]	0.25	0.55
Devir [rpm]	4050	2840
Tork [Nm]	0.8	5.5
Gerilim [V]	225	225
Akım [A]	1.3	1.5
Frekans [Hz]	270	270
Atalet momenti [kg.cm ²]	0.14	4.0
Geribesleme	Resolver	Resolver

Söz konusu motorların seçimleri için yapılan hesaplamalar devam eden bölümlerde anlatılmıştır.

5.2.3.1 Dikey modül servo motoru

Dikey modül olarak trapez somunlu vidalı mil sistemi kullanılmıştır [21].

Vidalı mil çapı $d_2 = 20$ mm,

Vida adımı $h = 5$ mm,

Vida verimi $\eta = 0.9$,

Vidalı milin atalet momenti $J_S = 29.1 \cdot 10^{-7}$ kg·m²,

Vidalı milin taşıyacağı toplam yük $m_{max} = 250$ kg,

Vidalı mil hareket mesafesi maksimum $x_{max} = 1350$ mm,

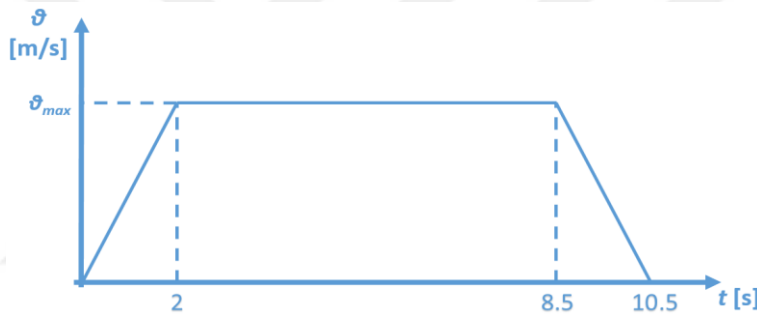
Vidalı mil maksimum hız değeri $\vartheta_{max} = 0.13$ m/sn olarak seçilmiştir. Buna göre;

Vidalı milin maksimum yolu alacağı süre denklem 5.3'e göre hesaplanır [12] ve denklem 5.4'teki gibi elde edilir.

$$t_{min} = \frac{x_{max}}{\vartheta_{max}} \quad (5.3)$$

$$t_{min} = \frac{1.350}{0.13} = 10.385 \text{ sn} \quad (5.4)$$

Dolayısıyla vidalı mil hareketini en kısa t_{min} sürede gerçekleştirebilir. Bu süre göz önüne alınarak vidalı milin maksimum hıza ulaşması için ve maksimum hızdan duruşa geçmesi için geçecek süreler 2 sn olmak üzere ve maksimum hızda 6.5 sn yol alacağı şeklinde trapezoidal bir hareket profili oluşturulabilir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Dikey modül hareket profili.

Vidalı milin maximum hızı n_{max} d/dk cinsinden denklem 5.5'e göre hesaplanır [12] ve denklem 5.6'daki gibi elde edilir.

$$n_{max} = \frac{60 \cdot \vartheta_{max}}{h} \quad (5.5)$$

$$n_{max} = \frac{60 \cdot 0.13}{0.005} = 1560 \text{ d/dk} \quad (5.6)$$

Buna göre seçilecek motor devri en az 1560 d/dk olmalıdır.

Ayrıca maksimum açısal hız ω_{max} denklem 5.7'den hesaplanır [12] ve denklem 5.8'deki gibi elde edilir.

$$\omega_{max} = \frac{n_{max}}{60} \cdot 2\pi \quad (5.7)$$

$$\omega_{max} = \frac{1560}{60} \cdot 2\pi = 163.363 \text{ rad/sn} \quad (5.8)$$

Vidalı milin taşıyacağı toplam yük maksimum $m_{max} = 250$ kg 'dır. Toplam yükün vidalı mile indirgenmiş atalet momenti J_L olmak üzere vidalı milin toplam atalet momenti J_T

denklem 5.9 ve 5.10'a göre hesaplanır [12] ve denklem 5.11 ve 5.12'deki gibi elde edilir.

$$J_T = J_S + J_L \quad (5.9)$$

$$J_T = J_S + m \cdot \left(\frac{h}{2 \cdot \pi}\right)^2 \quad (5.10)$$

$$J_T = 29.1 \cdot 10^{-7} + 250 \cdot \left(\frac{0.005}{2 \cdot \pi}\right)^2 \quad (5.11)$$

$$J_T = 1.612 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (5.12)$$

T_J yük ataletini yenmek için gereken tork değerini, T_F sürtünme kuvvetini yenmek için gereken tork değerini, T_G ise yerçekimi ivmesini yenmek için gereken tork değerini, α açısal ivmeyi, θ yükün yerle yaptığı açıyı ve μ vidalı milin sürtünme katsayısını göstermek üzere, maksimum yükü kaldırmak için motor milinde gereken tork değeri T_A , denklem 5.13 ve 5.14'e göre hesaplanır [12] ve denklem 5.15 ve 5.16'daki gibi elde edilir.

$$T_A = T_J + T_F + T_G \quad (5.13)$$

$$T_A = J_T \cdot \alpha + \frac{m \cdot g \cdot h \cdot \mu \cdot \cos \theta}{2 \pi \cdot \eta} + \frac{m \cdot g \cdot h \cdot \sin \theta}{2 \pi \cdot \eta} \quad (5.14)$$

$$T_A = 1.612 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0.13}{2} \cdot \frac{2 \pi}{0.005} + \frac{250 \cdot 9.81 \cdot 0.005 \cdot \mu \cdot \cos 90}{2 \pi \cdot 0.9} + \frac{250 \cdot 9.81 \cdot 0.005 \cdot \sin 90}{2 \pi \cdot 0.9} \quad (5.15)$$

$$T_A = 2.181 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.16)$$

Motor milinde gereken tork değeri de bulunduktan sonra en son olarak maksimum motor gücü P_{max} denklem 5.17'ye göre hesaplanır [12] ve denklem 5.18 ve 5.19'daki gibi elde edilir.

$$P_{max} = T_A \times \omega_{max} \quad (5.17)$$

$$P_{max} = 2.181 \times 163.363 \quad (5.18)$$

$$P_{max} = 0.356 \text{ kW} \quad (5.19)$$

Yapılan hesaplamalara göre Çizelge 5.1'deki motor gerekli maksimum değerleri sağladığı için dikey modülde kullanılmıştır.

5.2.3.2 Yatay modül servo motoru

Yatay modül olarak pinyon dişli – arabalı kremayer sistemi kullanılmıştır [22].

Arabanın bir turda aldığı yol (hatve) $h = 138.16 \text{ mm}$,

Dişli adımı $p = 6.28 \text{ mm}$,

Yatay modül maksimum hareket mesafesi $x_{max} = 8600 \text{ mm}$,

Yatay modülün taşıyacağı toplam yük $m_{max} = 300$ kg,

Yatay modülün maksimum hızı $v_{max} = 860$ mm/sn olarak seçilmiştir. Buna göre;

Pinyon dişlinin yarıçapı denklem 5.20'den hesaplanır [12] ve denklem 5.21'deki gibi elde edilir.

$$r = \frac{h}{2\pi} \quad (5.20)$$

$$r = \frac{138.16}{2\pi} = 22 \text{ mm} \quad (5.21)$$

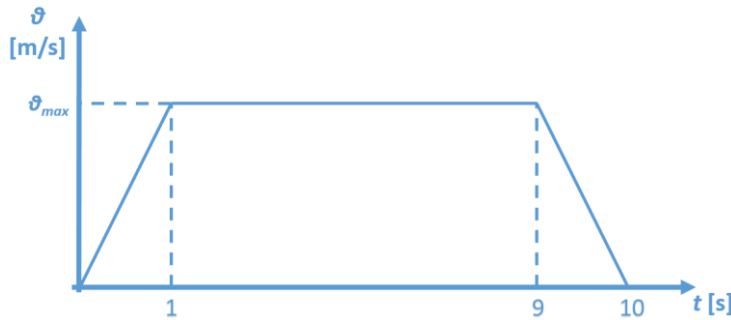
Arabalı sistemin maksimum hıza ulaşması için pinyon dişlinin dönmesi gereken devir sayısı n_{max} d/dk cinsinden denklem 5.5'e göre bulunur [12] ve denklem 5.22'deki gibi elde edilir.

$$n_{max} = \frac{60 \cdot (860)}{138.16} = 373.48 \text{ d/dk} \quad (5.22)$$

Sistemin açısal hızı ise denklem 5.7'den hesaplanarak denklem 5.23'teki gibi elde edilir [12].

$$\omega_{max} = \frac{373.48}{60} \cdot 2\pi = 39.11 \text{ rad/sn} \quad (5.23)$$

Arabalı sistemin maksimum mesafeye gitme süresi $t = 10$ sn olarak ve. maksimum hıza ulaşması için geçen süre ile maksimum hızda iken tamamen durması için geçen süre ise 1 sn olacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre hareket profili Şekil 5.16'da gösterildiği gibi oluşturulur.



Şekil 5.16 : Yatay modül hareket profili.

Arabalı sistemin maksimum hıza 1 saniyede ulaşması için sahip olması gereken ivme ise denklem 5.24'e göre belirlenir [12] ve denklem 5.25'teki gibi elde edilir.

$$a = \frac{v_{max}}{t} \quad (5.24)$$

$$a = \frac{860}{1 \cdot 1000} = 0.86 \text{ m/s}^2 \quad (5.25)$$

Arabalı sistemin maksimum hıza çıkabilmesi için gereken kuvvet ise denklem 5.26'dan hesaplanır [12] ve denklem 5.27'deki gibi elde edilir.

$$F = m \cdot a \quad (5.26)$$

$$F = 300 \cdot 0.86 = 258 \text{ N} \quad (5.27)$$

Arabalı sistemin maksimum hıza çıkabilmesi için gereken tork değeri ise denklem 5.28'e göre hesaplanır [12] ve denklem 5.29'daki gibi elde edilir.

$$T = F \cdot r \quad (5.28)$$

$$T = 258 \cdot \frac{22}{1000} = 5.676 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.29)$$

Yatay modül motoru için gereken maksimum güç denklem 5.17'den hesaplanır [12] ve denklem 5.30'daki gibi elde edilir.

$$P_{max} = 5.676 \times 39.11 = 0.222 \text{ kW} \quad (5.30)$$

Hesaplanan değerlere göre, n_{max} değerinin servo motorlar için çok küçük olduğu görülmektedir. Bu sebepten motor ucuna 1:10 oranında bir redüktör takılarak seçilecek motorun hızı 10 katına çıkarılır ve hem uygun hıza sahip motor bulunabilir hem de motordan alınacak tork değeri 10'da birine düşürülerek daha uygun bir motor bulma imkanı artar. Buna göre yapılan motor seçimi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

5.2.4 Pistonlar

Sistemde kazan kapaklarının açılıp kapanması için SMC marka pistonlar kullanılmıştır. Piston seçimleri tepki süresine ve strok mesafesine göre yapılmıştır. 8. kazan hariç tüm kazanlarda ikişer kapak olduğu için her kapağa birer adet kullanılmıştır. 8. kazanda ise tek adet kullanılmıştır.

5.2.5 Yıkama sepetleri

Makinede yıkanacak malzemeler yıkama sepetleri içerisine koyularak yıkanır. Hydra Ultrasonik firması tarafından tasarımı yapılan ve Şekil 5.17'de görülebilecek sepetler bir seferde en çok 200 kg taşıyabilecek şekilde tasarlanmışlardır.



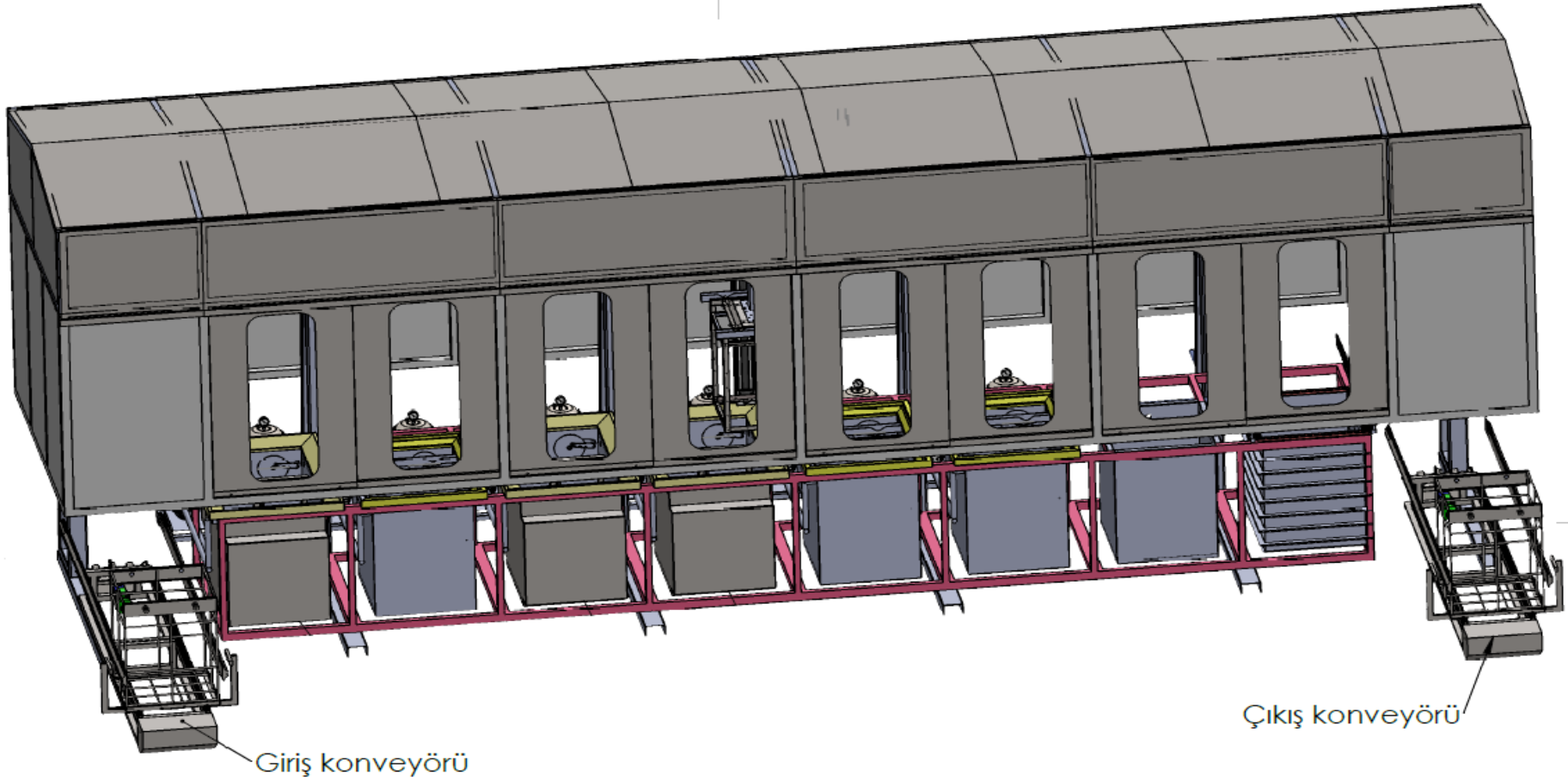
Şekil 5.17 : Yıkama sepeti genel görünümü.

5.2.6 Giriş konveyörü

Giriş konveyörü makineye alınacak sepetlerin yüklendiği konveyördür. Harici bir manuel vinç yardımıyla bu konveyöre koyulan sepetler konveyör üzerinde sepet alma bölgesine ilerletilirler ve makinenin durumuna göre bu sepetler makineye kabul edilerek içerisindeki malzemelerin yıkanması sağlanır. Hydra Ultrasonik firması tarafından tasarımı yapılan bu konveyörün çizimi Şekil 5.18’de görülebilir.

5.2.7 Çıkış konveyörü

Çıkış konveyörü, yıkama işlemi biten sepetlerin makineden dışarıya aktarıldığı konveyördür. Robot kol tarafından sepet bırakma bölgesine iletilen sepetler bu konveyörün çalışması ile makinenin dışına taşınırlar. En son noktaya gelen konveyörler yine bir manuel vinç yardımıyla makineden alınırlar. Hydra Ultrasonik tarafından tasarımı yapılan bu konveyörün çizimi Şekil 5.18’de görülmektedir.



Şekil 5.18 : Makine genel görünümü.

5.3 Elektriki Tasarım

5.3.1 PLC (Programlanabilir lojik kontrolör)

Sistemde kullanılan kontrolcü Lenze c300 serisi PLC'dir. Kontrolör tabanlı otomasyona uygunluğu, dahili EtherCAT haberleşme kartı, sistemde yalnızca iki adet servomotor kullanılmasından dolayı çok düşük çevrim süresine sahip bir kontrolcüye ihtiyaç olmaması ve bunların yanında düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmiştir. Lenze c300 PLC'nin diğer özellikleri ise şu şekilde sıralanabilir;

1. Dahili UPS ve değiştirilebilir hafıza kartı özellikleri,
2. Dahili USB yuvası ile kolay setup ve veri yedekleme imkanı,
3. Genişletilebilir IO seçeneği,
4. CoDeSys temelli programlamaya uygunluk.

5.3.2 Giriş ve çıkış modülleri

Bir otomasyon sisteminde bulunması gereken diğer elemanlar ise kontrolcüye sahadan sensör, anahtar gibi sinyalleri giriş olarak taşıyacak modüller ile kontrolcünün röleler, kontaktörler gibi elemanlar için sahaya göndereceği sinyalleri aktaracak çıkış modülleridir. Bu teze konu olan makine için şu giriş ve çıkış modülleri kullanılmıştır;

Dijital giriş modülleri:

Dijital giriş modülü olarak 15 adet 8 kanallı Lenze EPM-S202 serisi modüller kullanılmıştır. Bu modüllerin sahadan topladığı sinyaller şöyle sıralanabilir;

1. Butonlar,
2. Sigorta yardımcı kontakları,
3. Termal röle kontakları,
4. Faz sırası sensörü,
5. Acil stop rölesi,
6. Referanslama (homing) sensörleri,
7. Sıvı seviyesi sensörleri,
8. Kapak pistonları manyetik sensörleri,

9. Limit anahtarları.

Dijital çıkış modülleri:

Dijital çıkış modülü olarak 8 adet 8 kanallı Lenze EPM-S302 serisi modüller kullanılmıştır. Bu modüllerin sahaya açma kapama sinyali gönderdiği elemanlar ise şöyle sıralanabilir;

1. Isıtıcı kontaktörleri,
2. Ultrasonik eleman kontaktörleri
3. Filtrasyon pompası kontaktörleri,
4. Yağ sıyrma pompası kontaktörleri,
5. Yağ sıyrma diski kontaktörleri,
6. Vakum pompası kontaktörleri,
7. Buhar emiş fanı kontaktörü,
8. Konveyör motoru kontaktörleri,
9. Dolum valfleri röleleri,
10. Kapak pistonları röleleri,
11. Vakum valfi rölesi,
12. Lamba ve korna röleleri.

Analog giriş modülleri:

Analog giriş modülü olarak 2 adet 4 kanallı Lenze EPM-S404 serisi modüller kullanılmıştır. Bu modüllerin sahadan aldığı sinyaller ise her kazanda bulunan PT100 sensörlerinden aldıkları sıcaklık değerleridir.

5.3.3 Sürücüler

Sistemde Lenze i700 serisi çift eksenli bir adet servo sürücü kullanılmıştır. Dahili programlamaya ihtiyaç duymadan tamamen kontrolcü üzerinden programlanabilir yapısı sayesinde kontrolör tabanlı otomasyona uygunluğu, aynı anda iki eksen sürebilen kompakt tasarımı, EtherCAT haberleşme özelliği ve uygun maliyeti nedeniyle tercih edilmiştir.

5.3.4 HMI paneli

Kullanıcının çalışma reçetesini oluşturabilmesi, makinenin durumunu ve çalışma değerlerini anlık olarak gözlemleyebilmesi gibi amaçlar için bir adet Lenze p300 serisi HMI paneli kullanılmıştır. Kontrolcü ile Ethernet TCP/IP protokolü üzerinden haberleşebilme imkanı ve düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmiştir. Ayrıca yine PLC’de olduğu gibi bir hafıza kartı bulundurmaktadır ve herhangi bir arıza durumunda sadece bu hafıza kartının yeni ürüne takılması ile arıza nedeniyle oluşabilecek duruş sürelerini en aza indirmeyi mümkün kılmaktadır.

5.3.5 Güç kaynakları

Sistemde kullanılan i700 serisi sürücünün kompakt tasarımı, yan yana birden fazla sürücünün aynı DC bara üzerinden beslenebilmesine, böylece sistemde oluşabilecek rejeneratif enerjinin diğer sürücüler tarafından kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bunun yanında kablolama ve her bir sürücü için ayrı ayrı koruma elemanı kullanma zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenlerle i700 serisi sürücüler tek bir güç kaynağı üzerinden beslenmektedir. Bu güç kaynağı 3 – fazlı 380 Volt AC gerilimi 3 – fazlı 565 Volt DC gerilime çevirmektedir.

Sistemde kullanılan bir başka güç kaynağı ise 1 – fazlı 220 Volt AC gerilimi 1 – fazlı 24 Volt DC gerilime çeviren güç kaynağıdır. Bu güç kaynağı ise, endüstriyel sistemlerde en çok kullanılan kontrol sinyali standardı olan 24 Volt DC gerilim ile çalışan cihazlar için kullanılmıştır.

5.3.6 Şalt malzemeler

Şalt malzemeler, sistemde kullanılan koruma ve kumanda elemanlarının tümünü kapsamaktadır. Koruma elemanları olarak şu elemanlar kullanılmıştır;

1. Makinenin ana güç girişinin kumandası için kullanılan ana şalter,
2. Makineye gelen 3 – fazlı AC gerilimin fazlarını denetleyen ve herhangi birinde cihazlara zarar verebilecek bir gerilim düşüşü olduğunda çıkış vererek gerekli tedbirin alınmasına olanak tanıyan faz sırası rölesi,
3. Cihazlardan aşırı akım geçmesini engellemek üzere kullanılan sigortalar,
4. Motorların aşırı akım çekmesi durumunda otomatik olarak devreyi kesen termal ve manyetik denetleme yapan motor koruma röleleri,

5. Acil stop butonu kontaklarını sürekli olarak denetleyen ve acil stop butonuna basıldığında çıkışını kesen acil stop rölesi.

Kumanda elemanı olarak kullanılan elemanlar ise şöyledir;

1. Otomatik operasyona başlamak için kullanılan “Start” butonu,
2. “Duraksatma Modu”na geçmek için kullanılan “Pause” butonu,
3. Makinede oluşan hataları sıfırlamak için kullanılan “Reset” butonu,
4. “Homing Modu”nu çalıştırmak için kullanılan “Home” butonu,
5. Acil stop rölesini kurmak için kullanılan “Safety OK” butonu,
6. Acil duruş için kullanılan “Acil Stop” butonları,
7. Sıvı seviyesi kontrol röleleri,
8. Valflerin kumandası için kullanılan röleler,
9. Isıtıcılar, ultrasonik elemanlar, pompa ve disk motorlarının kumandası için kullanılan kontaktörler,
10. Makinenin durumunu bildirmek için kullanılan üç renkli lamba ve korna.

Koruma ve kumanda elemanlarına ek olarak ayrıca, makine içi aydınlatması ve elektrik panosu aydınlatması için lambalar, bir adet pano prizi, ve pano içi soğutma olarak bir adet pano fanı kullanılmıştır.

5.3.7 Sensörler

Tasarımı yapılan sistemde kullanılan dijital ve analog sensörler bu başlık altında ele alınmıştır.

5.3.7.1 Yaklaşım sensörleri

Makinede motorları referanslamak üzere birer adet yaklaşım sensörü kullanılmıştır.

5.3.7.2 Manyetik piston sensörleri

Kapak pistonlarında kapağın durumunu gözlemlemek üzere kullanılmışlardır. Her piston için birer adet kullanılmışlardır. Kapağın kapalı olması durumunda kazana sepet indirmek büyük risk teşkil edeceği için bu sensörlerden bilgi alınmıyorsa kapaklar kapalı (NK, yani normalde kapalı kontak) olarak değerlendirilmiştir. Buna göre sensör arızası veya kablo kopması gibi durumlarda sensör bilgisi alınamayacağı için, kapak

açık bile olsa kapalı gibi değerlendirilerek olası bir makineye zarar verme durumu bertaraf edilmiş olmaktadır.

5.3.7.3 Kapı anahtar sensörleri

Kapı anahtar sensörleri genelde limit anahtarı olarak kullanılan elemanlardır. Makinede servo motorların pozitif ve negatif pozisyon limitlerini belirlemek ve giriş ve çıkış konveyöründe limit değerlerini işaretlemek üzere kullanılmışlardır. Manyetik piston sensörlerine benzer şekilde NK, yani normalde kapalı kontak olarak kullanılmışlardır. Buna göre herhangi bir sensör arızası veya kablo kopması gibi durumlarda açık kontak olarak görülerek olası güvenlik zaafiyetlerinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

5.3.7.4 PT100 sensörleri

PT100 sensörleri, kazanların anlık sıcaklık değerlerini okumak üzere kullanılmışlardır.

5.4 Haberleşme Sistemi

Sistemde kontrolör ile HMI paneli arasında Ethernet haberleşmesi ve kontrolcü ile sürücüler arasında ise EtherCAT haberleşmesi kullanılmıştır.

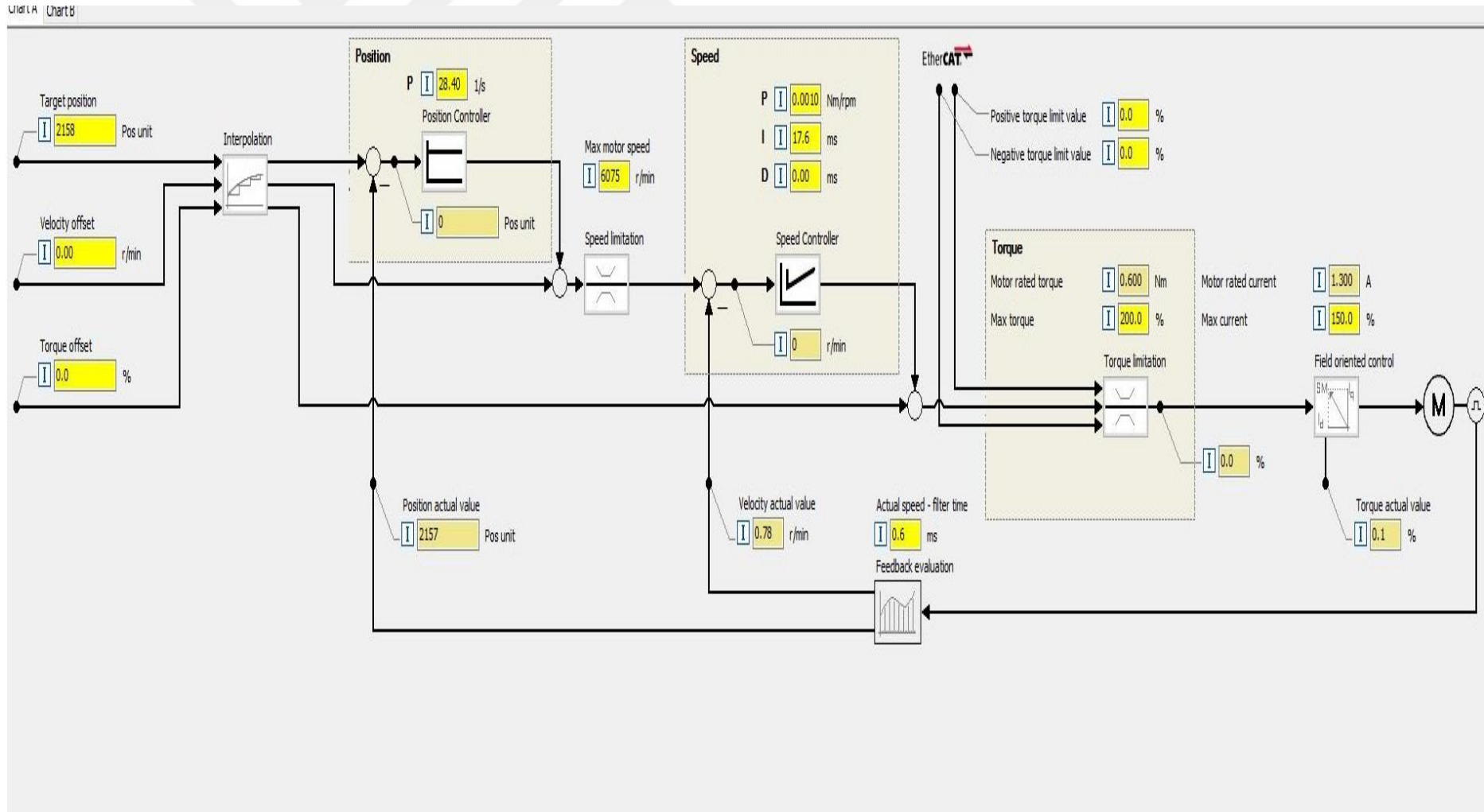
5.5 Kontrol Tasarımı

Tasarımı yapılan makinenin otomasyonunu gerçekleştirebilmek için gereken temel kontrol aksiyonları bu bölümde tanıtılmıştır.

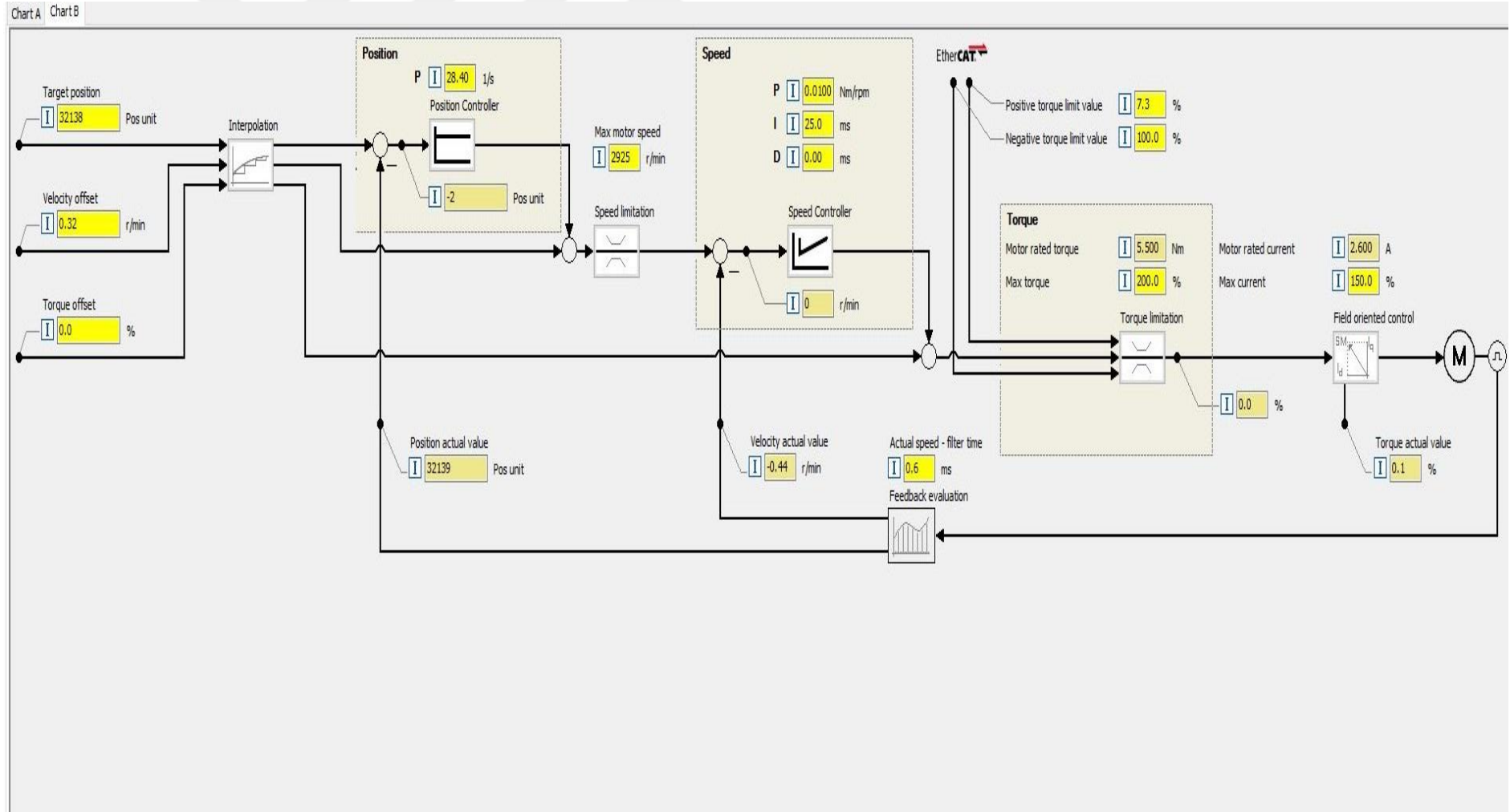
5.5.1 Servo motor kontrolü

Sürücünün sürdüğü servo motorların kontrolü pozisyon ve hız kontrolü olarak ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Hız kontrolü PID yöntemiyle gerçekleştirilirken, pozisyon kontrolü ise sadece P kontrol yöntemiyle yapılmaktadır.

Her iki motor için hız ve pozisyon kontrolü parametreleri sırasıyla Şekil 5.19'da ve 5.20'de görülmektedir.



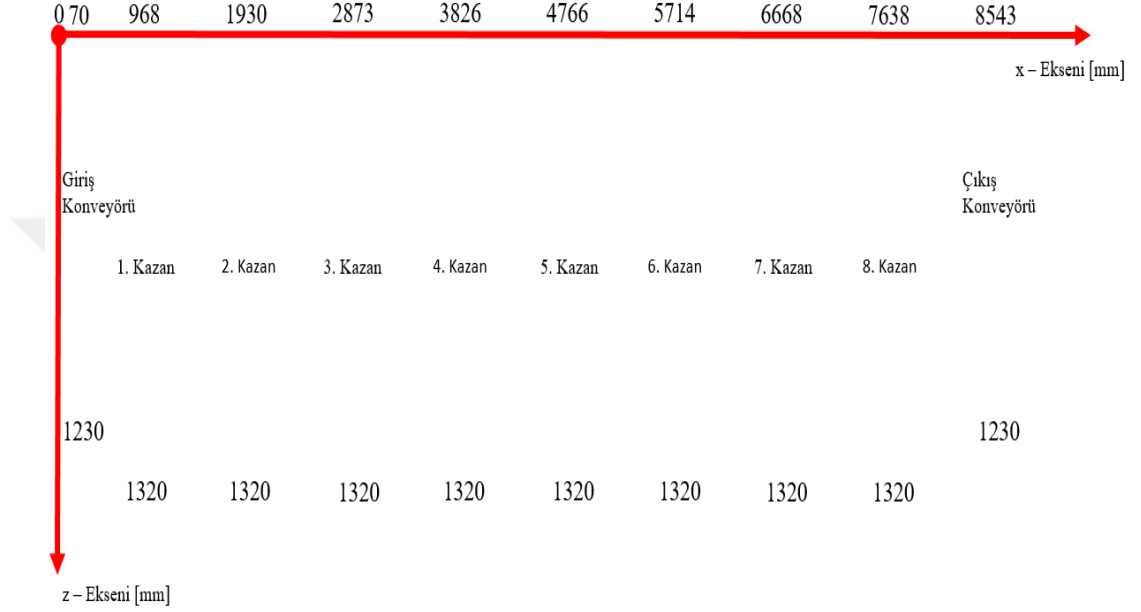
Şekil 5.19 : x – eksen motorunun kontrol parametreleri.



Şekil 5.20 : z – eksen motorunun kontrol parametreleri.

5.5.2 Robot kontrolü

Makinedeki robot kontrolü dana önce anlatılan 2 eksenli robot işlemlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Buna göre, robot kontrolünün temelinde z – eksen ve y – ekseninde gerçekleştirilen “mutlak pozisyonlama” işlemleri bulunmaktadır. 2 eksenli robotun işlemlerini gerçekleştirdiği tüm koordinatlar ise Şekil 5.21’de gösterilmiştir.

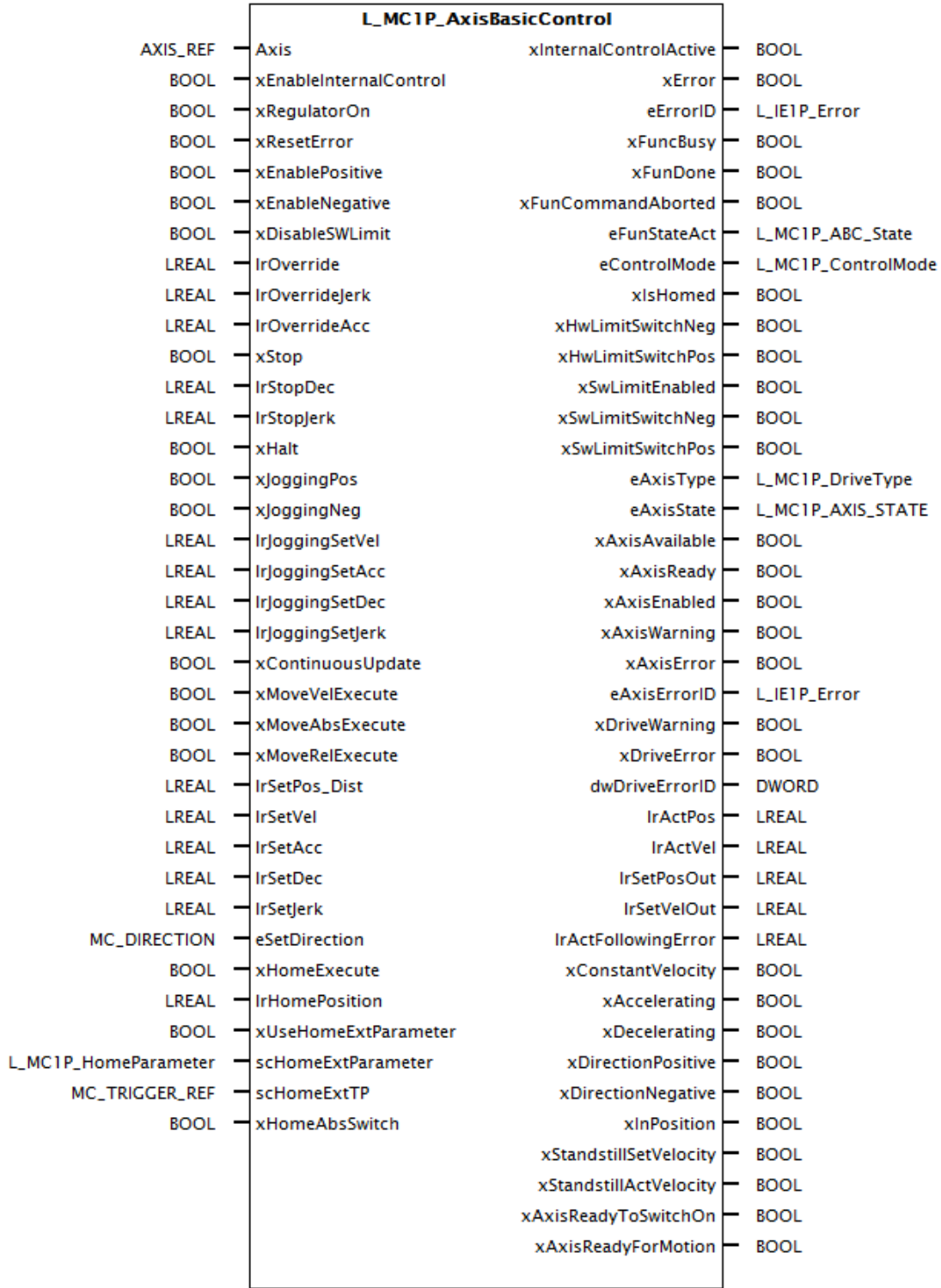


Şekil 5.21 : 2 eksenli robotun makine üzerindeki hareket koordinatları.

Bir sepet işlemi sırasında robotun istenilen koordinata getirilmesi için pozisyonlama işlemleri ise, her zaman öncelikli olarak z – ekseninin “0” pozisyonunda olmasına bakılarak ve x – ekseninde pozisyonlama yapılarak başlar. x – eksenindeki pozisyonlama ardından z – eksenini aşağı iner. Dolayısıyla her bir eksenindeki pozisyonlama sırasında diğer eksen çalışmamaktadır. Tasarımın bu şekilde yapılmasının sebebi ise pozisyonlama işlemi sırasında olası bir çarpışma ihtimalini minimuma indirmektir.

Her iki eksene ait tüm işlemler ise PLC Designer yazılımı içerisinde yer alan ve PLCOpen¹ bloklarından oluşturulmuş Şekil 5.22’de görülen L_MC1P_AxisBasicControl fonksiyon bloğu ile gerçekleştirilmektedir.

¹ PLCOpen, endüstriyel otomasyonda kullanıcıların ihtiyaçlarına göre verimlilik sağlayan bağımsız bir kuruluştur.[23]



Şekil 5.22 : L_MC1P_AxisBasicControl fonksiyon bloğu [13].

Her iki eksen de gerçekleştirilen tüm işlemler şöyledir;

1. Eksenin aktif hale hale getirilmesi (xRegulatorOn),
2. Eksendeki hatanın silinmesi (xResetError),

3. Eksenin çalışma esnasında durdurulması (xStop),
4. Eksene her iki yönde manuel hareket verilmesi (xJoggingPos, xJoggingNeg),
5. Eksenin mutlak (absolute) pozisyonlanması (xMoveAbsExecute),
6. Eksenin pozisyonlama esnasında duraksatılması (xHalt),
7. Eksenin referanslanması (xHomeExecute).

5.5.3 Sıcaklık kontrolü

Makinede etkin bir temizliğin sağlanabilmesi için temizlik sıvılarının sıcaklıklarının kontrolü çok önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden sıcaklık kontrolü yine PLC ile gerçekleştirilmektedir. Her kazanda bulunan PT100 sıcaklık sensörleri ile okunan anlık sıcaklık değerleri belirlenen koşullara göre değerlendirilerek, yine her kazanda bulunan ısıtıcılar ile ON – OFF kontrol yöntemine göre kontrol edilmektedir. Sıcaklık kontrolü için yazılan kodlar Şekil A.6’da sunulmuştur.

Her bir kazan için geçerli ON – OFF kontrol şartları ise şöyledir;

1. Acil stop rölesinin kurulu olması gerekmektedir.
2. 8. kazan hariç her kazandaki en alt sıvı seviyesi sensörünün aktif olması, yani her kazanda sıvı bulunması koşulu aranır. Aksi takdirde ısıtıcıların kazanları boş olarak ısıtmaları yangın riski oluşturmaktadır. 8. kazan için ise, bu kazanın vakumlama kazanı olması ve bu nedenle içerisinde sıvı bulunmamasından dolayı sadece kazanın kapağının kapalı olması şartına bakılmaktadır.
3. Otomatik çalışmaya başlayabilmek için “Reçete” ekranından çalışılmak istenen reçetenin seçilmesi ve “Ana Sayfa” ekranından “Otomatik” butonunun aktif olması koşulu aranır.
4. Reçete içerisinde ilgili kazanın ve “Ünite Seçimleri” ekranında da ısıtıcı ünitesinin seçili olması koşulu aranır.
5. Son olarak ise PT100 sensör üzerinden okunan anlık sıcaklık değerinin reçetede set edilen sıcaklık değerinden 2 °C’den daha küçük olması durumunda ısıtıcı çalışmaya başlar ve anlık sıcaklık değeri set edilen sıcaklık değerine ulaştığı anda ısıtıcı çalışması durdurulur.

Tüm bu çalışma koşulları dışında ise ayrıca sıcaklık çalışma toleransları tanımlanmıştır. Buna göre;

1. Düşük sıcaklık alarmı: Anlık sıcaklık değerinin, sıcaklık set değerinden belirlenen çalışma toleransı kadar aşağıda olması durumunda “Düşük Sıcaklık” alarmı tanımlanır.
2. Yüksek sıcaklık alarmı: Anlık sıcaklık değerinin, sıcaklık set değerinden belirlenen çalışma toleransı kadar yukarıda olması durumunda “Yüksek Sıcaklık” alarmı tanımlanır.

Herhangi bir kazanda “Düşük Sıcaklık” veya “Yüksek Sıcaklık” alarmı oluşması durumunda “Otomatik” operasyondan çıkılmaz, fakat makine “Pause” moduna alınarak makinenin istenilen sıcaklık değerlerine ulaşması beklenir. İstenilen değere ulaşıldıktan sonra operasyona kaldığı yerden devam edilebilir. Sıcaklık toleransları için yazılan kodlar Şekil A.7’de sunulmuştur.

5.5.4 Sıvı seviyesi kontrolü

Makinede daha önce de değinildiği gibi 8. kazan hariç tüm kazanlarda temizlik sıvısı bulunmaktadır. Bu temizlik sıvısı çalışma esnasında taşımayla ve buharlaşmayla azalabilmektedir. Bunun yanında makinenin haftalık rutin temizliği sırasında ise tamamen değiştirilmektedir. Bu sebeplerle temizlik sıvısının kazanlara otomatik olarak doldurulması ve yeterli sıvı seviyesi olmaması durumunda makineye zarar vermemek ve etkin temizliğin her zaman standart olarak sağlanabilmesi için sıvı seviyesi kontrolünün sürekli aktif olması gerekmektedir. Buna göre sıvı seviyesi kontrolü ana dolum valfi ve her bir kazana ait dolum valfleri ile ON – OFF kontrol yöntemine göre gerçekleştirilmektedir.

Ana dolum valfi için geçerli ON – OFF kontrol şartları şu şekildedir;

1. Acil stop rölesinin kurulu olması gerekmektedir.
2. Tüm kazanlardaki sıvı seviyesini sürekli gözlemleyen ana sıvı seviyesi sensörü pasif hale gelmişse, yani tüm kazanlardaki sıvı seviyesi dip noktaya düşmüşse, ana dolum valfi otomatik olarak açılarak tüm kazanlara sıvı dolumu hazır hale gelir.

3. Ana sıvı seviyesi sensörü aktif hale geldikten sonra, yani tüm kazanlar istenilen sıvı seviyesine geldikten sonra ise, ana dolum valfi hemen kapatılmaz ve 1 dakika daha dolum işlemi devam ettirilerek istenilen seviyenin bir miktar üzerine çıkılması sağlanır.

Kazanlara ait valfler için geçerli ON – OFF kontrol şartları ise şu şekildedir;

Elle dolum şartları:

1. Acil stop rölesinin kurulu olması gerekmektedir.
2. Ana sayfa ekranında ilgili kazanın manuel dolum butonu aktif edilmelidir. Bu butonun pasif edilmesi durumunda dolum sonlanır.

Otomatik dolum şartları:

1. Acil stop rölesinin kurulu olması gerekmektedir.
2. “Ünite Seçimleri” ekranından ilgili kazanın otomatik dolum butonu aktif olmalıdır.
3. İlgili kazandaki en alt sıvı seviyesi sensörü pasif olmalıdır.
4. Otomatik modda çalışma başlamış olmalıdır.

Manuel ve otomatik dolumda dolumun sonlanması için ise şu şartlar sağlanmalıdır;

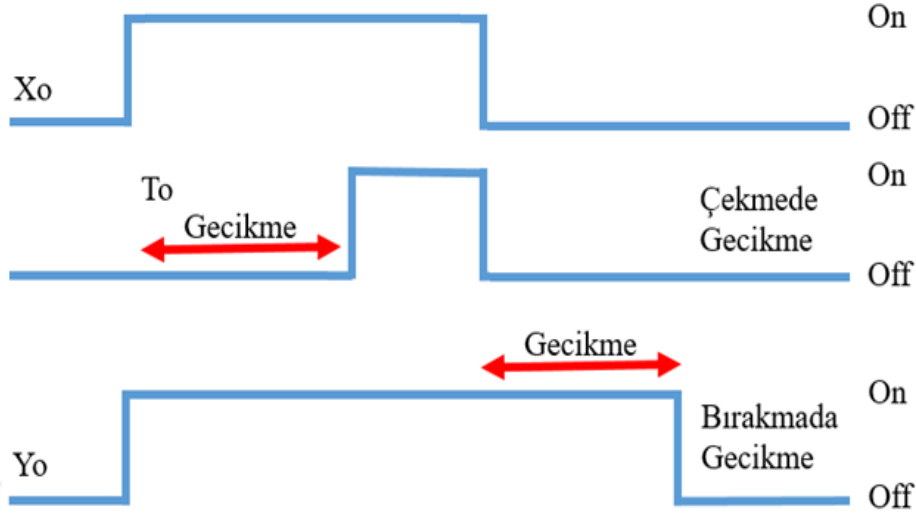
1. Manuel dolum butonu pasif hale getirilmelidir.
2. İlgili kazandaki orta sıvı seviyesi sensörünün görülmesinden sonra 2 sn geçmesi gerekir. Bunun sebebi de yine bir miktar daha doluma devam edilmesidir.
3. Ana dolum valfinin kapanmış olması da her kazandaki dolum işleminin sonlanmasını gerektirmektedir.

Kazanların dolumuna ilişkin kodlar Şekil A.8’de sunulmuştur.

5.5.5 Zaman kontrolü

Makinenin “Pause” moduna alınması durumunda, o anda aktif durumda çalışmakta olan zamanlayıcıların (timer) da durması ve tekrar çalışma durumuna devam edilmesi durumunda ise bu zamanlayıcıların da kaldıkları yerden devam etmesi istenmektedir. PLC Designer programında, çekmede gecikme (timer on) ve bırakmada gecikme (timer off) yapısında zamanlayıcılar mevcuttur (Şekil 5.23). Fakat bu zamanlayıcılarda

duraksama özelliği yoktur. Bu yüzden bu özelliği gerçekleştirebilecek birer blok geliştirilmiştir. Bu iki bloğun yazılımı ise Şekil A.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.23 : Çekmede gecikme ve bırakmada gecikme zaman diyagramları.

Makinede kullanılan tüm zamanlayıcılar için Şekil 5.24'te görülen duraksama özellikli zamanlayıcılar kullanılmıştır. Buna göre;

xEnable: Bloğu aktif etmek için kullanılan giriştir. Zamanlama süresi bitmeden kesilmesi halinde süre sıfırlanır.

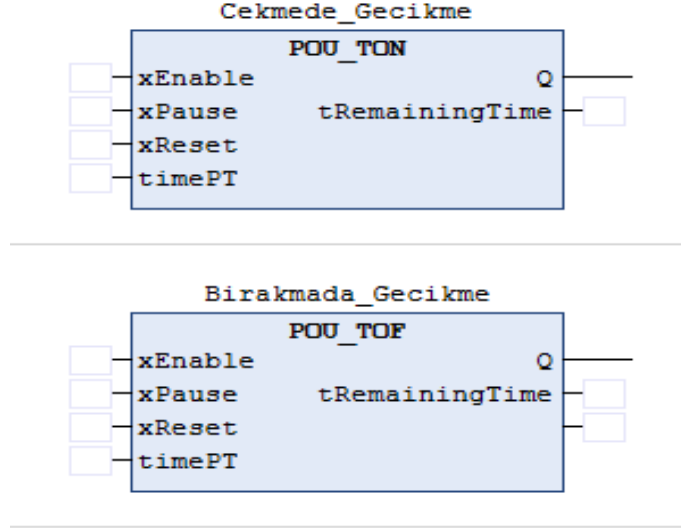
xPause: Bloğu duraksatmak için kullanılan giriştir. Yükselen kenar tetiklemeli olarak çalışır ve ilk tetiklemede süreyi duraksatırken, ikinci tetiklemede süreyi kaldığı yerden devam ettirir.

xReset: Süreyi harici olarak sıfırlamak için kullanılan giriştir.

timePT: Zamanlayıcının süresini belirleyen giriştir.

Q: Zamanlayıcının aktif hale geldiğini gösteren çıkıştır.

tRemainingTime: Zamanlayıcının kalan süresini bildiren çıkıştır.



Şekil 5.24 : Duraksama özellikli zamanlayıcılar.

5.6 Yazılım Tasarımı

Çalışma koşullarına göre mekanik ve kontrol tasarımı gerçekleştirilen sistemin otomasyonu için yapılan yazılım tasarımı bu bölümde ele alınmıştır.

5.6.1 PLC yazılımı

5.6.1.1 CoDeSys standardı

Sistemde kullanılan PLC'nin yazılımı Lenze firmasının ürettiği "PLC Designer" isimli geliştirme ortamında yapılabilmektedir. Bu geliştirme ortamı ise CoDeSys adı verilen, günümüzde bir çok firmanın ortak olarak kullanmakta olduğu çekirdek bir yazılım üzerine inşa edilmiştir.

CoDeSys, Alman yazılım şirketi 3S-Smart Software Solutions tarafından ilk olarak 1994 yılında kullanıma sunulmuş olan, bir çok farklı endüstriyel otomasyon yaklaşımını tek bir arayüzde toplayan ve kopya korumasız bir yazılım aracıdır.

CoDeSys, PLC'ler için uluslararası açık kaynak kodlu IEC 61131-3² standardını temel alır ve bu standarda ait beş yazılım dilini de destekler. Bu diller şöyledir;

1. IL (Instruction List): Komut listesi anlamına gelen bu programlama dili, temel bilgisayar programlama dili olan "assembler"a benzer [25] (Şekil 5.25).

² IEC tarafından ortak bir PLC programlama standardı olması için geliştirilmiştir.[24]

```

LD      Speed
GT      2000
JMPCN   VOLTS_OK
LD      Volts
VOLTS_OK LD      1
ST      %Q75

```

Şekil 5.25 : IL programlama dili örneği [25].

2. ST (Structured Text): Yapılandırılmış metin anlamına gelen bu programlama dili, Pascal veya C diline benzer (Şekil 5.26).



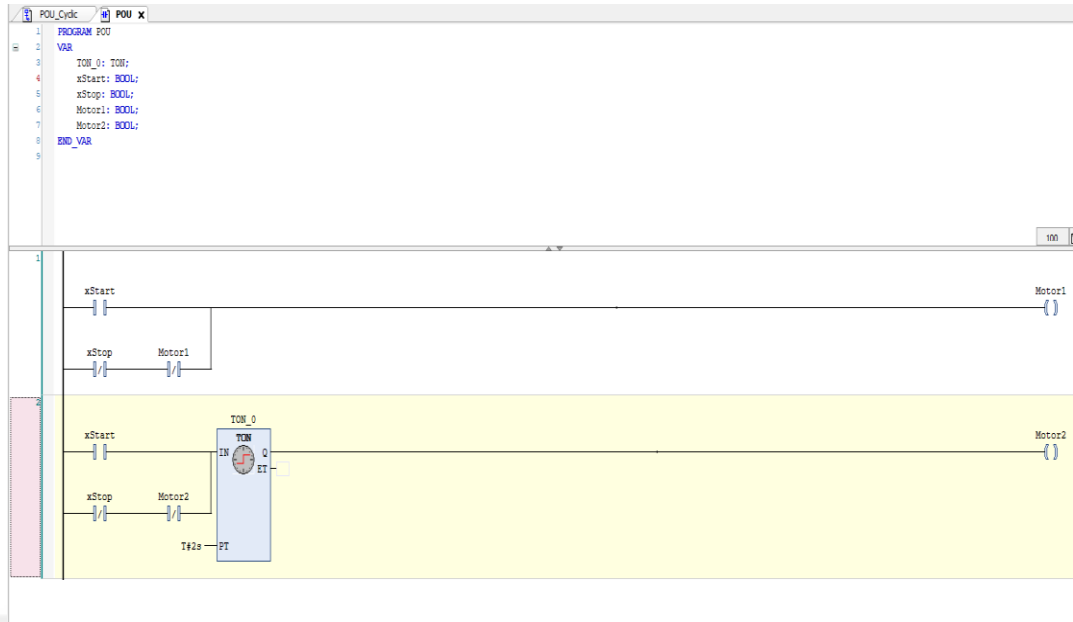
```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3
4      xEnable: BOOL;
5      xReset:  BOOL;
6      POU_TOF1: POU_TOF;
7      TONTON : POU_TON;
8      POU_TON_0: POU_TON;
9      CTU_0: CTU;
10     RS_0: RS;
11     set1: BOOL;
12     xtemp: BOOL;
13
14 IF HMI.xManual AND NOT HMI.xAutomatic AND NOT HMI.xEmptyingModeBase AND NOT HMI.xEmptyingModeFull AND NOT HMI.xHoming THEN
15     POU_Manual();
16 END_IF
17
18 POU_Covers();
19 POU_FirstCheck();
20 POU_IOS();
21 POU_Robot();
22 POU_Cyclic();
23 POU_BasketHandling();
24
25 IF NOT HMI.xManual THEN
26     POU_TankProcess();
27 END_IF
28
29 POU_FeedingConveyor();
30 POU_ExitConveyor();
31 POU_EmptyingMode();

```

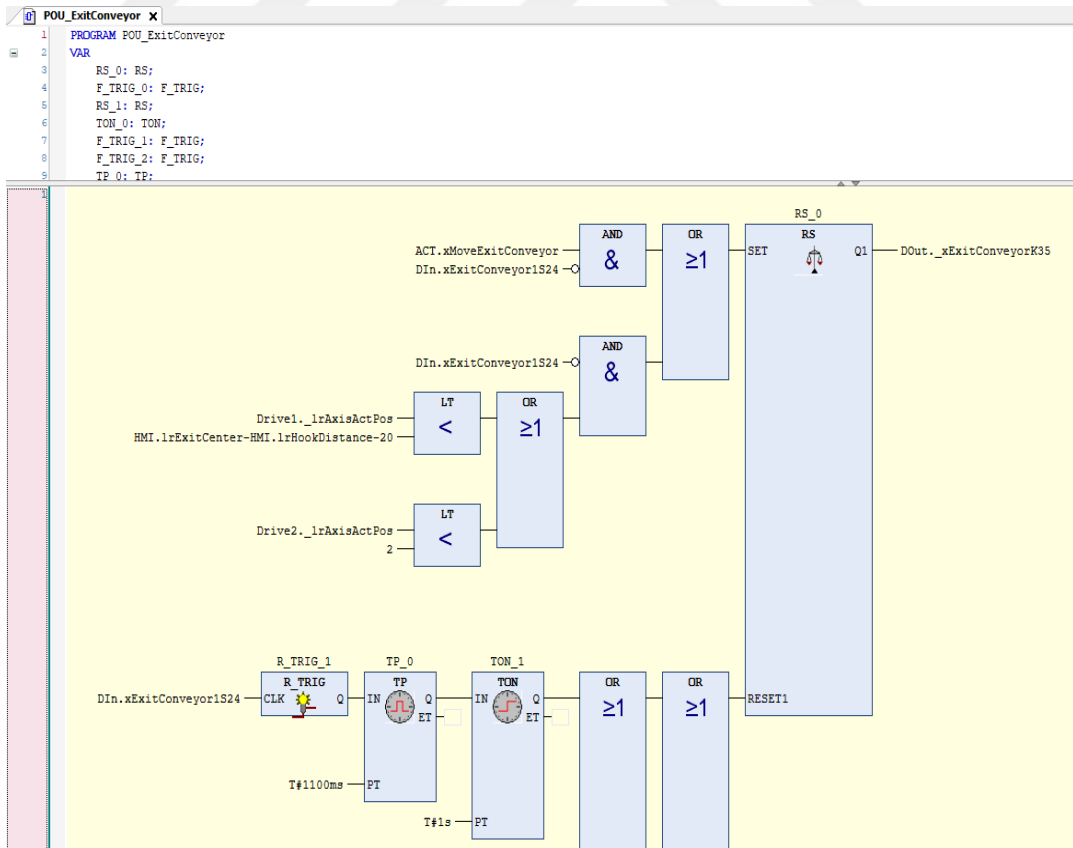
Şekil 5.26 : ST programlama dili örneği.

3. LD (Ladder diagram): Merdiven diyagramı anlamına gelen bu programlama dili, röle kontakları ve bobinleri ile programlama yapmayı sağlayan görsel bir programlama dilidir (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 : LD programlama dili örneği.

4. FBD (Functional block diagram): Fonksiyonel blok diyagramı anlamına gelen bu programlama dili, hazır bloklar ile hızlı bir programlama yapısı sunar (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 : FBD programlama dili örneği.

5. SFC (Sequential function chart): Ardışık fonksiyon grafiği anlamına gelen bu proglama dili, ardışık prosesler ve akışlar için uygun bir programlama imkanı sağlar (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 : SFC programlama dili örneği.

Yukarıdaki dillerle yazılan PLC programları PLC Designer gibi her markanın kendi geliştirmiş olduğu geliştirme ortamlarına entegre derleyiciler tarafından makina koduna dönüştürülerek kontrolöre yani PLC'ye yüklenebilir hale getirilirler.

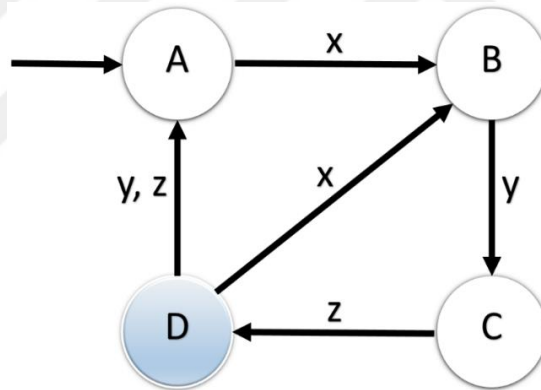
CoDeSys yazılımı ayrıca PLC içindeki programın “online” görüntülenebileceği esnek bir yapı ve “debugging” yapmaya müsait araçlar da sunmaktadır. Tüm bu özellikleri dolayısıyla bugün endüstride 300 üzerinde firma CoDeSys yazılımını kullanmaktadır.

5.6.1.2 PLC programlama yaklaşımı

Sistemde kullanılan PLC'nin programlanması için "Otomata Teorisi" adı verilen ayrık olay sistem yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrık olay sistem yaklaşımında durum geçişleri, olay olarak tanımlanan anlık işaretler ile gerçekleşir. Bu tür sistemlerin davranışları bir durum geçiş grafi (otomat) ile tanımlanabilir. Bir ayrık olay sistemine ilişkin durum geçiş grafında; başlangıç durumu, durumlar, olaylar, etkin olaylar, işaretli durumlar ve durum geçişleri gösterilir [14]. Şekil 5.30'da verilen durum geçiş grafında;

- A başlangıç durumunu ve D işaretli durumu göstermek üzere A, B, C ve D durumları,
- x, y, z olayları gösterir.

Etkin olaylar, durum değişikliğine neden olan olaylardır. Örneğin x olayı A ve D durumlarına, y olayı B ve D durumlarına, z olayı C ve D durumlarına ilişkin etkin olaylardır [14].



Şekil 5.30 : Ayrık olay sistem yaklaşımına göre bir durum geçiş grafi örneği.

Durum geçiş grafındaki her duruma ilişkin mantık fonksiyonları, duruma götüren ve durumdan çıkaran koşullar göz önüne alınarak belirlenebilir. Örneğin Şekil 5.30'daki durum geçiş grafına göre B durumuna götüren koşullar A durumunda iken x olayı ile D durumunda iken x olayı, durumda tutan koşullar ise B durumunda iken y olayının olmamasıdır. B durumuna ilişkin bu koşulları sağlayan mantık fonksiyonu denklem 5.31'deki gibi yazılabilir [14];

$$B(t + T) = A(t) \cdot x + D(t) \cdot x + B(t) \cdot y' \quad (5.31)$$

Burada T değişkeni gecikme veya bir tarama çevrimi olarak değerlendirilebilir. Herhangi bir Q_k durumuna ilişkin geçiş fonksiyonu, en genel biçimde denklem 5.32'deki gibi yazılabilir.

$\Sigma_S : Q_k$ durumuna getiren koşulların mantıksal toplamı,

$\Sigma_R : Q_k$ durumundan çıkaran koşulların mantıksal toplamı,

$$Q_k = Q_k(t + T),$$

$q_k = Q_k(t)$ olmak üzere,

$$Q_k = \Sigma_S + q_k \cdot \Sigma'_R \quad (5.32)$$

Örneğin Şekil 5.30'da verilen durum geçiş grafına göre;

A durumuna ilişkin mantık fonksiyonu denklem 5.33'teki gibi yazılabilir [14].

$$A = d \cdot y + d \cdot z + a \cdot x' \quad (5.33)$$

B durumuna ilişkin mantık fonksiyonu denklem 5.34'teki gibi yazılabilir [14].

$$B = a \cdot x + d \cdot x + b \cdot y' \quad (5.34)$$

C durumuna ilişkin mantık fonksiyonu denklem 5.35'teki gibi yazılabilir [14].

$$C = b \cdot y + c \cdot z' \quad (5.35)$$

D durumuna ilişkin mantık fonksiyonu denklem 5.36'daki gibi yazılabilir [14].

$$D = c \cdot z + d \cdot x' \cdot y' \cdot z' \quad (5.36)$$

Şekil 5.30'da A başlangıç durumunu gösterir. Başlangıç durumu, şekilde görüldüğü gibi duruma yönlendirilmiş bir işaretle belirtilir. Başlangıç durumuna ilişkin geçiş fonksiyonu, devrenin başlangıç durumunda olmasını gerektiren koşullar göz önüne alınarak yazılabilir. Örneğin, devrenin gerçekleştiği kontrol birimi (PLC) veya donanımın ilk devreye alındığını belirten bir işaret, devreyi başlangıç durumuna kuran bir koşul olarak değerlendirilebilir. Ancak, uygulamaya bağlı olarak, bu koşulun uygun olmadığı durumlar için başka ifadeler de bulunabilir [14].

Başlangıç durumu, olaylardan bağımsız olmak üzere sadece diğer durumlara bağlı olarak da tanımlanabilir. Örneğin, A başlangıç durumu için, “devre hiç bir durumda değilse başlangıç durumundadır” yaklaşımına göre [14];

A durumuna ilişkin mantık fonksiyonu denklem 5.37'deki gibi yazılabilir;

$$A = b' \cdot c' \cdot d' \quad (5.37)$$

Ayrıca a, b, c ve d durumları da denklem 5.38'deki gibi tanımlanır;

$$\begin{aligned} a &= A \\ b &= B \\ c &= C \\ d &= D \end{aligned} \quad (5.38)$$

5.6.2 Reçete

Herhangi bir iş emrinin makinede gerçekleştirilmesi için “Reçete” yapısı kullanılmaktadır. Otomatik modda gerçekleştirilen yıkama işlemleri Şekil 5.31’de görülen reçete parametrelerine göre çalışmaktadır.

	İşlem Süresi	Ayarlanan Sıcaklık	Sıcaklık Çalışma...	Süzülme Süresi	Filtrasyon Süresi	Taşıma Süresi
Tank1	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C	0,00 sn	0,00 sn	0,00 sn
Tank2	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank3	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank4	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank5	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank6	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank7	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			
Tank8	0,00 ...	0,00 °C	0,00 °C			

Reçete Yükle Reçete Kaydet Reçete Seç Reçete Al Geri

Şekil 5.31 : Reçete sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.

5.6.2.1 Kazan seçimleri

Otomatik çalışma sırasında hangi kazanların yıkama işlemine dahil olacağını belirleyen seçimlerdir.

5.6.2.2 İşlem süresi

Otomatik yıkamaya dahil edilen kazanların çalışma sürelerinin belirlendiği seçimlerdir.

5.6.2.3 Sıcaklık ayarı

Otomatik yıkamada çalışacak kazanların sıvı sıcaklıklarının ayarlandığı seçimlerdir.

5.6.2.4 Sıcaklık çalışma toleransı

Otomatik yıkamaya başlama ve yıkama sırasında herhangi bir nedenle düşen kazan sıvı sıcaklığının hangi tolerans içinde kabul edilebileceğinin belirlendiği seçimdir.

5.6.2.5 Süzülme süresi

Herhangi bir kazanda biten işlem sonunda sepetlerin kazandan çıkarıldığında ıslak olmalarından dolayı, bir sonraki kazana aktarılmadan önce bir miktar süzdürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple sepet kazandan çıkarıldıktan sonra kazan üzerinde kazanın kapağı kapanmadan, ayarlanan bu parametre süresi kadar bekler ve bu süre sonunda kazanın kapağı kapatılarak bir sonraki kazana taşınır. Bu değer 8. kazan hariç tüm kazanlar için geçerlidir ve ortaktır.

5.6.2.6 Filtrasyon süresi

Otomatik yıkama işlemi boyunca 1. 3. ve 4. kazanlarda gerçekleştirilecek filtrasyon işlemleri için belirlenen süredir. Bu değer, bu üç kazan için de ortaktır. Filtrasyon işleminin geçerli olduğu diğer kazanlar olan 2. 5. ve 6. kazanlar için gerçekleştirilecek filtrasyon süreleri ise denklem 5.2'ye göre hesaplanır.

5.6.2.7 Taşıma süresi

Otomatik yıkama işlemi boyunca gerçekleştirilecek olan yağ sıyırma pompası çalışma sürelerini belirleyen değerdir. Bu değer yağ sıyırma işlemi yapılan 1. 2. 3. 4. 5. ve 6. kazanlar için geçerlidir ve ortaktır.

5.6.3 Makine başlangıç koşulları

Sistemin hazır duruma geçebilmesi için gereken başlangıç koşulu olarak yalnızca acil stop rölesinin kurulu olması gerekmektedir.

Acil stop rölesi hazır duruma alındıktan sonra eksenler referanslı durumdadır ise sistem manuel modda bekleme durumundadır. Eksenler referanslı durumda değilse makine tekrar enerjilendiği zaman bir defaya mahsus olarak “Homing Mod”u çalıştırılır.

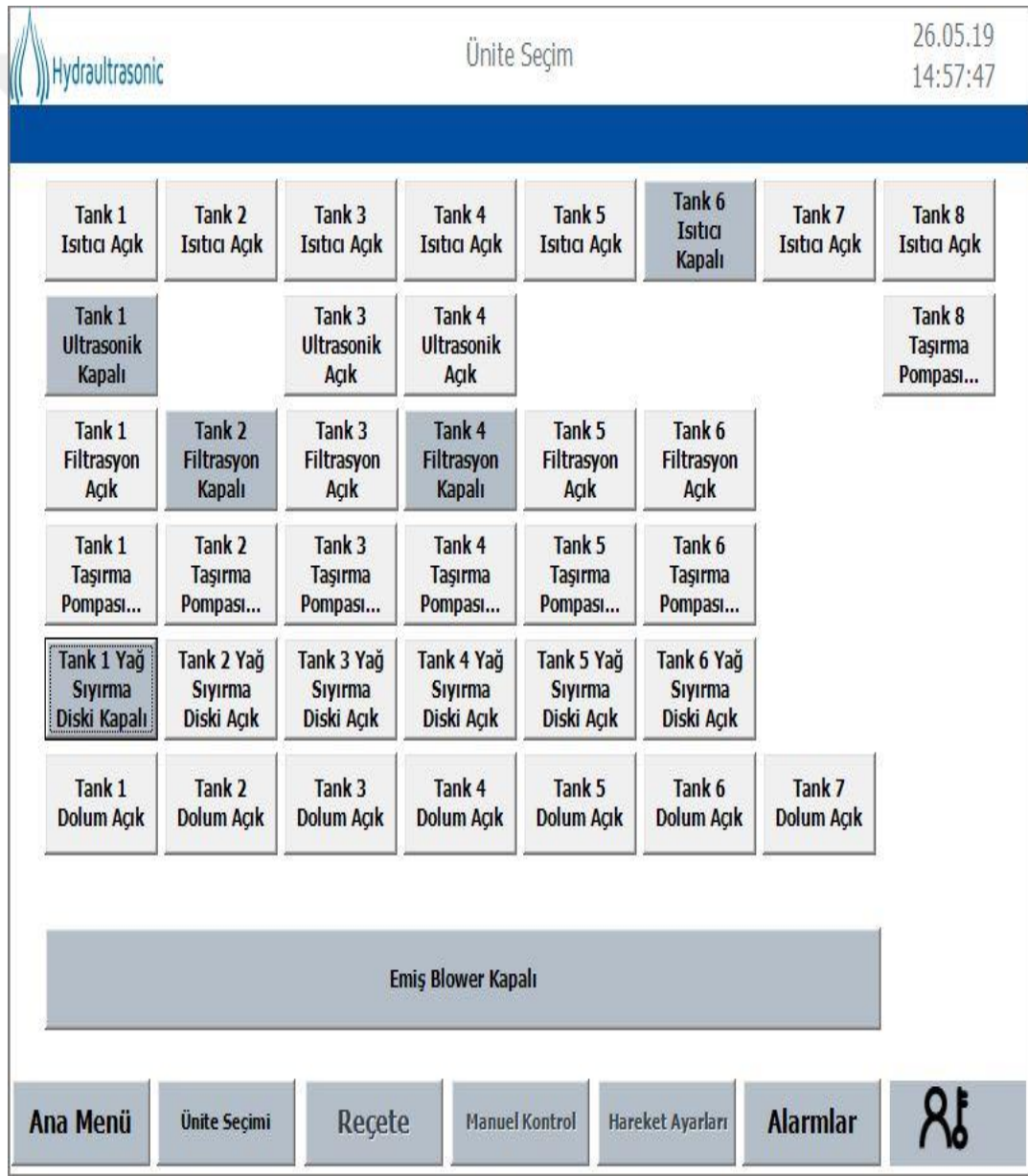
Manuel modda hazır durumda bekleyen makinede isteğe göre manuel modda çalışmaya devam edilebilir veya “Tam Boşaltma Modu” çalıştırılması gerekmiyorsa doğrudan “Otomatik Mod”a geçilebilir.

5.6.4 Kazan ünitesi seçimleri

Sistemde kazanlara ait sistem bileşenleri daha önce tanıtılmıştı. Bu bileşenler ise koruma elemanları (sigortalar, motor koruma röleleri) ile aşırı akımlara karşı korunmaktadır.

Fakat zamanla bu koruma elemanları çeşitli sebeplerle arızalanabilmektedir. Dolayısıyla, bu elemanlardan herhangi birinin arızalanması sistemin sürekli hatada kalmasına neden olacağı için ilgili kısım by – pass edilip, “Otomatik Mod”da çalışmaya devam edilerek iş kaybı engellenebilir (Şekil 5.32).

Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar Şekil A.10’da sunulmuştur.



Şekil 5.32 : Ünite seçimleri sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.

5.6.5 Çalışma modları

Birbiriyle çakışmaması istenen ve makinenin anlık durumuna göre belirlenen makine işlemleri farklı çalışma modlarına ayrılmıştır. Bu bölümde bu modların ayrıntılı açıklaması yapılacaktır.

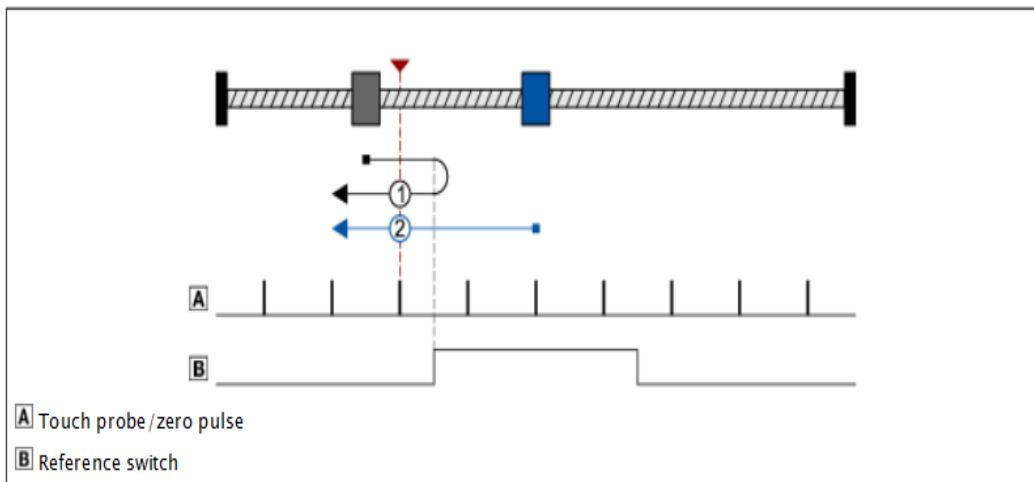
5.6.5.1 Homing modu

Bu mod, 2 eksenli robotun referanslama işlemidir. Yani robotun kendi kartezyen düzleminde (0,0) noktasına getirilmesidir.

Makinede bu modun olmasının sebebi, makinedeki servomotorların “resolver” geri beslemeye sahip olmalarıdır. Bu yüzden bu motorlar enerji kesildiğinde güncel pozisyonlarını kaybederler ve her enerjilenmede tekrar referanslama ihtiyacı doğar. Sistemde resolver geri beslemeli motorların tercih sebebi ise düşük maliyetleri olmuştur.

Homing modu şu şekilde başlatılır;

Makinenin ilk enerjilendiği durumda makine üzerinde bulunan “Homing” fiziksel butonuna ait ışık belirli bir periyotta yanıp söner durumdadır. Ayrıca ekranda da homing yapılmasına dair bir alarm oluşturulmuştur. Buna göre “Homing” butonuna basılması durumunda ilk önce z – eksen referanslanmakta ve z – eksen için “Homed” yani “Referanslandı” sinyalinin alınması ile x – ekseninin referanslama işlemi başlatılmaktadır. Her iki eksenin de referanslama işlemi bittikten sonra ise “Homing” butonuna ait ışık sabit olarak yanmaktadır. Bu noktadan sonra artık makine “Manuel Mod”’a geçer ve “Otomatik Mod”da çalışmaya hazırdır.



Şekil 5.33 : Referanslama prosedürü [13].

Her iki eksene ait referanslama prosedürü ise Şekil 5.33'te görüldüğü gibi şu şekilde gerçekleşir;

1. Eksen ilk önce negatif yönde ilerletilir.
2. Referanslama sensörünün görülmesi ile eksen ters yöne dönerek ikinci bir hıza geçer ve pozitif yönde ilerlemeye başlar.
3. Pozitif yönde hangisi seçilmişse touch probe sinyali veya motora ait resolver sıfır sinyalini (zero pulse) görür ve belirlenen rampayla durur.
4. Rampalı bir şekilde duran eksen Şekil 5.33'te görülen A noktasını bir miktar geçmiş olacağı için kendisini bu noktaya geri çeker ve referanslama işlemi tamamlanmış olur.

“Homing Modu” için yapılan yazılım Şekil A.11'de sunulmuştur.

5.6.5.2 Manuel modu

Bu mod, kazanlara ait elemanların yani ısıtıcılar, ultrasonik elemanlar, filtrasyon pompaları, yağ sıyırma pompaları, yağ sıyırma diskleri, vakum pompası, dolum valfleri ile kazan kapaklarının ve buhar emiş fanının manuel olarak çalıştırılmasının gerçekleştirilebileceği moddur (Şekil 5.34). Ayrıca ekrandaki “Hareket Ayarları” sayfası üzerinden 2 eksenli robot da manuel olarak hareket ettirilebilir.

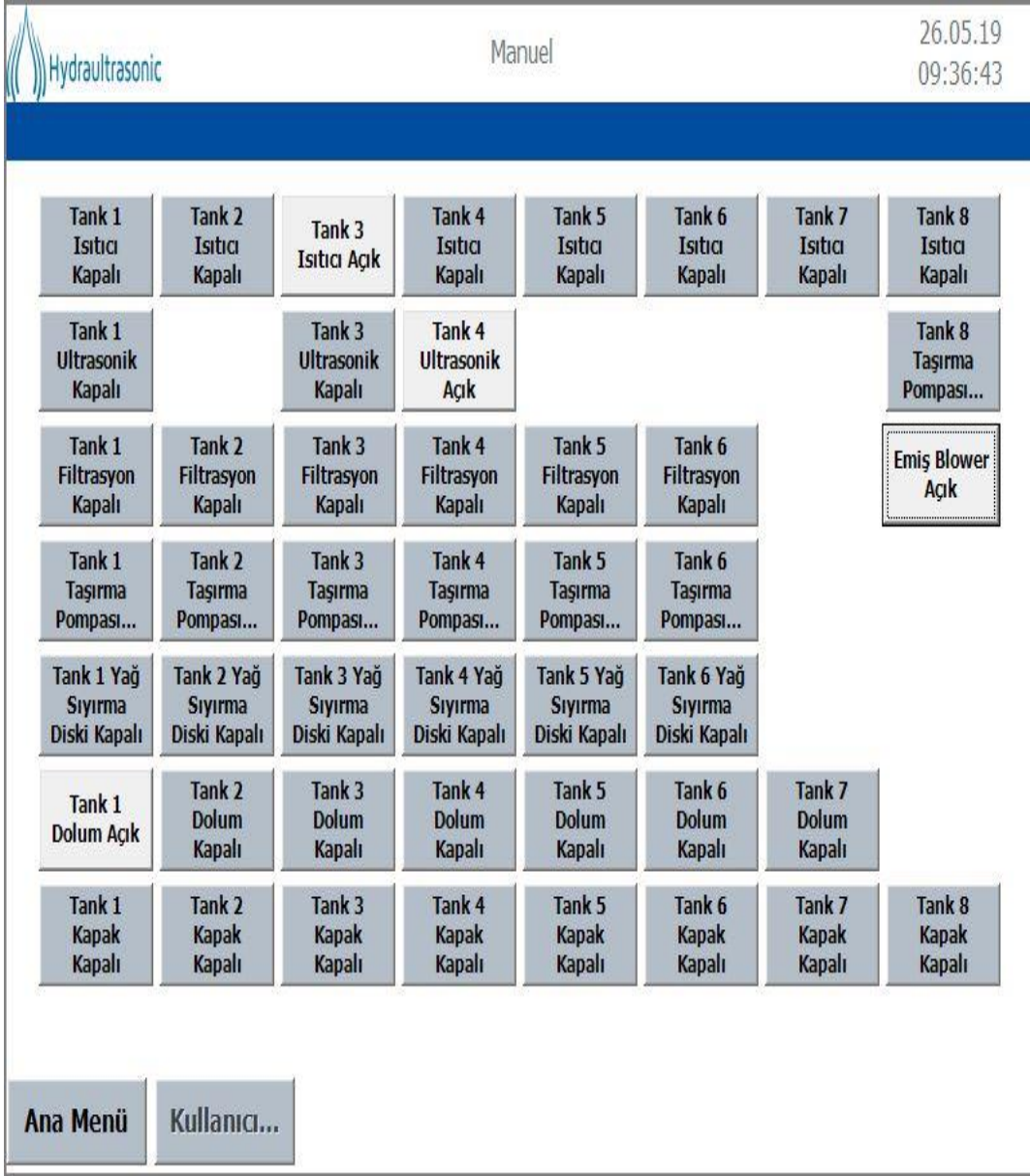
Bu modda otomatik olarak hiç bir işlem gerçekleşmez ve kullanım amacı servis amaçlıdır. Makinedeki herhangi bir bölümün arızalandığı veya düzgün çalışmadığı farkedildiği zaman makine bu moda alınarak ilgili bölümlerin manuel çalıştırılması ile arıza tespiti ve onarımı yapılabilir.

Manuel olarak kontrol edilen tüm elemanlar açık kalmaları durumunda “Otomatik Mod”a geçerken kapatılırlar, yani başlangıç durumlarına alınırlar.

Her eleman için manuel modu koşulları ise şöyledir;

Isıtıcılar:

1. En alt sıvı seviyesi sensörü görüyorsa, istenen ısıtıcının butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde ısıtıcı çalışmaya başlar.
2. Isıtıcı ayarlanan sıcaklığa geldiğinde veya en alt sıvı seviyesi sensörü görmezse veya ısıtıcıya ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ısıtıcının çalışması durur.



Şekil 5.34 : Manuel moduna ait HMI ekranı görüntüsü.

Isıtıcıların manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Ultrasonik elemanlar:

1. En alt sıvı seviyesi sensörü görüyorsa istenen ultrasonik elemanın butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde ultrasonik elemanlar çalışmaya başlar.
2. En alt sıvı seviyesi sensörü görmezse veya ultrasonik elemana ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ultrasonik elemanın çalışması durur.

Ultrasonik elemanların manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Filtrasyon pompaları:

1. En alt sıvı seviyesi sensörü görüyorsa istenen filtrasyon pompasının butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde filtrasyon pompası çalışmaya başlar.
2. En alt sıvı seviyesi sensörü görmezse veya filtrasyon pompasına ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde filtrasyon pompasının çalışması durur.

Filtrasyon pompalarının manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Yağ sıyırma pompaları:

1. En üst sıvı seviyesi sensörü görüyorsa istenen yağ sıyırma pompasının butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde yağ sıyırma pompası çalışmaya başlar.
2. En üst sıvı seviyesi sensörü görmezse veya yağ sıyırma pompasına ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde yağ sıyırma pompasının çalışması durur.

Yağ sıyırma pompalarının manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Yağ sıyırma diskleri:

1. İstenen yağ sıyırma diskine ait buton ekran üzerinden aktif edildiğinde yağ sıyırma diski çalışmaya başlar.
2. Yağ sıyırma diskine ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ise yağ sıyırma diski çalışması durur.

Yağ sıyırma pompalarının manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Vakum pompası:

1. 8. kazan kapağı kapalıysa ve vakum pompasının butonu ekran üzerinden aktif edilirse önce vakum valfi açılır ve 1 saniye sonra vakum pompası çalışmaya başlar.
2. Vakum pompasına ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ise vakum valfi kapatılarak vakum pompası aynı anda durdurulur.

Vakum pompasının manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Dolum valfleri:

1. İstenen dolum valfinin butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde dolum valfi açılır.
2. Dolum valfine ait butonun ekran üzerinden pasif edilmesiyle veya ana dolum valfinin kapanmasıyla ya da orta seviye sıvı sensörünün görülmesinden 2 sn sonra ise dolum valfi kapatılır.

Dolum valflerinin manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Kazan kapakları:

1. 8. kazan hariç olmak üzere istenen kazan kapağına ait butonun ekran üzerinden aktif edilmesiyle kapaklar açılır. 8. kazan için ise buton aktif edildiğinde vakum valfi kapatılır ve pozitif vakum limiti görülüyorsa kapak açılır.
2. 8. kazan hariç kazan kapaklarına ait butonlar ekran üzerinden pasif edildiğinde kapaklar kapatılır. 8. kazan kapağına ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ise kazan kapağı kapatılır ve vakum valfi tekrar açılır.

Kazan kapaklarının manuel kontrolü için yapılan yazılım Şekil A.12’de sunulmuştur.

Buhar emiş fanı:

1. Buhar emiş fanının butonu ekran üzerinden aktif edildiğinde buhar emiş fanı çalışır.
2. Buhar emiş fanına ait buton ekran üzerinden pasif edildiğinde ise buhar emiş fanı çalışması durur.

5.6.5.3 Boşaltma modu

Otomatik modda çalışma esnasında hangi kazanda sepet olduğu sürekli olarak hafızada tutulmaktadır. Otomatik modda yıkanan sepet dışarı verildikten sonra ve makineye yeni sepet alınmadığı sürece makine içerisinde hiç sepet kalmadığı kesindir.

Makinenin “Duraksama Modu”nda iken “Otomatik Mod”a devam edilmeyip, doğrudan “Manuel Mod”a geçirilmesi veya “Acil Stop” butonu kullanılarak “Otomatik Mod” operasyonunun ani olarak kesilmesi durumlarında makine içinde çıkartılmamış sepet kalacaktır veya makinenin enerjisinin ani olarak kesilmesi durumunda ise hangi kazanda sepet olduğu bilgisinin kontrolcü hafızasına kaydedilmesinde problem olabilecektir.

Bu sebeple, bir otomatik çalışma operasyonunun yarıda kalması sonrasında yeniden bir otomatik çalışma operasyonunun çalıştırılmak istenmesi durumunda makine içerisinde kalan sepetler ile çakışma durumu oluşabileceğinden dolayı makine içerisindeki sepetlerin boşaltılması elzemdir.

Bu yüzden makine içerisindeki sepetlerin boşaltılabilmesi için “Temel Boşaltma Modu” ve “Tam Boşaltma Modu” olmak üzere iki farklı boşaltma modu tanımlanmıştır.

Temel boşaltma modu:

Operasyonun herhangi bir noktasında “Duraksama Mod”una alınan makinede doğrudan “Manuel Mod”a geçilmesi durumunda makine içerisinde sepet kalma ihtimali vardır. Ya da “Acil Stop” ile otomatik çalışma operasyonunun yarıda kesilmesi durumunda da makinede sepet kalabilir.

Makinede anlık olarak hangi kazanda sepet bulunduğu bilgisi kontrolcü hafızasında bulunuyor olsa da, 2 eksenli robotun sepet taşıma esnasında da operasyonun yarıda kalmış olabileceği hesaba katılmalıdır.

Bu sebeplerle, yarıda kalan operasyon sonrasında tekrar “Otomatik Mod”a geçmeden önce “Temel Boşaltma Modu” çalıştırılması zorunlu kılınmaktadır. Buna göre “Temel Boşaltma Modu” adımları şu şekilde gerçekleşmektedir;

1. Acil stop rölesi kurulu olmak kaydıyla ekrandan “Temel Boşaltma Modu” ve “Otomatik Çalışma” seçimleri yapılarak makine üzerindeki “Start” butonuna basılır.
2. İlk olarak, 2 eksenli robot hangi konumda olursa olsun, doğrudan çıkış konveyörüne bir sepet bırakma hareketi yapar. Bu sayede robotun taşımakta olduğu bir sepet varsa dışarı bırakılmış olur.
3. Kontrolcü hafızasına göre hangi kazanlarda sepet varsa, 8. kazandan başlayıp geriye gelmek suretiyle teker teker çıkış konveyörüne aktarılarak boşaltılmış olur. İçerisinde sepet olmayan kazanlar dikkate alınmaz ve bir sonraki kazana bakılır.
4. Makine içerisinde bulunan tüm sepetlerin çıkartılması ile “Temel Boşaltma Modu” otomatik olarak biter ve makine “Otomatik Mod”a alınmaya hazır hale gelir.

Şekil 5.35’de görüldüğü gibi “Temel Boşaltma Modu” seçimi yapılabilir.

Hydraultrasonic		Ana Menü		 		26.05.19 20:01:13		
Otomatik/Manuel	Duraksama/Çalışıyor	Boşaltma Modu				Tam Boşaltma Modu		
Otomatik	Çalışıyor	Boşaltma Modu Açık				Tam Boşaltma Modu Kapalı		
	Tank 1 Ultrasonik Yıkama	Tank 2 Durulama	Tank 3 Ultrasonik Yıkama	Tank 4 Ultrasonik Yıkama	Tank 5 Durulama	Tank 6 Durulama	Tank 7 Pasivasy...	Tank 8 Vakum Kurutma
Mev. Sıcaklık	0 ..	0 ..	0 ..	0 ..	0 ..	0 ..	0 ..	0 ..
Ayar. Sıcaklık								
İşlem Süresi								
Kalan Süre								
Dolum	Tank 1 Dolum Kapalı	Tank 2 Dolum Kapalı	Tank 3 Dolum Kapalı	Tank 4 Dolum Kapalı	Tank 5 Dolum Kapalı	Tank 6 Dolum Kapalı	Tank 7 Dolum Kapalı	
Ana Menü	Ünite Seçimi	Reçete					Alarmlar	

Şekil 5.35 : HMI ekranından temel boşaltma modu seçimi yapılması.

Tam boşaltma modu:

Makinenin enerjisinin ani olarak kesilmesi durumunda makinede hangi kazanda sepet olduğu bilgisinin kontrolcü hafızasına yazılması işleminde problem olabileceğinden dolayı, makinenin tekrar enerjilenmesinin ardından ilk olarak “Tam Boşaltma Modu” yapılması zorunlu kılınmaktadır. Bu mod ile tüm kazanlarda sepet olduğu kabulü ile 2 eksenli robot tüm kazanlardan sepet çıkartma hareketi yapar ve böylece makinede hiç sepet kalmaması garanti edilir. Buna göre “Tam Boşaltma Modu” adımları ise şu şekildedir;

1. Acil stop rölesi kurulu olmak kaydıyla ekrandan “Tam Boşaltma Modu” ve “Otomatik Çalışma” seçimleri yapılarak makine üzerindeki “Start” butonuna basılır.

- İlk olarak, 2 eksenli robot hangi konumda olursa olsun doğrudan çıkış konveyörüne bir sepet bırakma hareketi yapar. Bu sayede robotun taşımakta olduğu bir sepet varsa dışarı bırakılmış olur.
- Tüm kazanlarda sepet olduğu kabul edildiği için, 2 eksenli robot ilk önce 8. kazandan başlamak kaydıyla geriye doğru gelerek teker teker tüm kazanlardan sepet çıkartma hareketi yaparak tüm kazanların boşaltıldığı garanti edilir.
- Makine içerisinde bulunan tüm sepetlerin çıkartılması ile “Tam Boşaltma Modu” otomatik olarak biter ve makine “Otomatik Mod”a alınmaya hazır hale gelir.

Şekil 5.36’da görüldüğü gibi “Tam Boşaltma Modu” seçimi yapılabilir.

Hydraultrasonic		Ana Menü				26.05.19 20:04:14	
Otomatik/Manuel	Duraksama/Çalışıyor	Boşaltma Modu				Tam Boşaltma Modu	
Otomatik	Çalışıyor	Boşaltma Modu Kapalı				Tam Boşaltma Modu Açık	
	Tank 1 Ultrasonik Yıkama	Tank 2 Durulama	Tank 3 Ultrasonik Yıkama	Tank 4 Ultrasonik Yıkama	Tank 5 Durulama	Tank 6 Durulama	Tank 7 Pasivasy...
	Tank 8 Vakum Kurutma						
Mev. Sıcaklık	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...
Ayar. Sıcaklık							
İşlem Süresi							
Kalan Süre							
Dolum	Tank 1 Dolum Kapalı	Tank 2 Dolum Kapalı	Tank 3 Dolum Kapalı	Tank 4 Dolum Kapalı	Tank 5 Dolum Kapalı	Tank 6 Dolum Kapalı	Tank 7 Dolum Kapalı
Ana Menü	Ünite Seçimi	Reçete				Alarmlar	

Şekil 5.36 : HMI ekranından tam boşaltma modu seçimi yapılması.

Boşaltma moduna ait kodlar Şekil A.13’te sunulmuştur.

5.6.5.4 Otomatik yıkama modu

Otomatik yıkama modu, makinenin asıl işlevlerinin tümünün gerçekleştirildiği moddur. Seçilen reçete parametrelerine göre makineye alınan sepet içindeki malzemelerin başka hiç bir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan yıkanarak çıkış konveyörüne aktarılmasına kadar tanımlanan tüm süreçler bu mod çerçevesinde tamamen otomatik olarak gerçekleştirilir.



Ana Menü



26.05.19
15:10:12

Otomatik/Manuel	Duraksama/Çalışıyor			Boşaltma Modu			Tam Boşaltma Modu		
Otomatik	Çalışıyor			Boşaltma Modu Kapalı			Tam Boşaltma Modu Kapalı		
	Tank 1 Ultrasonik Yıkama	Tank 2 Durulama	Tank 3 Ultrasonik Yıkama	Tank 4 Ultrasonik Yıkama	Tank 5 Durulama	Tank 6 Durulama	Tank 7 Pasivasy...	Tank 8 Vakum Kurutma	
Mev. Sıcaklık	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	0 ...	
Ayar. Sıcaklık	80 ...	80 ...	80 ...	80 ...	70 ...	60 ...	80 ...	95 ...	
İşlem Süresi	4,00 ...	3,00 ...	5,00 ...	6,00 ...	2,00 ...	8,00 ...	10... ...	15... ...	
Kalan Süre	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	0,00 ...	
Dolum	Tank 1 Dolum Kapalı	Tank 2 Dolum Kapalı	Tank 3 Dolum Kapalı	Tank 4 Dolum Kapalı	Tank 5 Dolum Kapalı	Tank 6 Dolum Kapalı	Tank 7 Dolum Kapalı		
Ana Menü	Ünite Seçimi			Reçete			Alarmlar		

Şekil 5.37 : Otomatik yıkama modu seçimi yapılmış HMI ana sayfa ekran görüntüsü.

Otomatik yıkama moduna geçebilmek için başlangıç şartlarının sağlanmış olması ön koşulu aranmaktadır ve sistem otomatik çalışma esnasında bu koşulları sürekli olarak taramaktadır. Otomatik çalışma aktif iken bu koşullardan herhangi birinin sağlanamaması durumunda ise sistem “Duraksama Modu”na geçer.

Tüm modlarda olduğu gibi bu modda da sağlanamayan koşullara ilişkin tüm bildirimler ise HMI ekranında “Alarm” bilgisi olarak kullanıcıya gösterilmektedir.

Başlangıç kontrolleri ilk olarak şu koşulları izlemektedir.

1. Sistemdeki tüm sigortaların aktif durumda olmasını,
2. Sistemdeki tüm motor koruma rölelerinin aktif durumda olmasını,
3. Sistemdeki tüm alt sıvı seviyesi sensör kontaklarının aktif durumda olmasını.

Tüm bu başlangıç kontrollerinden sonra makineye “Otomatik Mod”da start verilebilmesi için ise makinenin işleme başlama şartlarının sağlandığını gösteren bitin (ACT.xMachineIsReadyToOperation) aktif olması gerekmektedir. Buna göre aşağıdaki koşulların sağlanması ile bu bit aktif hale gelir;

1. Makinenin diğer modların hiç birinde olmadığına doğrulanması,
2. HMI üzerinden “Otomatik Mod” seçiminin yapılmış olması (Şekil 5.37),
3. Her iki eksenin de “Homing” işlemlerinin tamamlanmış olması,
4. “Boşaltma Modu” çalıştırılmasının halihazırda gerekmiyor olması,
5. Otomatik mod başlangıç kontrollerinin sağlanmış olması,
6. Otomatik modda işlemlere başlayabilmek için gereken sıcaklık değerlerine ulaşılmış olması,
7. Giriş konveyöründe sepet bulunmuyor olması,
8. Eksenlerin tork limitine girmemiş olması.

Makine otomatik işleme hazır biti (ACT.xMachineIsReadyToOperation) aktif duruma geldikten sonra artık istenilen reçete seçilerek makineye start verilebilir, ve ACT.xStartBit biti aktif hale gelir. Makine işlem sırasında iken bu başlangıç koşullarını sürekli olarak taramaktadır.

Makineye yeni sepet alınması:

Makineye yeni sepet alınması tasarım aşamasında göz önünde bulundurulacak problemlerden biri olmuştur. Makinede sekiz adet kazan olduğu için makine içerisinde aynı anda tüm kazanlarda sepet olmasının önünde bir engel yoktur. Fakat bir kazanın boşaltılmadan o kazana yeni bir sepet koyulması mümkün olmayacağı için ilk önce makinenin çıkış yönündeki en son kazanın makineden çıkartılması ile bir adet boş kazan ancak bu şekilde oluşacak ve bu şekilde adım adım her kazan boşaltıldıktan sonra makineye yeni bir sepet alınması mümkün olacaktır. Bu da tüm sepetlerde yıkama işlemi bittikten sonra sekiz kazandaki tüm sepetlerin çıkartılması ile geçecek süre kadar fazladan bekleme süresi yaratacaktır.

Bu sorunun yanında ayrıca, her kazan için belirlenen işlem süresi de yeni sepet alma işlemini doğrudan etkilemektedir. Eğer her bir yeni sepet alma işlemi operasyon esnasındaki en yüksek işlem süresinden daha önce yapılırsa, yine işlem süresi biten sepetleri çıkartmada darboğaz oluşacaktır.

Bu sebeplerle, otomatik çalışma sırasında makineye yeni bir sepet almak için giriş konveyörüne yeni bir sepet bırakılmışsa ve yeni sepetin koyulacağı ilk kazan da boş ise, denklem 5.39’da hesaplanan dakika cinsinden süre kadar beklenir ve 2 eksenli robot meşgul değilse makineye yeni sepet alınır.

$$t_{yenisepetalma} = t_{maksimumişlem} + 2 \quad (5.39)$$

Burada;

$t_{yenisepetalma}$: Yeni sepet almak için geçmesi gereken süreyi (dk),

$t_{maksimumişlem}$: Çalışılan reçetede en yüksek işlem süresini (dk) ifade etmektedir.

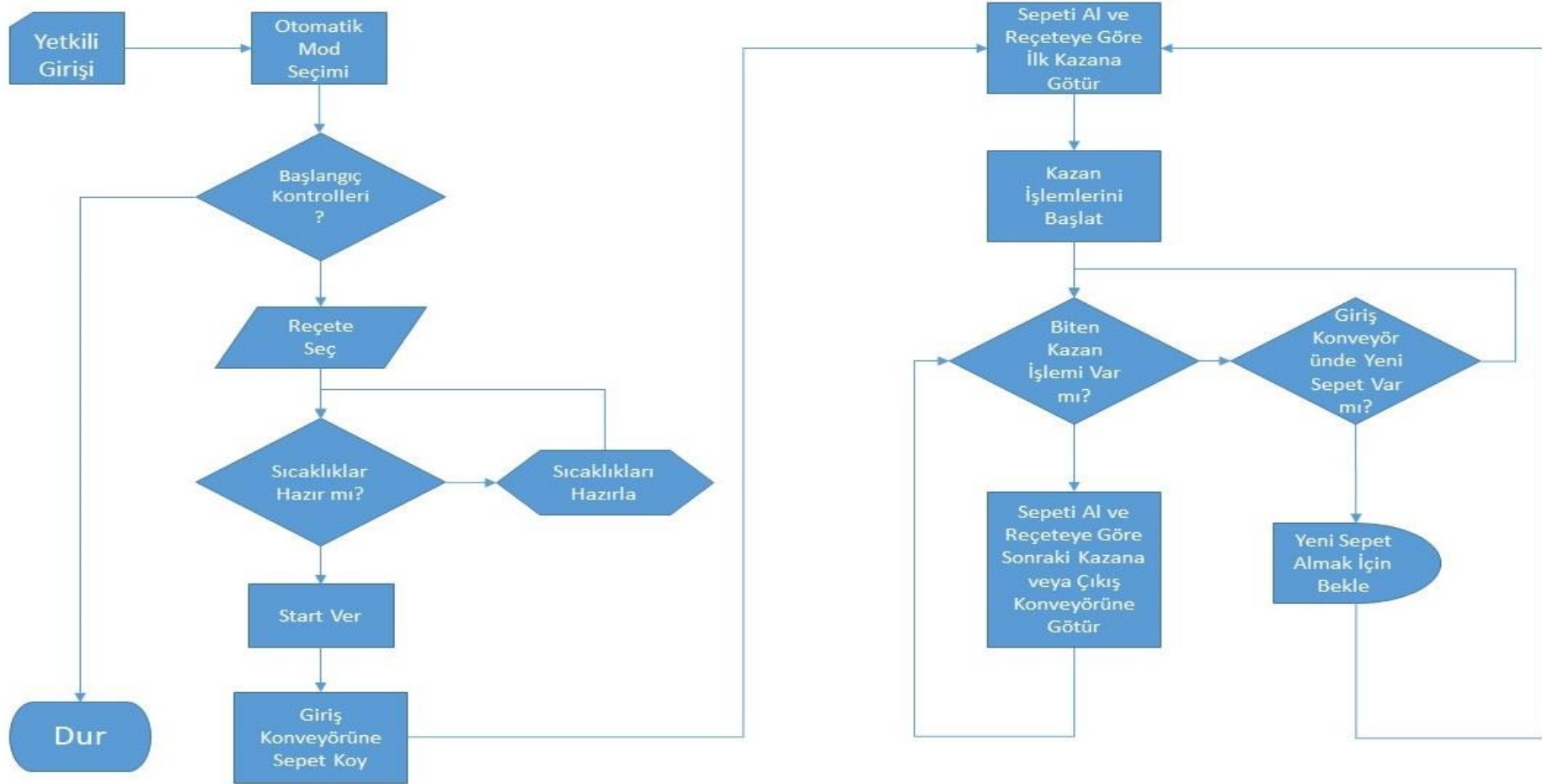
Maksimum işlem süresinin hesaplanmasına ait kodlar Şekil A.14’te, yeni sepet alma algoritmasına ilişkin kodlar ise Şekil A.15’te sunulmuştur.

Otomatik yıkama modundan çıkılması:

Otomatik yıkama modu, yeni sepet alındığı sürece çalışmaya devam eder. Yeni sepet olmadığı durumda otomatik yıkama modundan çıkılmaz, fakat makine yeni sepet almaya hazır halde bekler. Otomatik yıkama modundan çıkılması ise şu koşullara göre olmaktadır;

1. Otomatik çalışma sırasında da taranmaya devam eden otomatik çalışma başlangıç koşullarından herhangi birinin pasif hale gelmesi veya “Duraksama Butonu”na basılması makineyi doğrudan “Duraksama Modu”na geçirerek ACT.xStartBit biti pasif edilir. Bu durumda istenirse “Otomatik Mod”dan çıkılabilir. Bunun için, HMI ekranı üzerinden “Otomatik Mod” seçeneği “Manuel Mod” seçeneğine alınmalıdır.
2. Eksenlerden herhangi birinin tork limitine girmesi durumunda,
3. Makine üzerindeki herhangi bir acil stop butonuna basılması durumunda “Otomatik Mod” derhal iptal edilerek makine durur.

Otomatik yıkama moduna ilişkin genel akış diyagramı Şekil 5.38’de sunulmuştur.



Şekil 5.38 : Otomatik yıkama modu genel akış şeması.

5.6.5.5 Duraksama (Pause) modu

Duraksama modu otomatik yıkama modunda çalışılırken, başlangıç kontrollerinin herhangi birisinin sağlanamadığı durumda doğrudan otomatik yıkama modunun sonlandırılması yerine, bu koşulların düzeltilerek operasyona kaldığı yerden devam edilebilmesi ya da kullanıcının makineyi isteğine göre duraksatabilmesi için oluşturulmuştur.

Makineyi duraksama moduna alabilecek koşullar şöyledir;

1. Duraksama butonuna basılması,
2. Sigortalardan herhangi birinin pasif duruma geçmesi,
3. Motor koruma rölelerinden herhangi birinin pasif duruma geçmesi,
4. Sıvı seviyesi sensörlerinden herhangi birinin pasif duruma geçmesi,
5. Sıcaklıklardan herhangi birinin belirlenen tolerans değerlerine göre çok düşmesi veya çok yükselmesi,
6. Vakum alarmı oluşması,
7. Çıkış konveyörü sensörünün hatada olması.

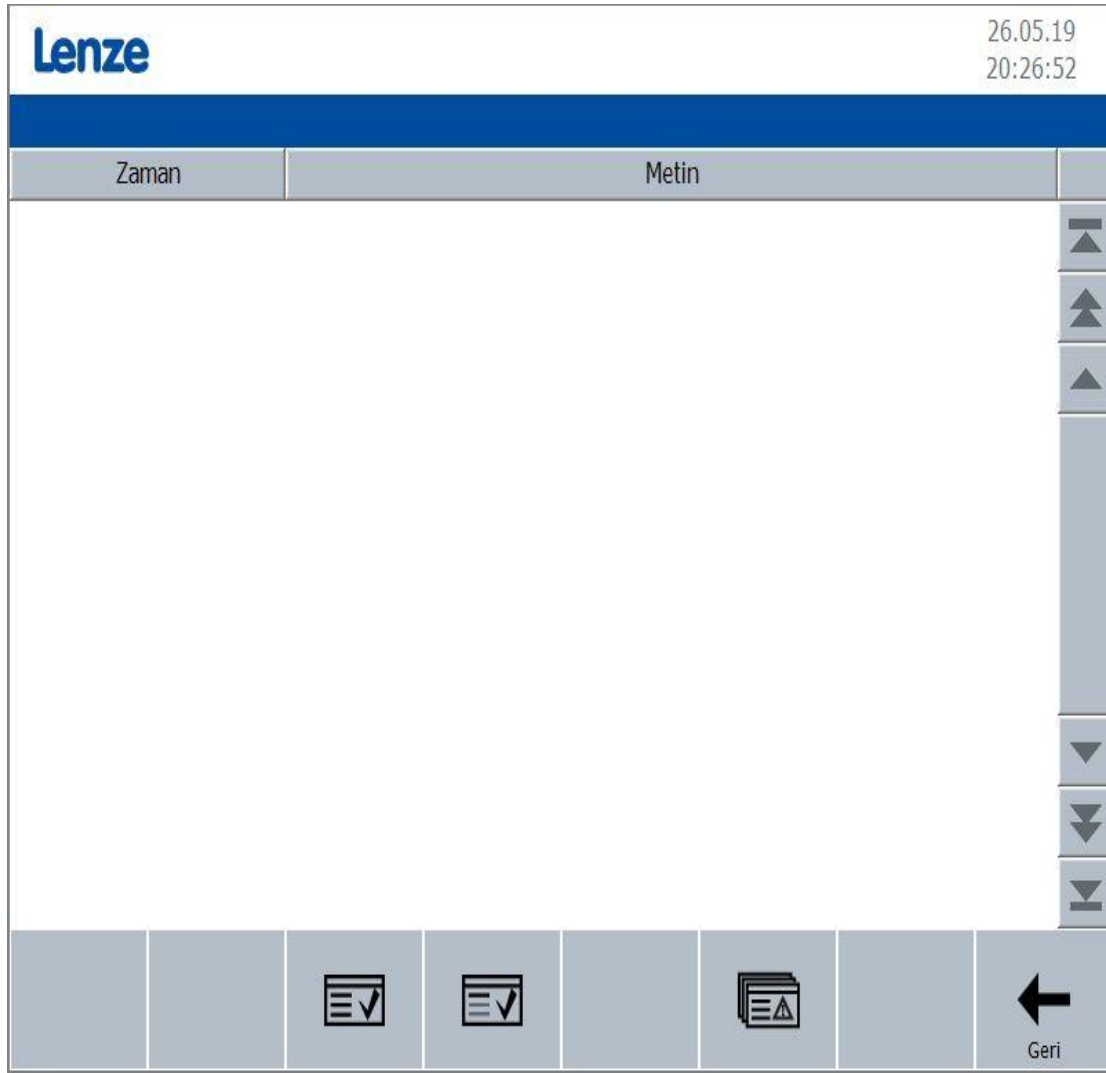
5.6.6 Alarmlar

Makinede otomatik operasyonu durdurabilecek olan tüm durumlar “Alarm” olarak tanımlanmıştır ve Şekil 5.39’da görüldüğü gibi HMI ekranı üzerinden bu alarmlar anlık olarak izlenebilmektedir.

Makinede tanımlanmış olan alarmlar ise şöyledir;

1. Isıtıcılara ait sigorta arızaları,
2. Ultrasonik elemanlara ait sigorta arızaları,
3. Filtrasyon pompası motorlarına ait motor koruma rölesi arızaları,
4. Yağ sıyırma pompalarına ait motor koruma rölesi arızaları,
5. Yağ sıyırma disklerine ait motor koruma rölesi arızaları,
6. Vakum pompası motor koruma rölesi arızası,

7. Buhar emiş fanı motor koruma rölesi arızası,
8. Konveyör motorları motor koruma rölesi arızası,
9. Kazan kapaklarına ait kapanamama ve açılmama arızaları,
10. Kazanlara ait düşük ve yüksek sıcaklık arızaları,
11. Kazanlara ait sıvı seviyesi hataları,
12. Sepet alma bölgesinin otomatik çalışma öncesinde dolu olma hatası,
13. Çıkış konveyörü dolu hatası,
14. Çıkış konveyörü giriş sensörü arızası,
15. Çıkış konveyörü stop sensörü arızası,
16. Eksenlere ait tork limiti arızaları,
17. Eksenlere ait sürücü arızaları,
18. Boşaltma modu çalıştırılması gerek hatası,
19. Vakum pompası arızası,
20. Vakum valfi arızası,
21. Ana sıvı dolum valfi arızası.



Şekil 5.39 : Alarm sayfasına ait HMI ekran görüntüsü.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Endüstride kullanılan manuel vinç sistemli çok kazanlı ultrasonik yıkama makinelerinin operatöre bağımlı olmaları dolayısıyla yıkama sürelerinin daha uzun olması ve operatörün yıkama prosesini doğru bir şekilde yerine getirememesi sebebiyle yıkama hatalarının oluşması gibi ciddi boyutlarda performans kaybına neden olan dezavantajlar bu teze konu olan makinenin tasarım ihtiyacını doğurmuştur.

Teze konu olan makinede alüminyum ve çelik araç klima borularının üretim sonrası temizleme işlemleri yapılmaktadır. Bu boruların bükme ve kesme işlemleri sırasında borulara yağ verilmektedir. Ayrıca son olarak da borulara başka parçalar boraks verilerek kaynak yapılmaktadır. Bu kaynak işlemi sırasında boraks yanmakta ve siyahlaşmaktadır. Dolayısıyla boruların bu işlemler sonrasında yağ, kesme çapağı ve boraks karalıklarından arındırılması gerekmektedir.

Proje kapsamında ilk olarak ultrasonik temizlemenin kalbi olan ultrasonik dönüştürücülerin Butterworth – Van Dyke modeline göre modellemesi yapılarak çalışma frekansı bulunmuştur ve rezonans frekansında çalışarak ultrasonik dönüştürücülere maksimum güç aktarmayı sağlayan sürücü devresi tasarlanmıştır. Böylece temizleme işlemlerinin en etkin şekilde yapılması, gereksiz güç sarfiyatı ve ultrasonik dönüştürücülerin ömürlerinin optimize edilmesi sağlanmıştır. Bunun yanında, tasarlanan makinenin muadili olan robotlu sistemlere sahip çoklu yıkama sistemlerinde olmayan veya olmasına rağmen iyileştirme gerektiren şu özellikler geliştirilmiştir;

1. 2 eksenli robotun enerji kesilmesinde dahi dolu ve boş kazanları sürekli hafızada tutması suretiyle, dolu kazana kazara yeni sepet koyulmasının önüne geçilmektedir. Buna göre, makineye yeni sepet alınmış olsa bile bu sepetin koyulması gereken kazan doluysa makine bu işlemleri buffer işlemine tabi tutarak, aynı anda 8 işlemi paralel olarak yürütmektedir.

2. Makineye yeni sepet alma kontrolü için geliştirilen yazılım sayesinde yıkama işlemi biten sepetlerin bulundukları kazanda haddinden fazla beklemlerinin önüne geçilmektedir. Muadili olan makinelere kıyasla bu özellik çok ciddi bir performans ve yıkama kalitesi artışı sağlamaktadır.
3. Robot kol eksenlerinde pozitif ve negatif yönde uygulanan tork kontrolü işlemleri ile makinede herhangi bir çarpışma riskinde mekanik hasar riski sıfırlanmıştır. Bunun yanında ayrıca, sepetin haddinden fazla yüklenmiş olması durumunda da robot kolun tork hatasını aktif etmesiyle mekanik hasarın önüne geçilmektedir.
4. Makinede arızalanmış olan kazan elemanlarını by – pass etmek suretiyle makinenin tamamen üretim yapamaz hale gelmesi engellenmekte ve bu da duruş süresini azaltmada büyük katkı sağlamaktadır. Yine muadilleri ile kıyaslandığında bu yazılım da ilk kez bu makinede geliştirilmiştir.
5. Kritik olmayan hatalarda operasyonun yarıda kesilerek baştan başlamasının önüne geçmek adına geliştirilmiş “Pause modu” da muadili makinelerde olmayan ve bu proje kapsamında geliştirilmiş bir diğer özelliktir.
6. Çıkış konveyöründe sepet çıkışı için geliştirilen yazılım ile çıkış konveyöründe tek seferde 4 sepete kadar biriktirme sağlanabilmektedir. Yine muadili makineler ile kıyaslandığında ciddi fark yaratan bu özellik sayesinde operatörün makineye 4 sepete kadar sepet girişi yapmasının ardından işlemi biten sepetleri her seferinde toplamasına gerek kalmadan makine kendi işlemlerini gerçekleştirmeye devam etmektedir ve makinede hiç bir takibe gerek duyulmamaktadır.
7. HMI ekranında tanımlanan kullanıcı seviyeleri ile operatör ile tekniker yetkileri ayrılmış ve operatör için yalnızca iş emrine göre çalıştırabileceği işlemler tanımlanmıştır.
8. HMI ekranında ayrıca robot kolun servis amacıyla manuel olarak hareket ettirilebilmesini sağlayan ve her iki eksenin istenilen pozisyonlara götürülebilmesine izin veren bir sayfa da hazırlanmıştır.

6.2 Tartışmalar Ve İleri Çalışmalar

Makine halihazırda yerinde devreye alınmış ve yüksek memnuniyet yaratmıştır. Fakat makinenin performansı memnuniyetle karşılanmış olsa da, makinede yapılabilecek bazı düzeltmelerle performans artışları sağlanabilir.

Makinede 2 eksenli robotun istenilen konuma gitmesi için her seferde ilk önce z – ekseninin başlangıç noktasına gitmesi gerektiği, x – eksenindeki pozisyonlama işleminin ancak bundan sonra mümkün olduğu belirtilmişti. Makinenin boyutundan dolayı her pozisyonlama işleminin bu şekilde yapılmasının zaman kaybına neden olduğu aşikardır. Bu sebeple pozisyonlama işleminin her iki eksen de aynı anda başlayacak bir pozisyonlama algoritması ile yapılması makinede ciddi bir süre tasarrufu sağlayabilecektir.

Ayrıca makine hızının artması adına motorlar daha yüksek devire çıkartılabilir. Bunun için mekanik sistemin de bu değişiklik için uygun olması gerekecektir.

Yıkama kalitesi açısından ise daha çok parametre bulunmaktadır. Örneğin; makinedeki yıkama sıvısının rutin olarak haftada bir değiştirilmesi önerilmektedir. Bu değişim işlemi ise manuel olarak yapılmaktadır ve makinenin hiç çalışmadığı veya normalden daha fazla çalıştığı durumlarda bu sıvının erken değiştirilmesi işletme maliyetini, geç değiştirilmesi ise yıkama kalitesini etkileyebilecek bir faktör olacaktır. Bunun için makinede toplam yıkama zamanı hesaplanıp buna göre yıkama sıvısının değişimi için bir bakım zamanı oluşturulabilir. Bunun yanında yıkama sıvısının manuel değişim yerine otomatik olarak değiştirilmesi de yine bir seçenek olarak göz önünde bulundurulabilir.

Yıkama sıvısının sıcaklığı ise tezde bahsedildiği gibi ON – OFF kontrol yöntemi ile yapılmıştır. Bu sebeple daha stabil bir sıcaklık performansı için ileri kontrol yöntemleri uygulanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Arnau, A.** (2007). *Piezoelectric Transducers and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [2] **Güler, S.** (2012). *Ses Ötesi Temizleme Etkinliğinin Çeşitli Parametrelere Göre İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **Yakut, M., Tangel, A., Tangel, C.** (2009). A microcontroller-based generator design for ultrasonic cleaning machines”, *ISTANBUL UNIVERSITY- Journal of Electrical and Electronics Engineers*, Vol.9 (1), pp. 853-860.
- [4] **David, J., Cheeke, N.** (2002). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*, CRC Press.
- [5] **Tuziuti, T.** (2016). Influence of sonication conditions on the efficiency of ultrasonic cleaning with flowing micrometer-sized air bubbles, *Ultrasonics Sonochemistry*, 29 (pp. 604-611).
- [6] **Şahin, M. E.** (2014). *İki Dönüştürücülü Ultrasonik Temizleme Sistemi Tasarımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **Mastrapaolo, E., Gual, I., Wood, G., Bunting, A., Cheung, R.** (2010). Piezoelectrically driven silicon carbide resonators. *American Vacuum Society*, doi: 10.1116/1.3498760.
- [8] **Kim, J., Grisso, B. L., Kim J. K., Ha D. S., Inman, D. J.** (2008). Electrical Modeling of Piezoelectric Ceramics for Analysis and Evaluation of Sensory Systems, *IEEE Sensors Applications Symposium*, Atlanta, GA: Şubat 12-14.
- [9] **Fabijanski, P., Lagoda, R.** (2011). *Advances in Ceramics - Electric and Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics and Environment*, Prof. Costas Sikolidis (Ed.), ISBN: 978-953-307-350-7, InTech.
- [10] **Zhang, J. G., Long, Z. L., Ma, W. J., Hu, G. H., Li, Y. M.** (2019). Electromechanical Dynamics Model of Ultrasonic Transducer in Ultrasonic Machining Based on Equivalent Circuit Approach. *www.ncbi.nlm.nih.gov*, doi: 10.3390/s19061405.
- [11] **Wei, X., Yang, Y., Yao, W., Zhang, L.** (2017) PSpice Modeling of Sandwich Piezoelectric Ceramic Ultrasonic Transducer in Longitudinal Vibration. *www.mdpi.com/journal/sensors*, doi: 10.3390/s17102253.
- [12] **Voss, W.** (2007). *A Comprehensible Guide to Servo Motor Sizing*, ISBN: 978-0-9765116-1-8, Greenfield, MA, ABD.
- [13] **PLC Designer** (Motion Function Libraries). [Computer software]. Aerzen, Germany: Lenze.

- [14] **Kurtulan, S.** (2007). *Endüstriyel Kumanda Sistemleri: Tasarım, Gerçekleme ve S7-200 CPU22x Uygulamaları*, ISBN: 9789944772150, Ankara, TÜRKİYE.
- [15] **Url-1**, <<http://fpel.landfood.ubc.ca/our-research/ultrasonic-pasteurization>> erişim tarihi 23.04.2019.
- [16] **Url-2**, <<https://techblog.ctgclean.com/2012/01/ultrasonics-transducers-piezoelectric-hardware>> erişim tarihi 23.04.2019.
- [17] **Url-3**, <<https://www.piezodrive.com/ultrasonic-drivers/intro-ultrasonic>> erişim tarihi 03.08.2019.
- [18] **Url-4**, <<http://www.noliac.com/tutorials/dynamic-actuators/the-mason-model-definition-and-identification-of-the-dynamic-parameters>> erişim tarihi 03.08.2019.
- [19] **Url-5**, <<https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/series-resonance.html>> erişim tarihi 10.08.2019.
- [20] **Url-6**, <<https://www.electronics-tutorials.ws/oscillator/colpitts.html>> erişim tarihi 23.08.2019.
- [21] **Url-7**, <<https://www.doguskalip.com.tr/Urun/dkzm-20-lineer-modul/1221>> erişim tarihi 15.08.2019.
- [22] **Url-8**, <<https://www.doguskalip.com.tr/Urun/90x180-kremayerli-kopru-modulu/3954>> erişim tarihi 15.08.2019.
- [23] **Url-9**, <<https://plcopen.org/iec-61131-1>> erişim tarihi 20.08.2019.
- [24] **Url-10**, <<https://plcopen.org/iec-61131-3>> erişim tarihi 20.08.2019.
- [25] **Url-11**, <<http://tr.wikipedia.org/wiki/CODESYS>> erişim tarihi 20.08.2019.

EKLER

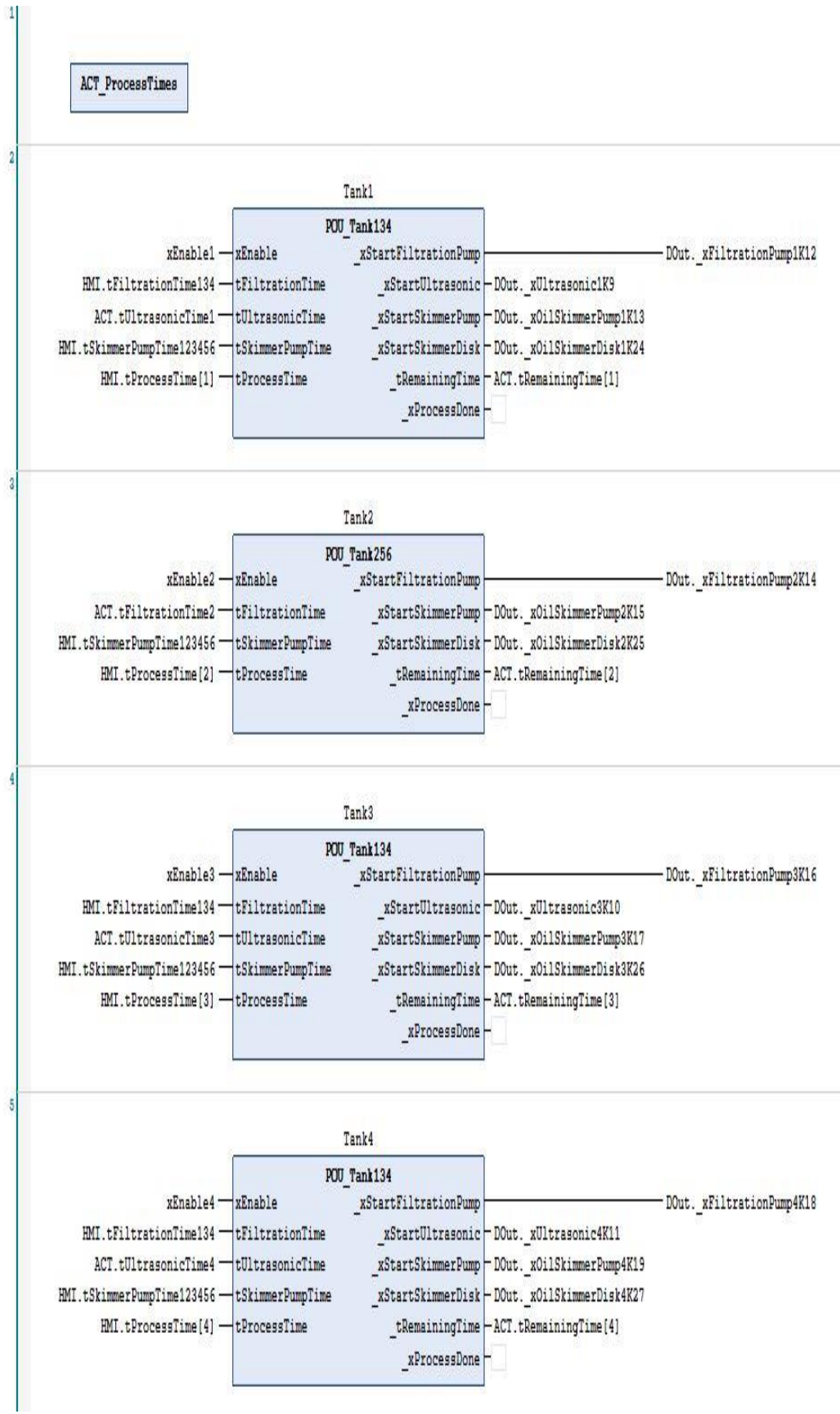
EK A: Kodlar

EK B: Makinenin mekanik çizimleri

EK C: Makinenin resimleri

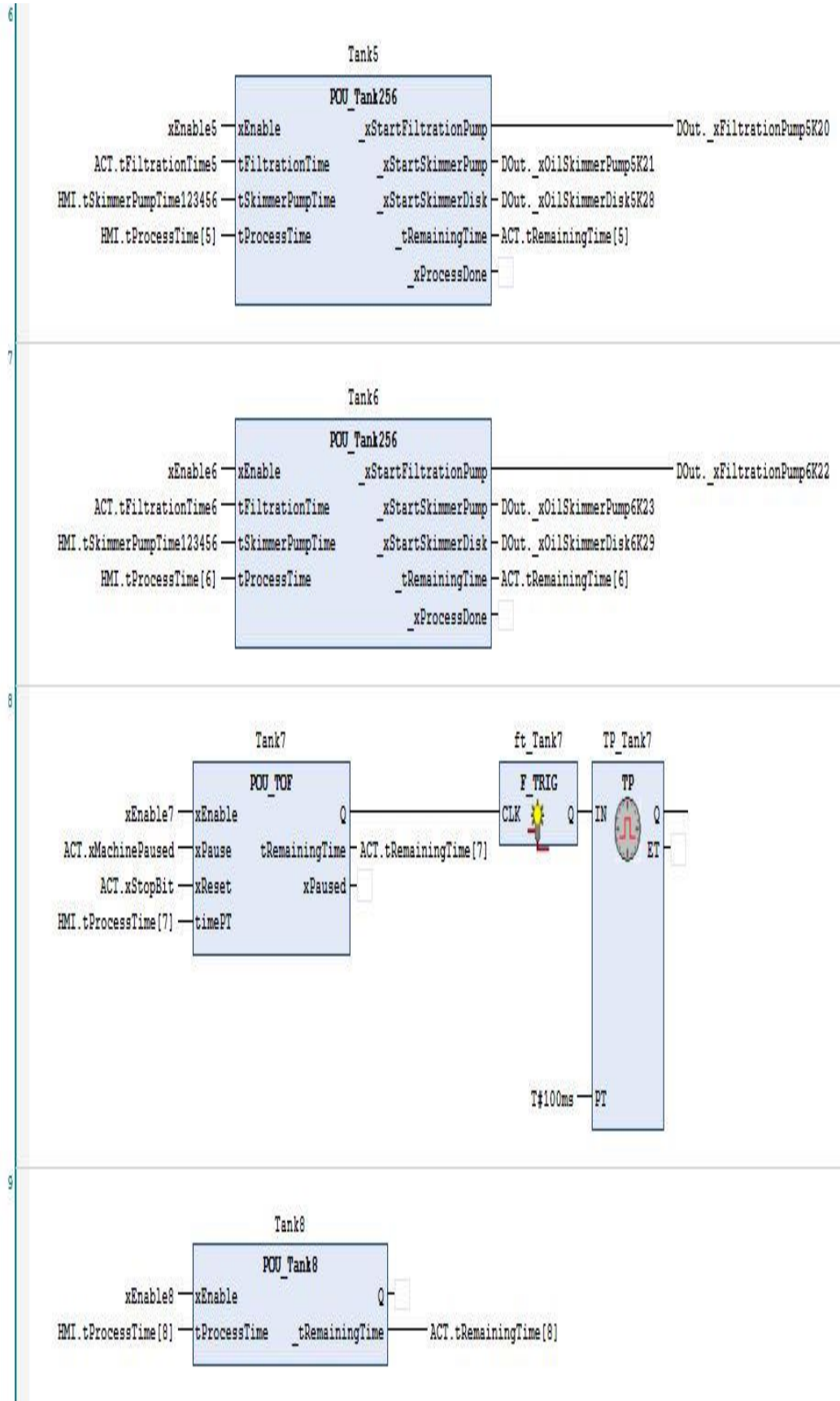


EK A



(a)

Şekil A.1 : Kazan işlemlerini gerçekleştiren kodlar: (a) İşlem süresi ve 1., 2., 3., 4., kazanlara ait kontrol blokları. (b) 5., 6., 7., 8. kazanlara ait kontrol blokları.



(b)

Şekil A.1 (devam): Kazan işlemlerini gerçekleştiren kodlar: (a) İşlem süresi ve 1., 2., 3., 4., kazanlara ait kontrol blokları. (b) 5., 6., 7., 8. kazanlara ait kontrol blokları.

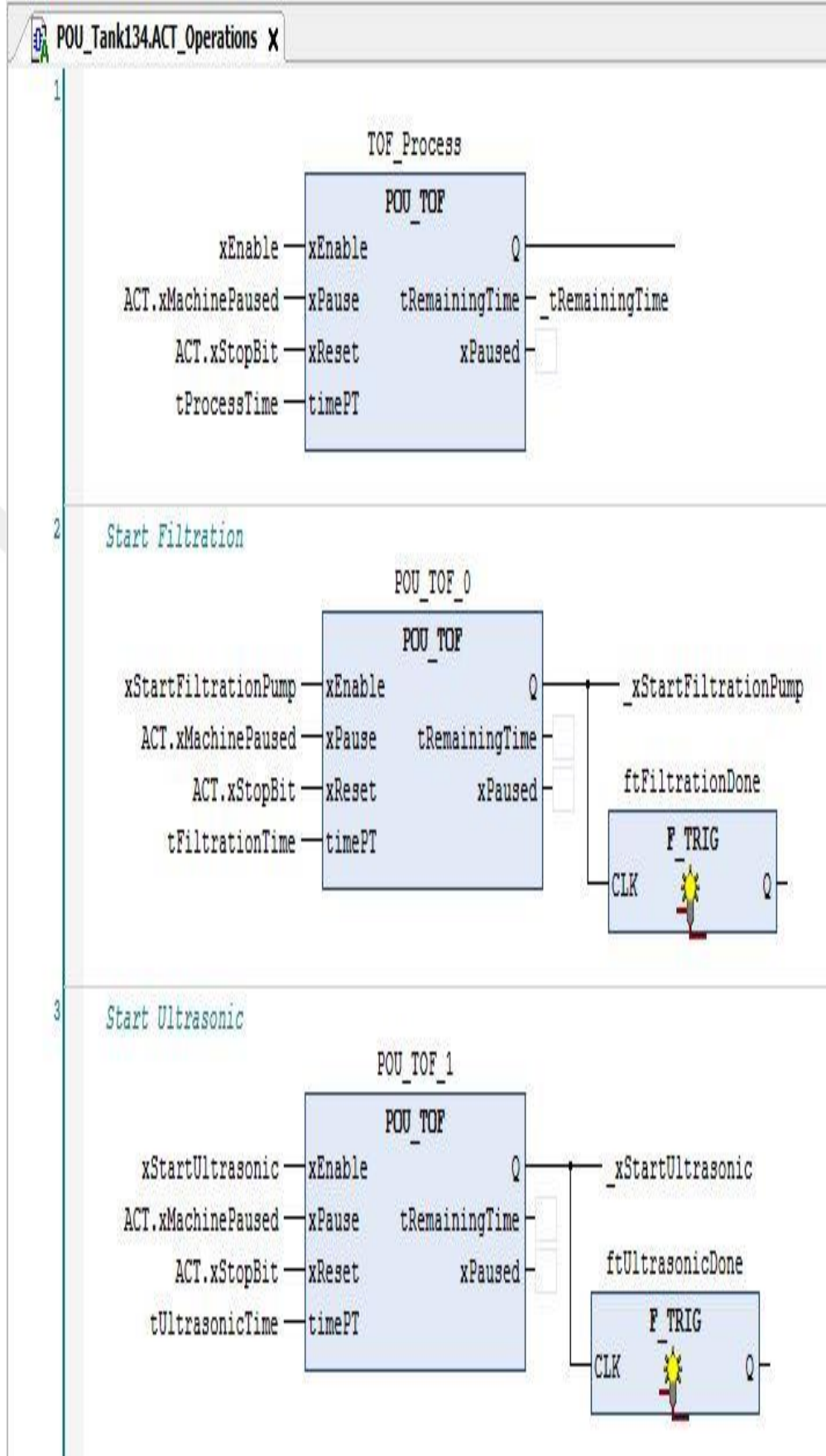
```

POU_Tank134 x
9
10 ACT_Operations();
11 rtEnable(CLK := xEnable);
12 CASE i OF
13 0:
14 xTP := FALSE;
15
16 IF rtEnable.Q THEN
17 i := 5;
18 END_IF
19
20 5:
21 xStartFiltrationPump := TRUE;
22
23 IF ftFiltrationDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
24 xStartFiltrationPump := FALSE;
25 i := 10;
26 END_IF
27 10:
28 xStartUltrasonic := TRUE;
29
30 IF ftUltrasonicDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
31 xStartUltrasonic := FALSE;
32 i := 15;
33 END_IF
34
35 15:
36 xStartSkimmerPump := TRUE;
37
38 IF ftSkimmerDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
39 xStartSkimmerPump := FALSE;
40 i := 20;
41 END_IF
42
43 20:
44 xTP := TRUE;
45 IF NOT TOF_Process.Q AND _xProcessDone THEN
46 i := 0;
47 END_IF
48
49 END_CASE
50
51 IF (ACT.xStopBit OR NOT xEnable) AND DIn.xResetButton THEN
52 xStartFiltrationPump := FALSE;
53 xStartUltrasonic := FALSE;
54 xStartSkimmerPump := FALSE;
55 i := 0;
56 END_IF
57

```

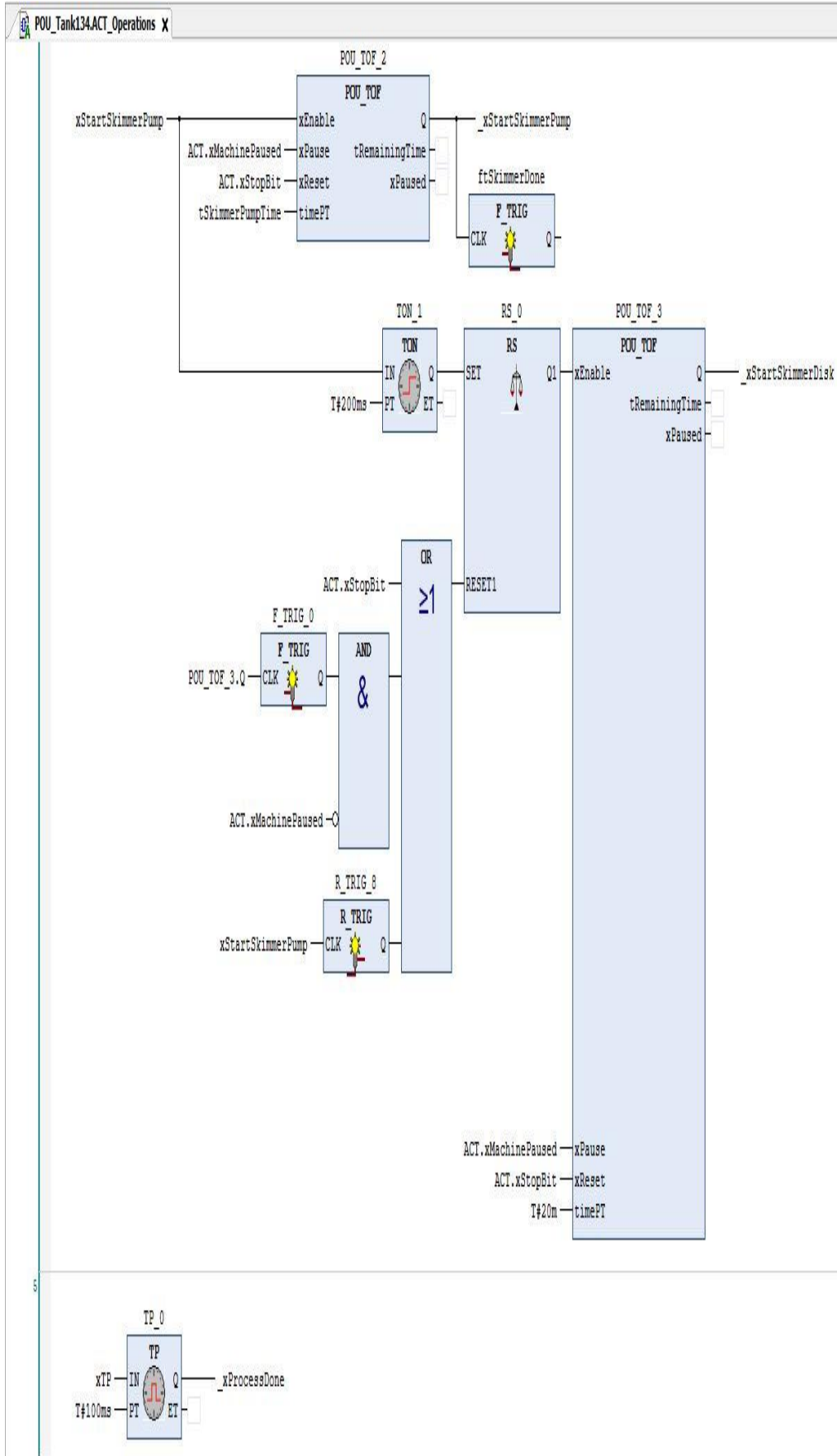
(a)

Şekil A.2 : 1., 3., 4. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



(b)

Şekil A.2 (devam): 1., 3., 4. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



Şekil A.2 (devam): 1., 3., 4. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.

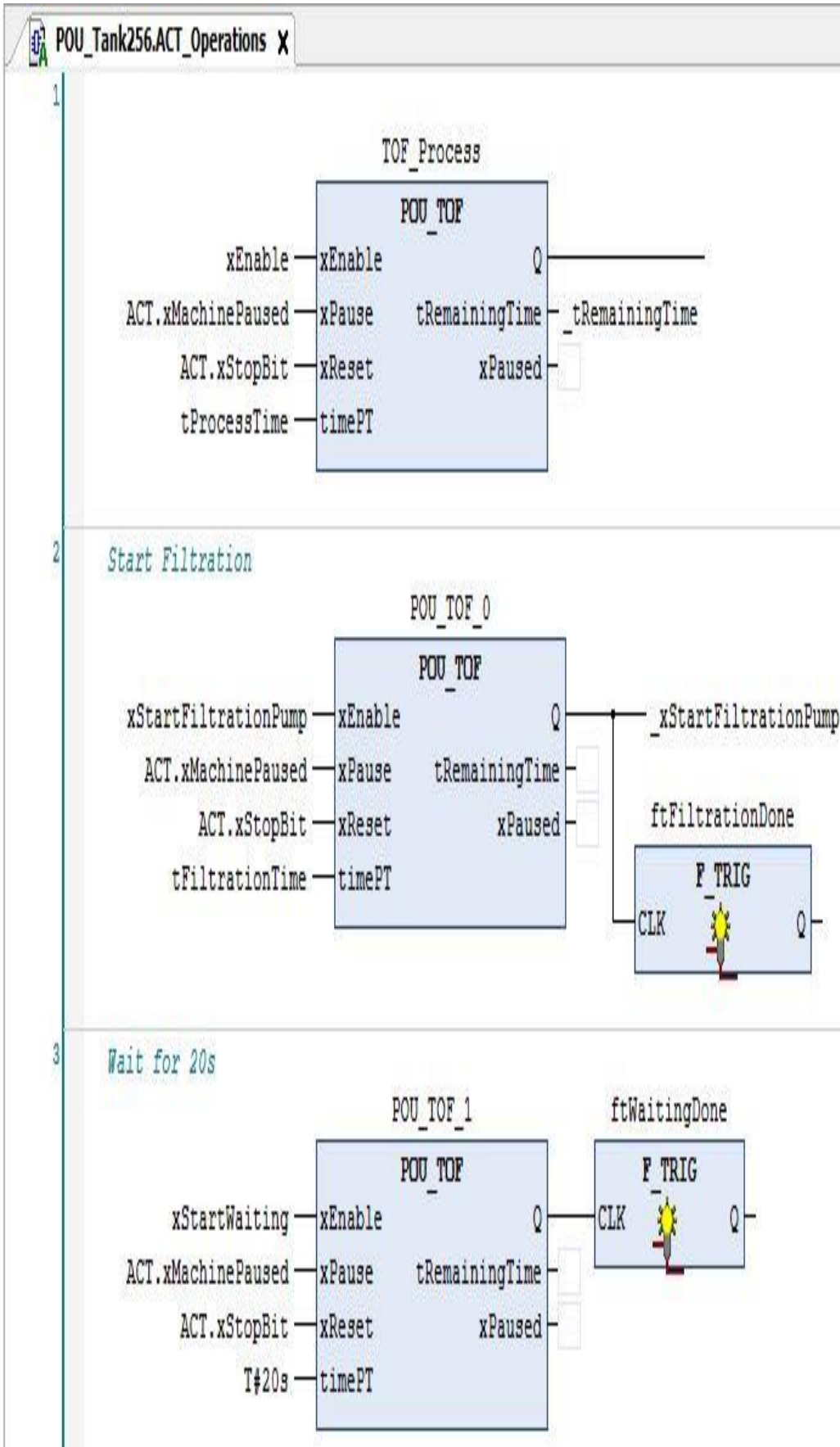
```

POU_Tank256 x
7  ACT_Operations();
8  rtEnable(CLK := xEnable);
9  CASE i OF
10
11  0:
12  xTP := FALSE;
13
14  IF rtEnable.Q THEN
15      i := 5;
16  END_IF
17
18  5:
19      xStartFiltrationPump := TRUE;
20
21      IF ftFiltrationDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
22          xStartFiltrationPump := FALSE;
23          i := 10;
24      END_IF
25
26  10:
27      xStartWaiting := TRUE;
28
29      IF ftWaitingDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
30          xStartWaiting := FALSE;
31          i := 15;
32      END_IF
33
34  15:
35      xStartSkimmerPump := TRUE;
36
37      IF ftSkimmerDone.Q AND NOT ACT.xMachinePaused THEN
38          xStartSkimmerPump := FALSE;
39          i := 20;
40      END_IF
41
42  20:
43      xTP := TRUE;
44      IF NOT TOF_Process.Q AND _xProcessDone THEN
45          i := 0;
46      END_IF
47  END_CASE
48
49  IF (ACT.xStopBit OR NOT xEnable) AND Din.xResetButton THEN //
50      xStartFiltrationPump := FALSE;
51      xStartWaiting := FALSE;
52      xStartSkimmerPump := FALSE;
53      i := 0;
54  END_IF

```

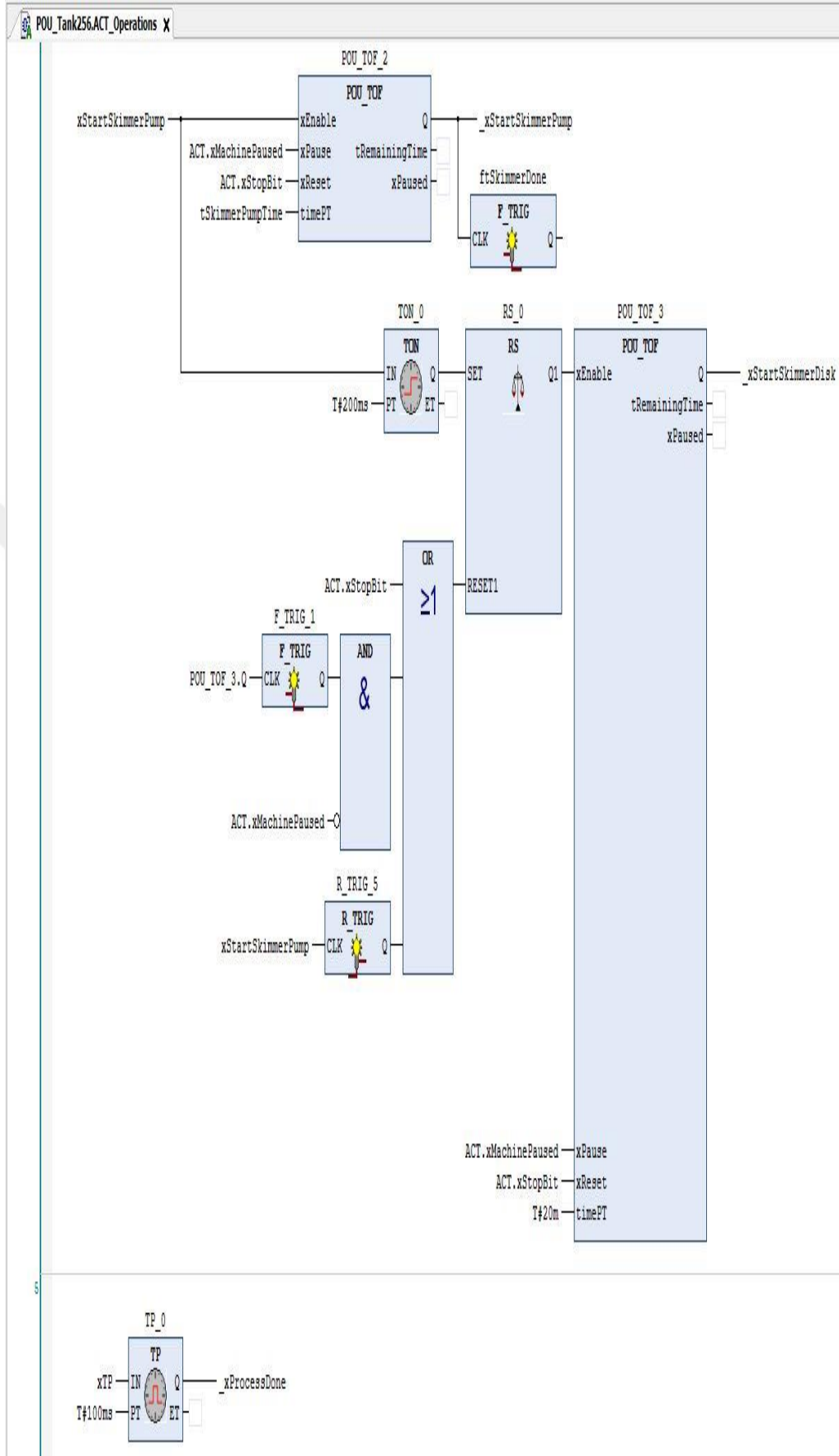
(a)

Şekil A.3 : 2., 5., 6., kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



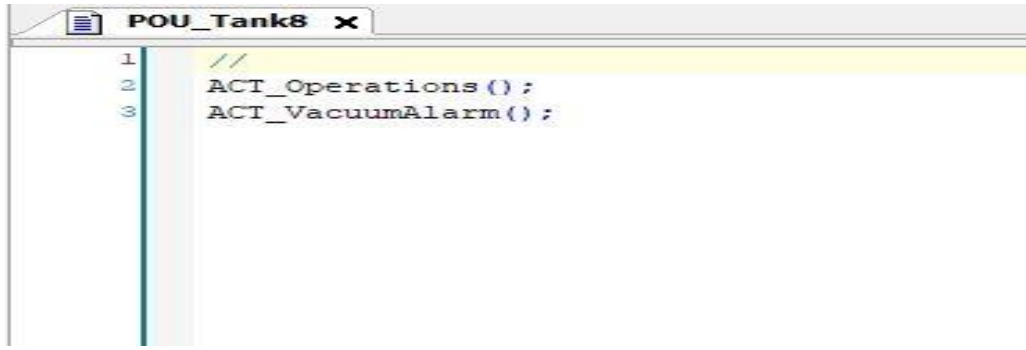
(b)

Şekil A.3 (devam): 2., 5., 6. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



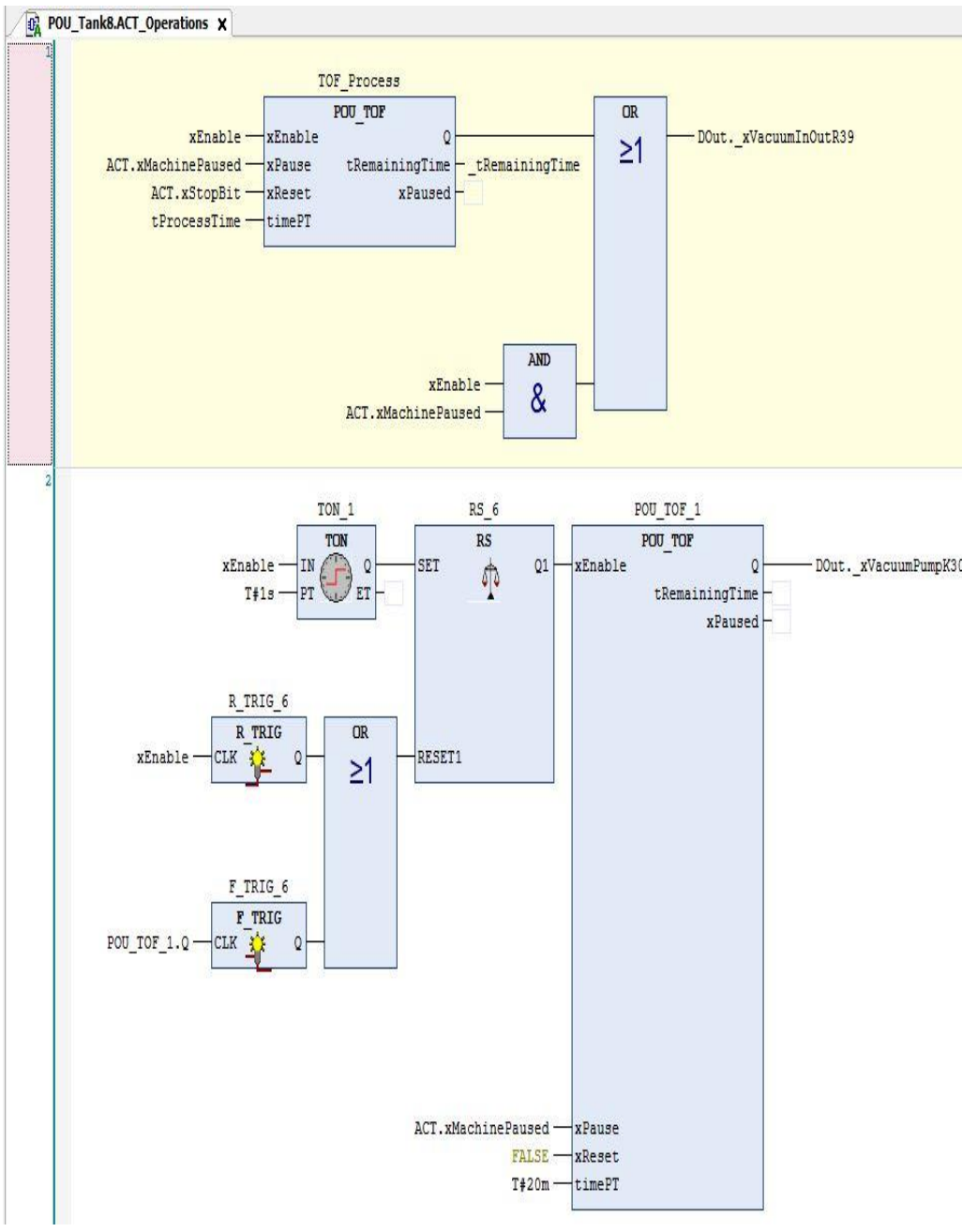
(c)

Şekil A.3 (devam): 2., 5., 6. kazan kontrol bloklarını oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



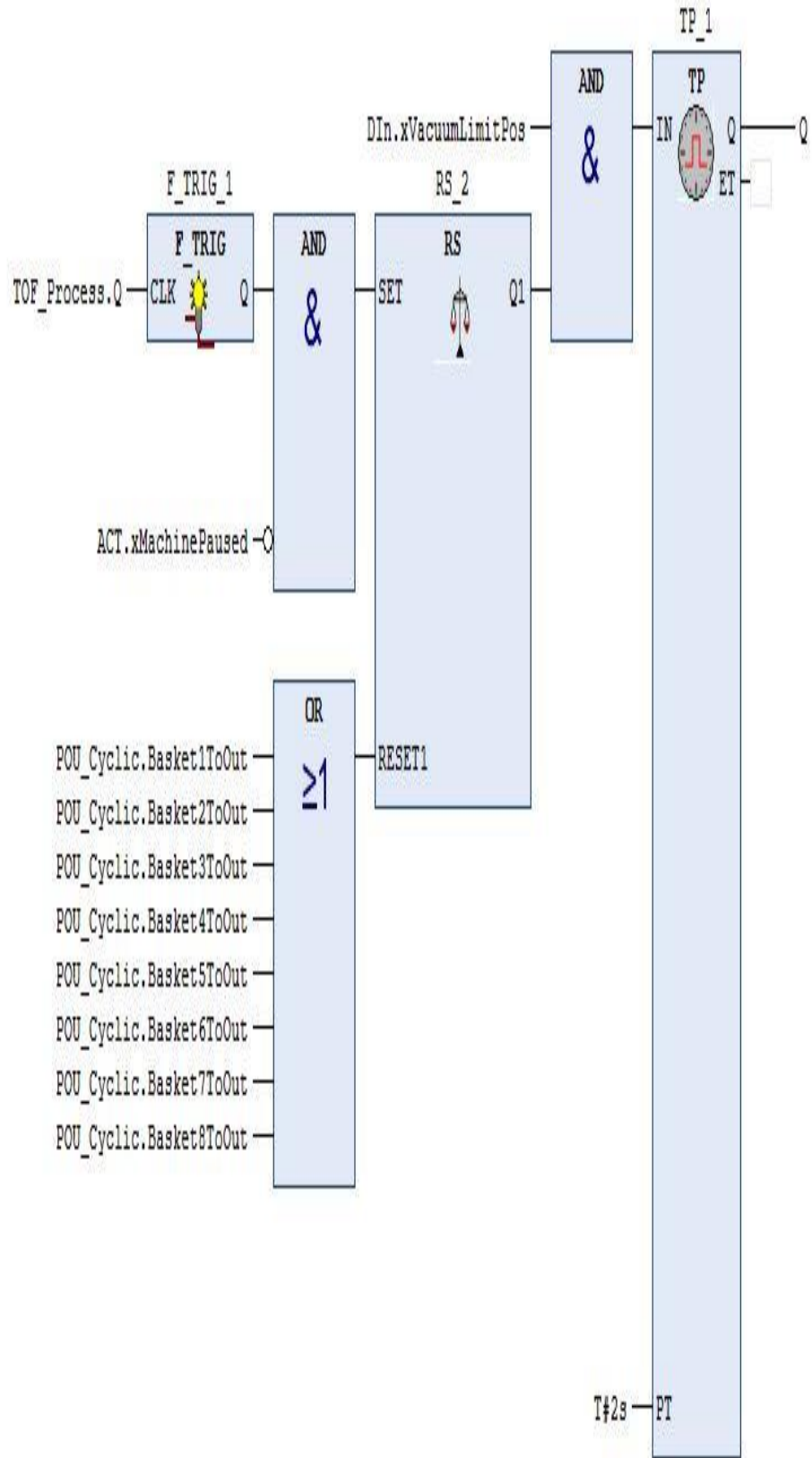
(a)

Şekil A.4 : 8. kazan kontrol bloğunu oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.



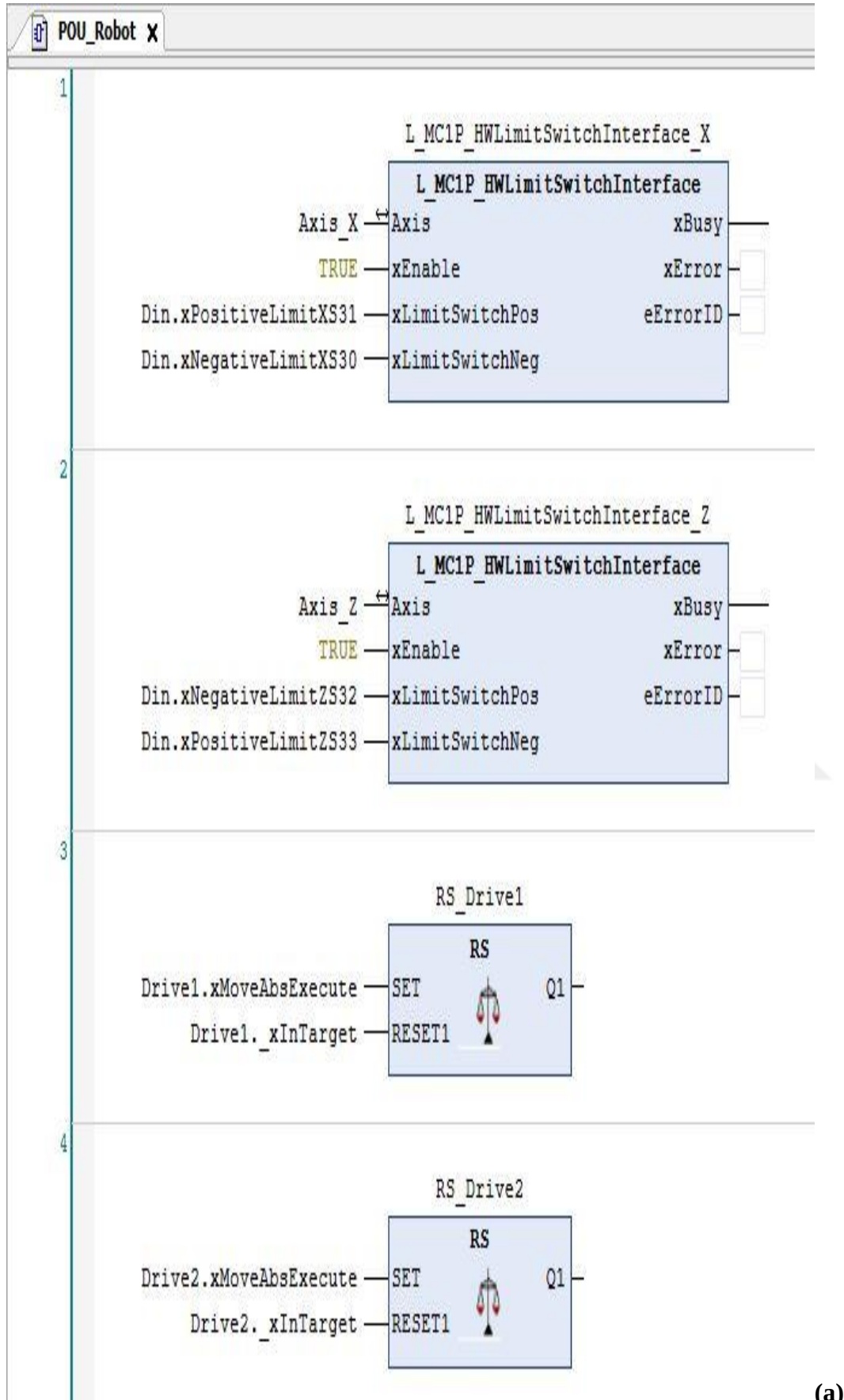
(b)

Şekil A.4 (devam): 8. kazan kontrol bloğunu oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.

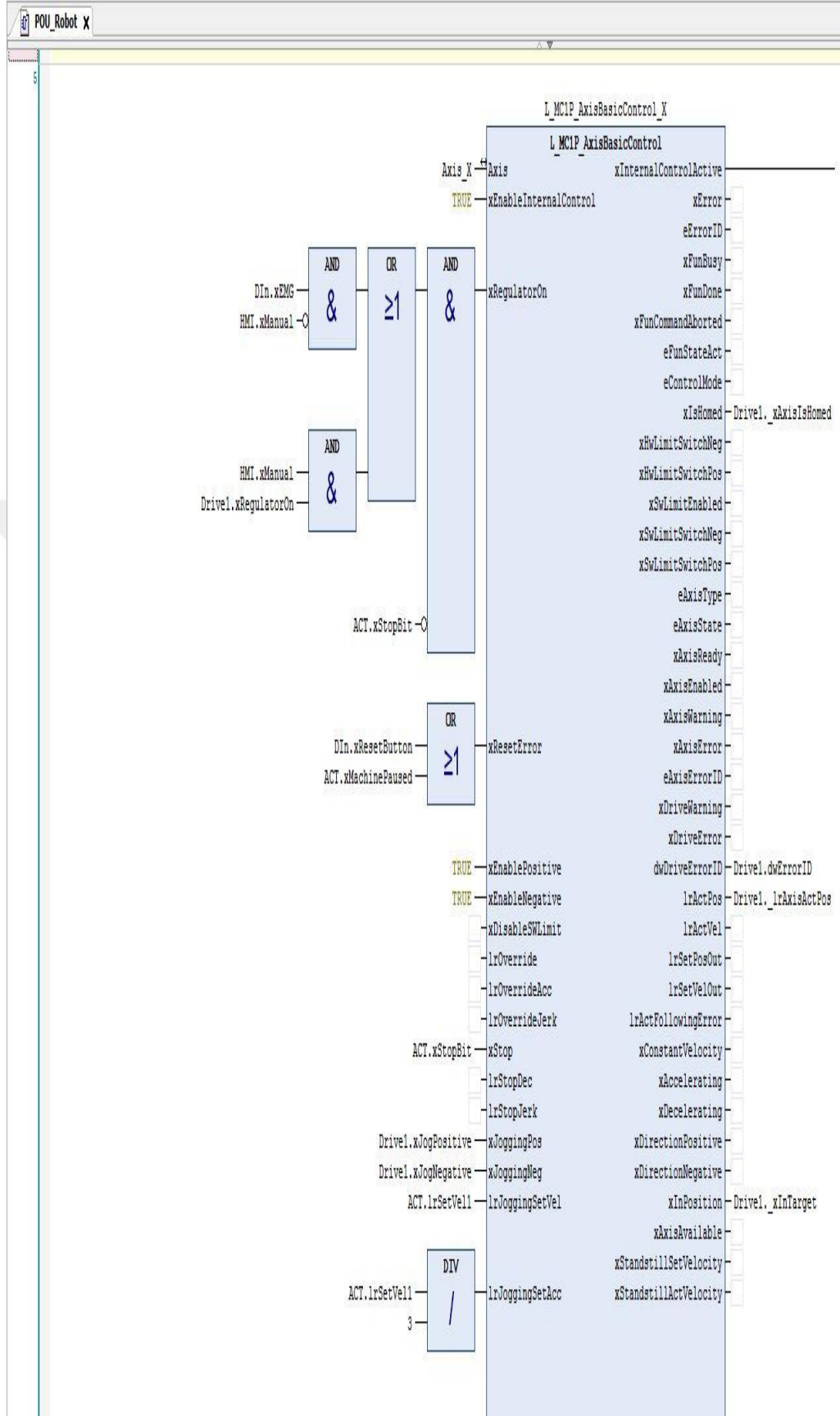


(c)

Şekil A.4 (devam): 8. kazan kontrol bloğunu oluşturan kodlar: (a) İşlemleri takip eden ana program. (b) Alt program. (c) Alt programın devamı.

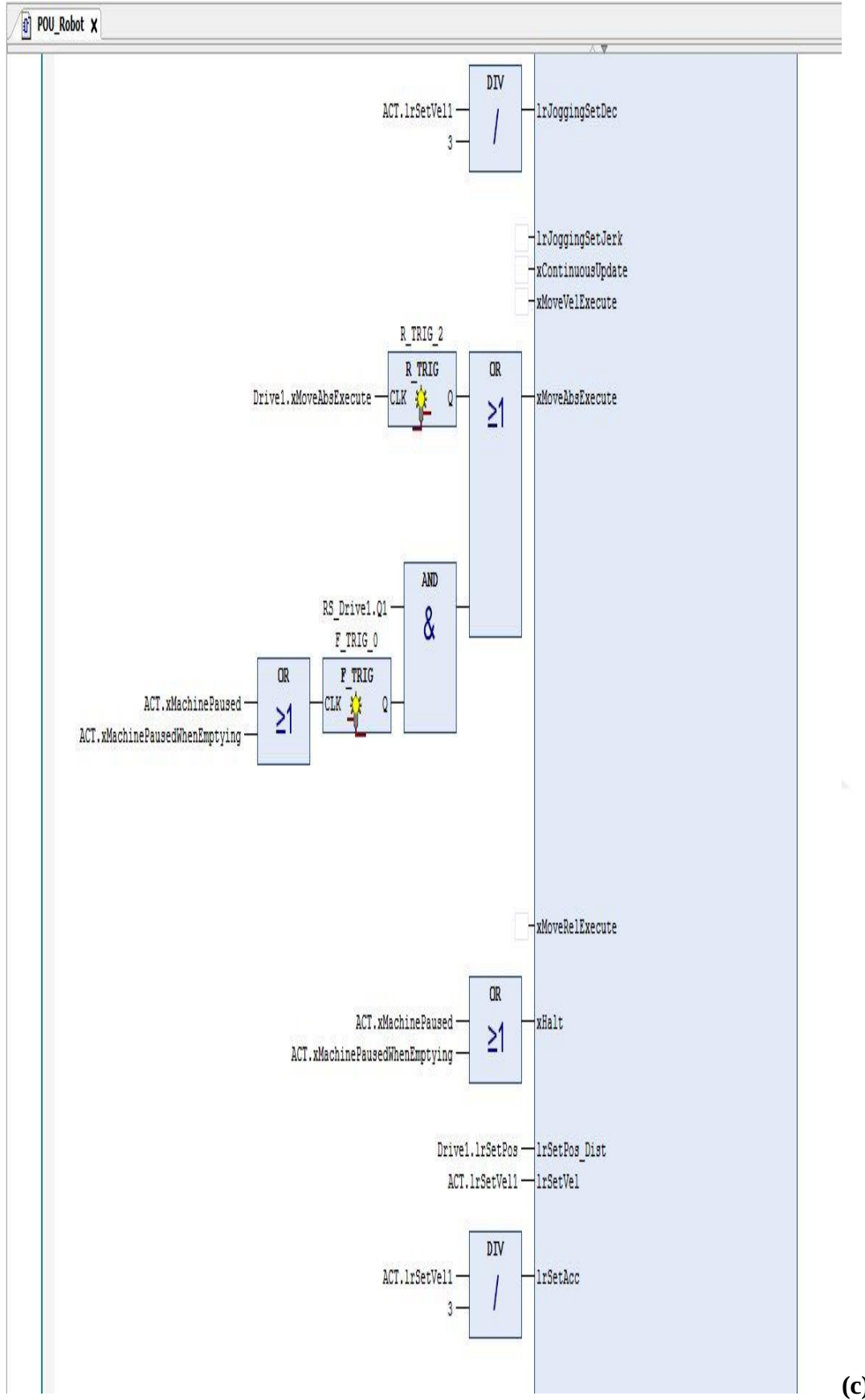


Şekil A.5 : 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.



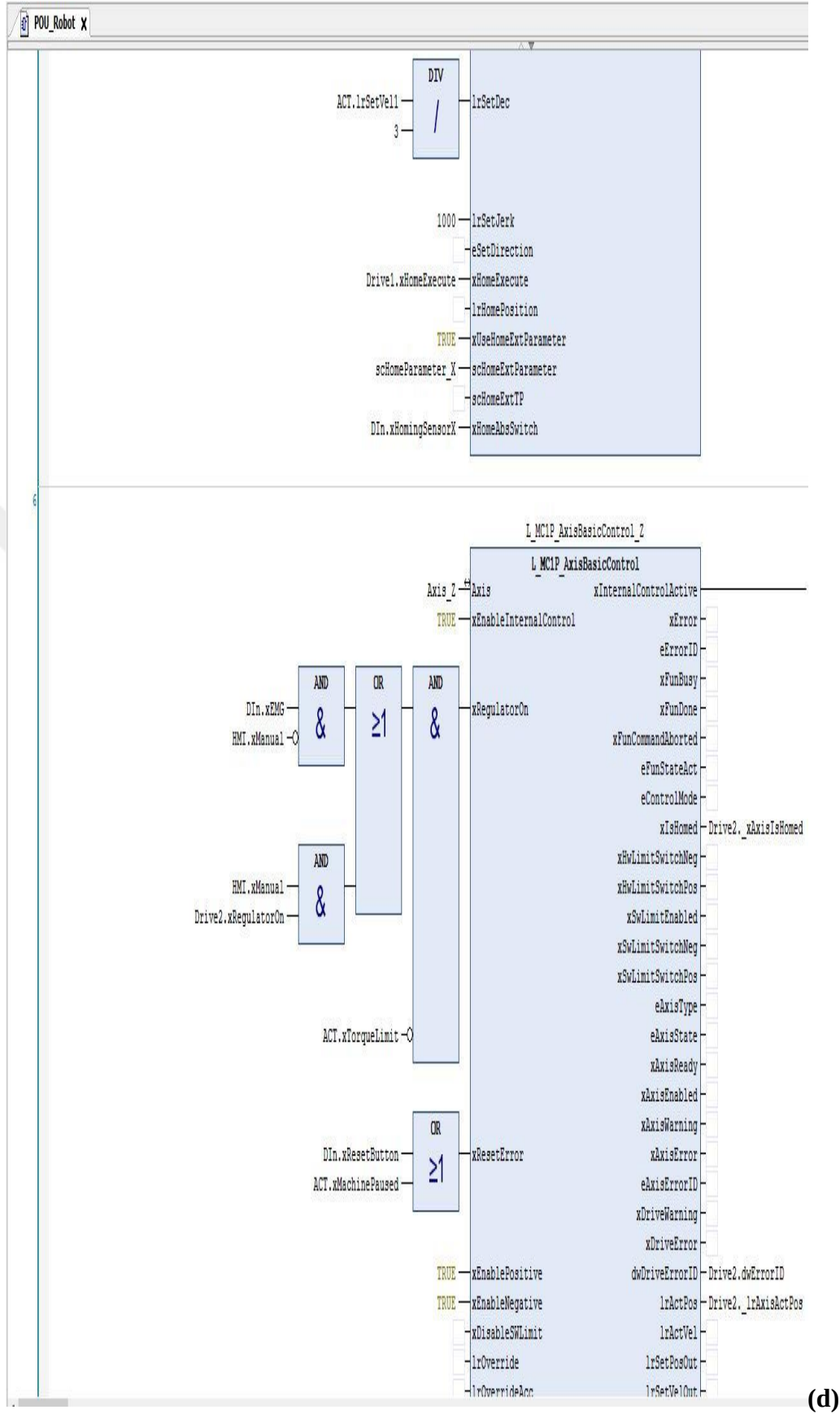
(b)

Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

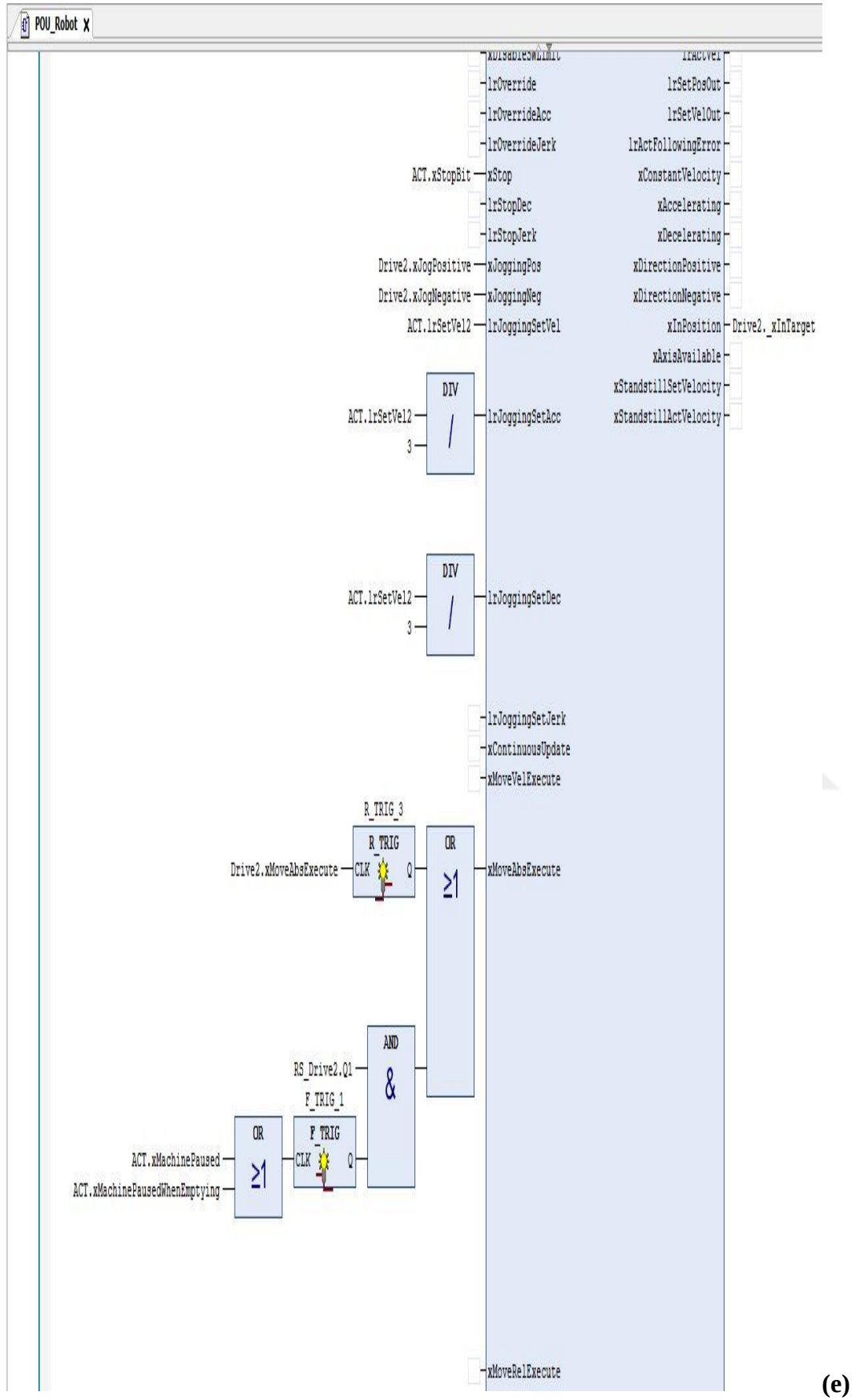


(c)

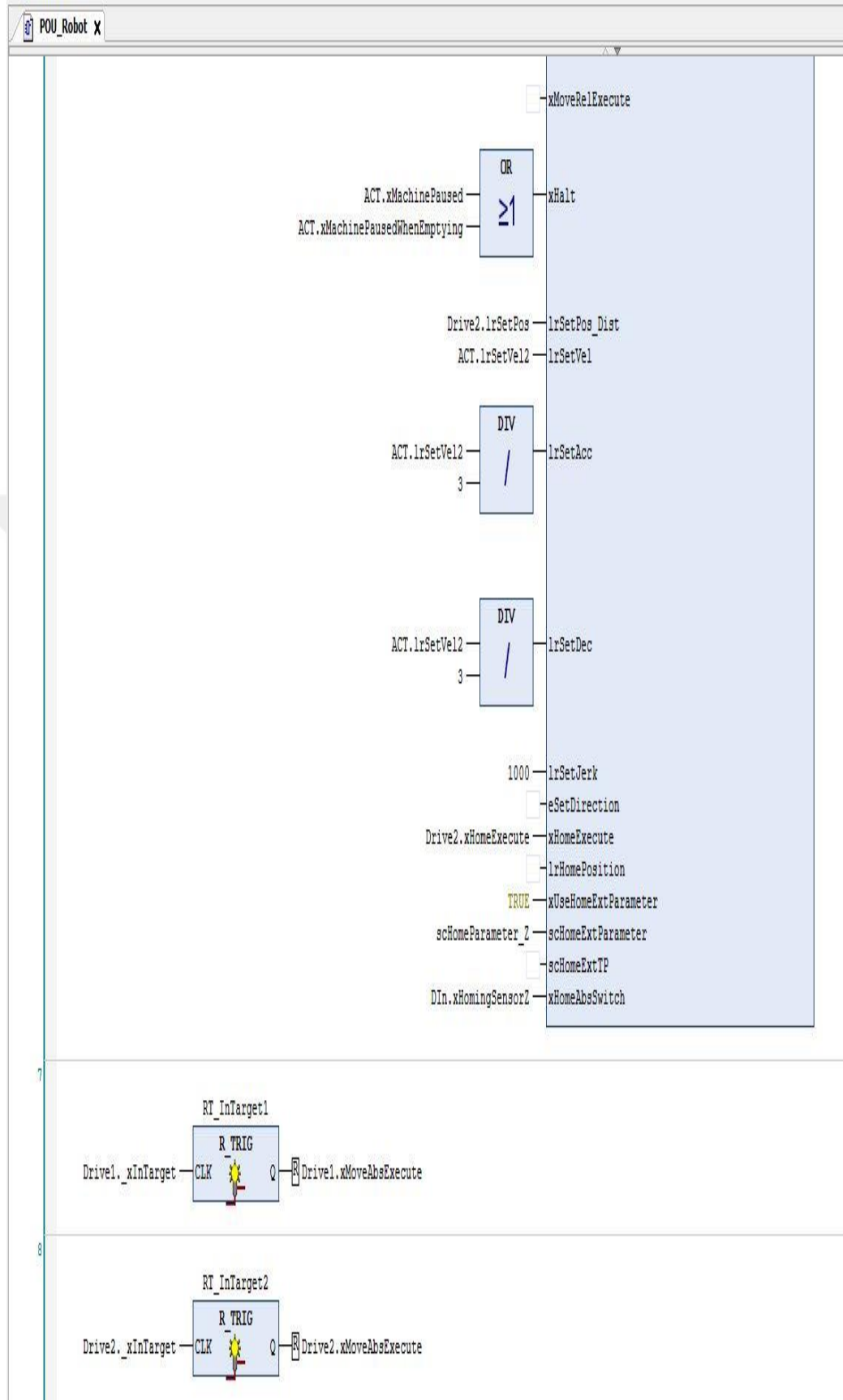
Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.



Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

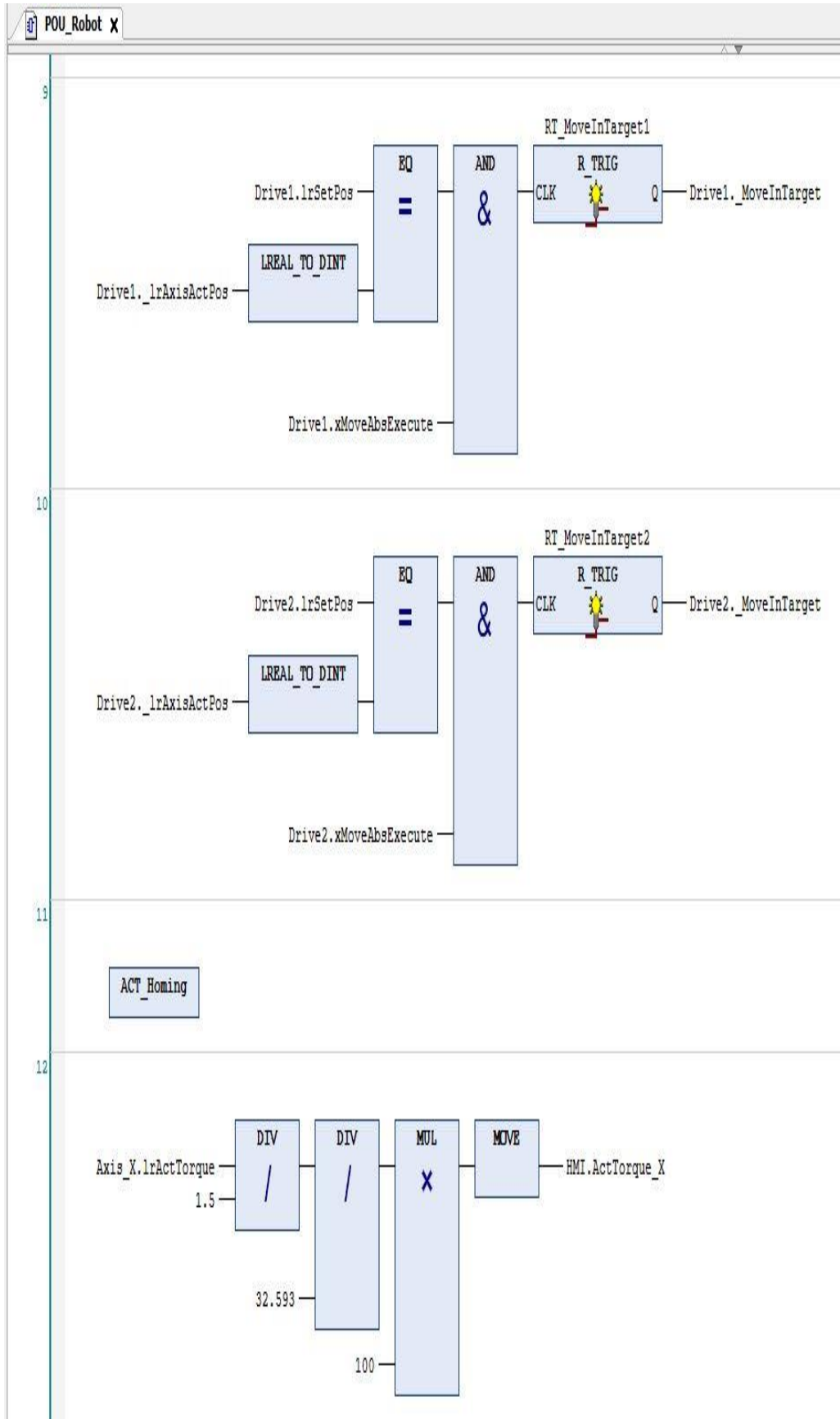


Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.



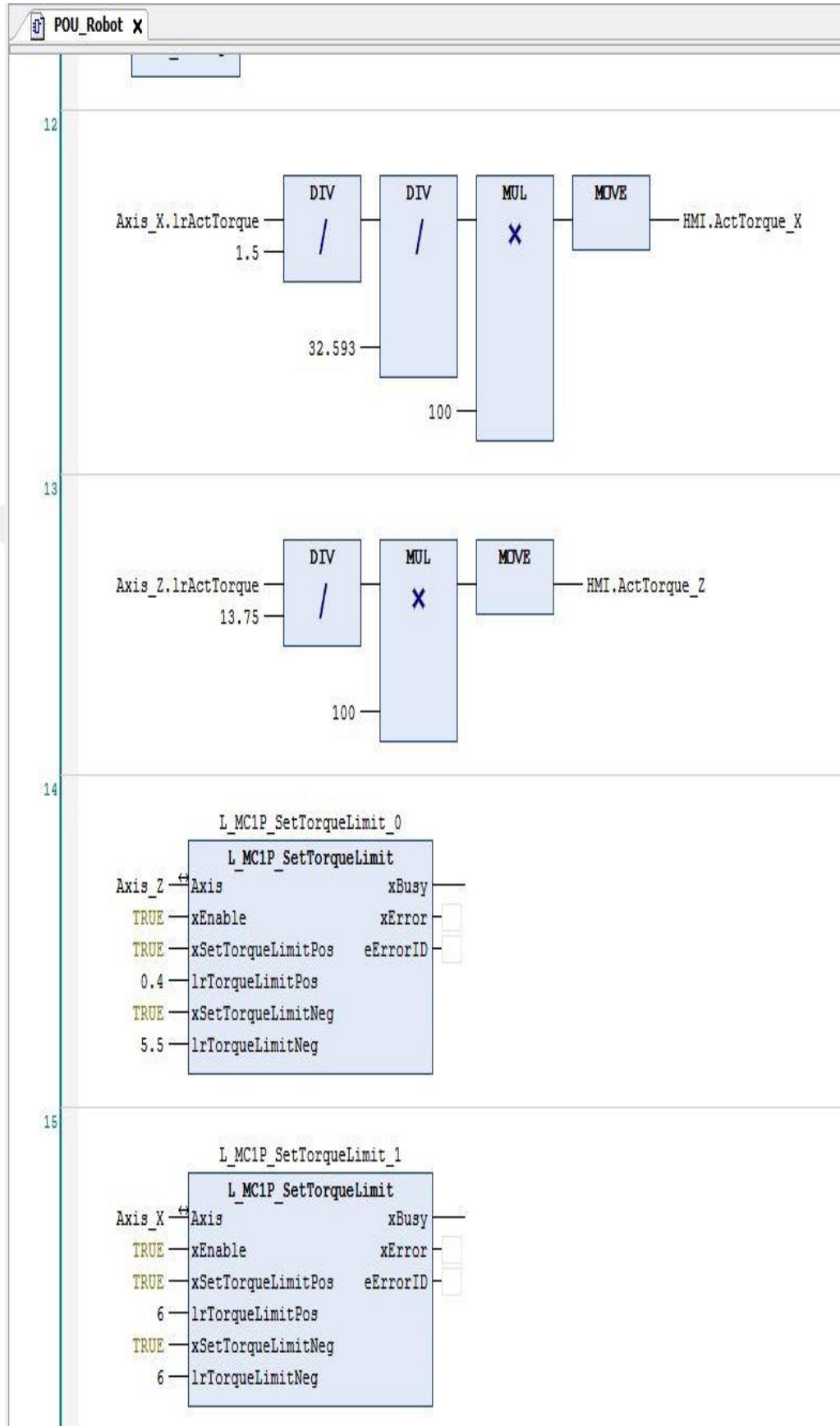
(f)

Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.



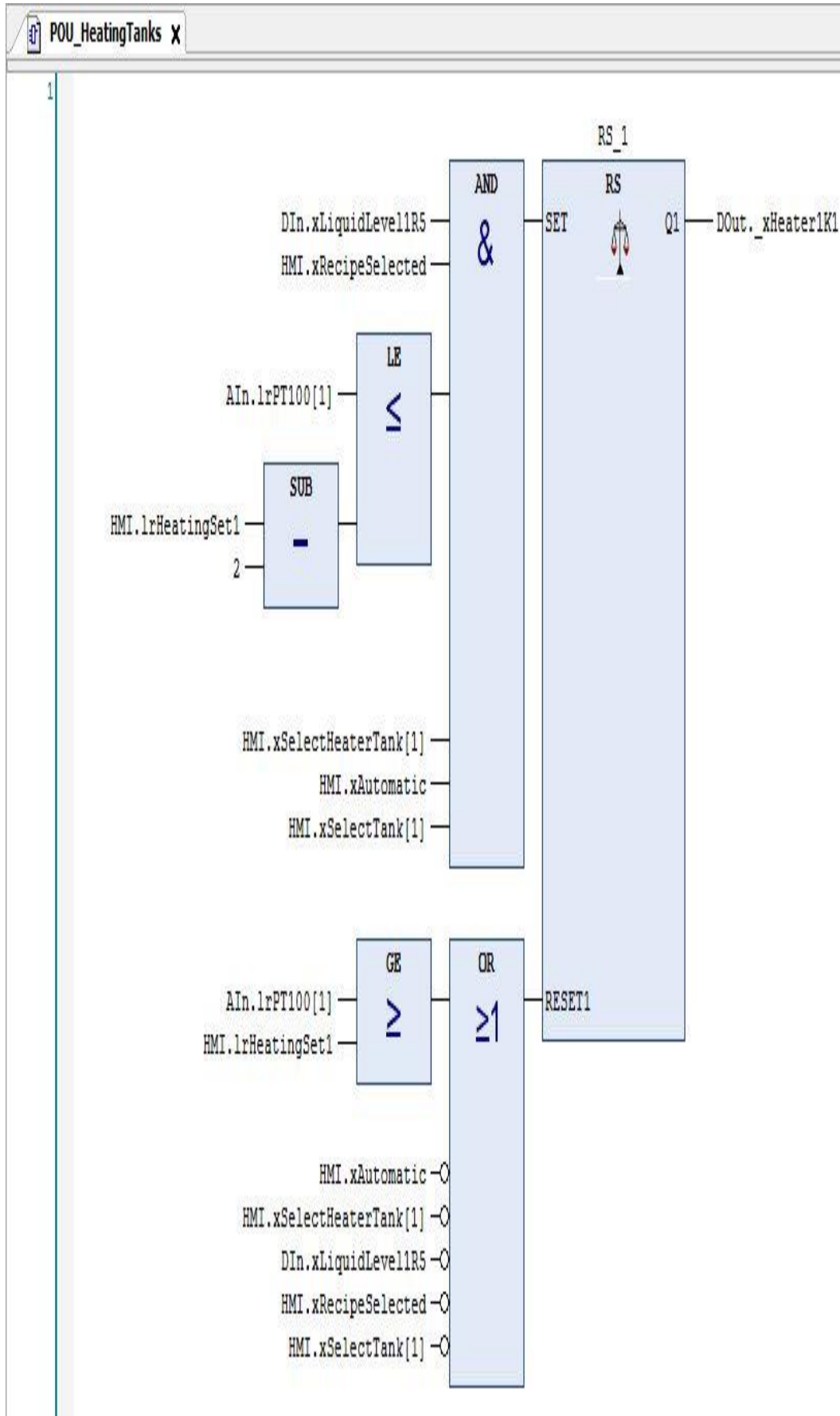
(g)

Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

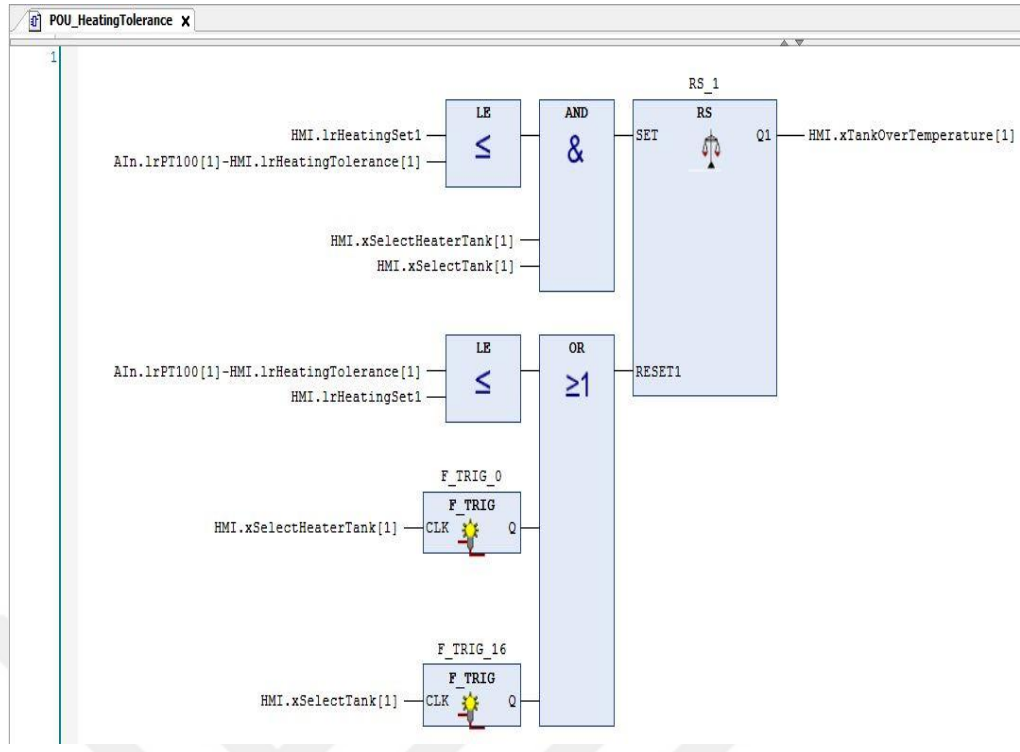


(h)

Şekil A.5 (devam): 2 eksenli robot kontrol programı: (a) Tüm bloklar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

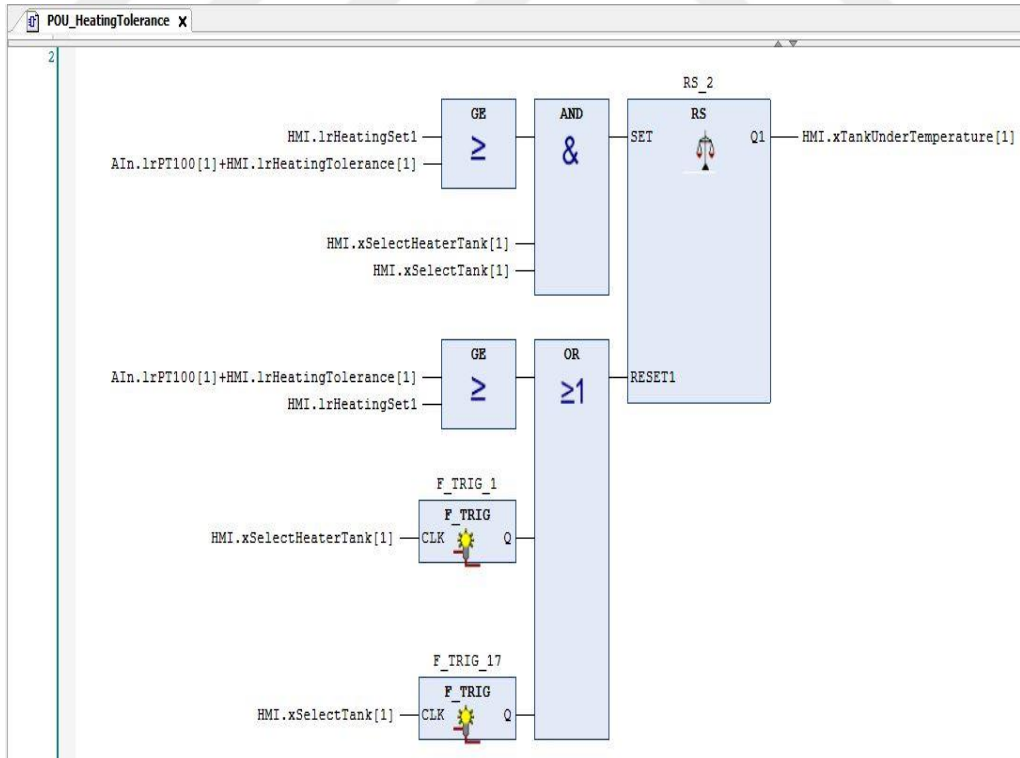


Şekil A.6 : 1. kazan için sıcaklık kontrol kodu. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır.



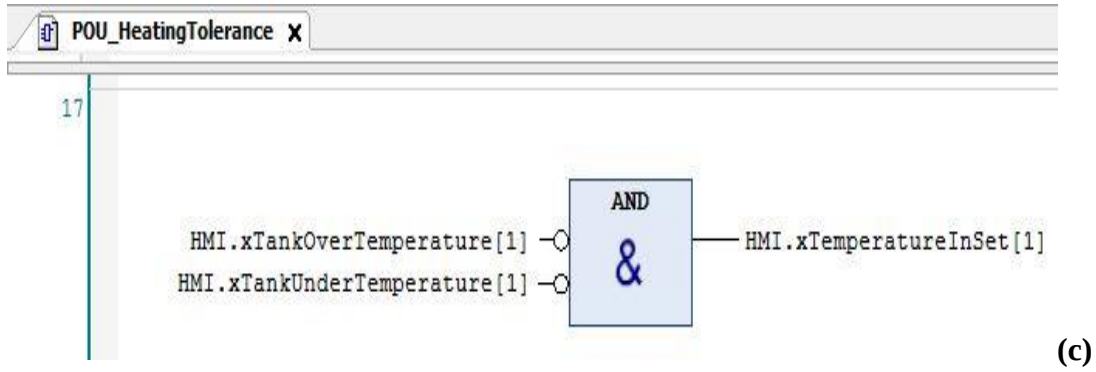
(a)

Şekil A.7 : 1. kazan için sıcaklık tolerans kontrolü. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır: (a) Sıcaklık yüksek alarmı. (b) Sıcaklık düşük alarmı. (c) Sıcaklıkların uygunluğu. (d) Herhangi bir kazandaki sıcaklık alarmı.

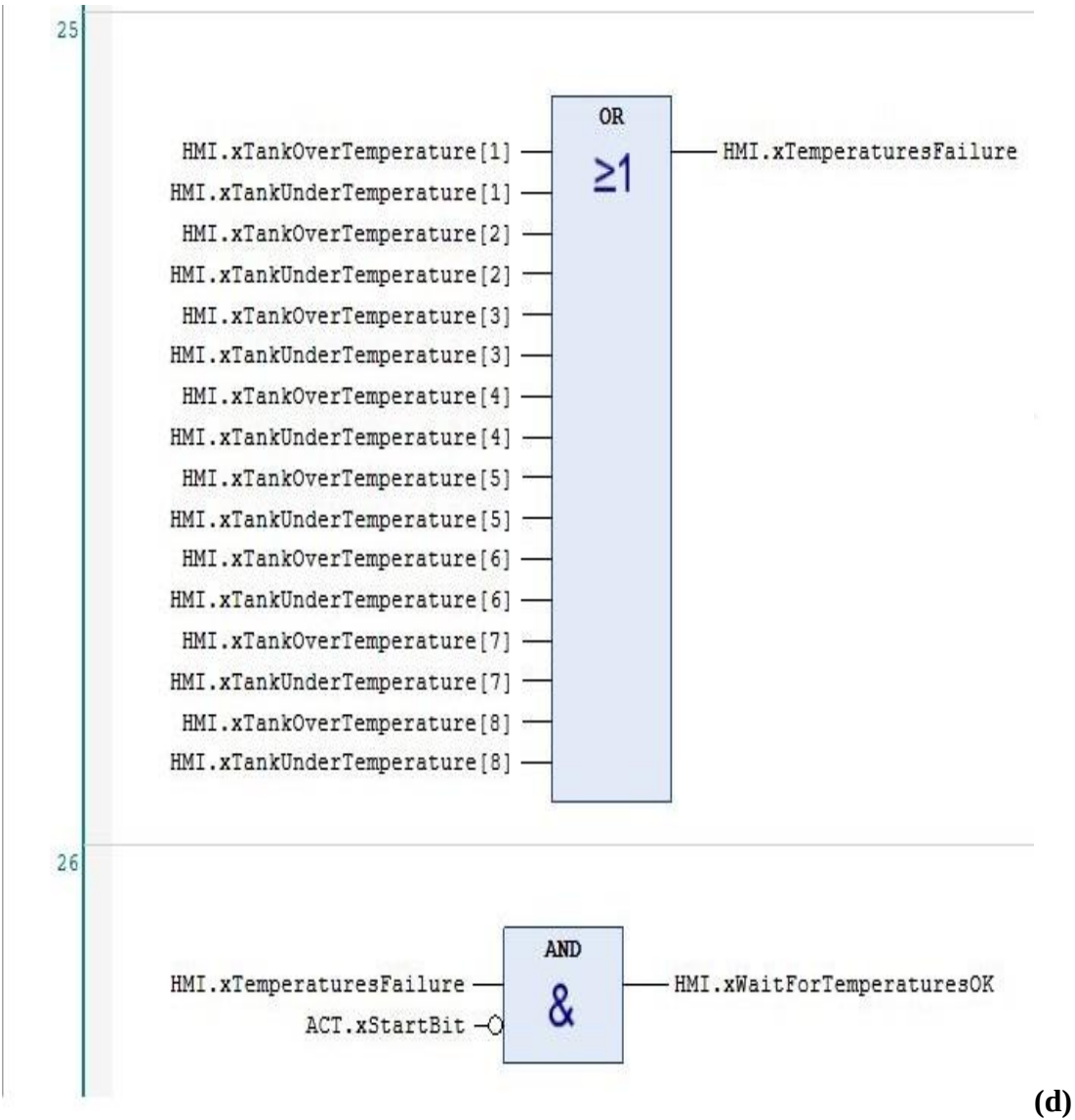


(b)

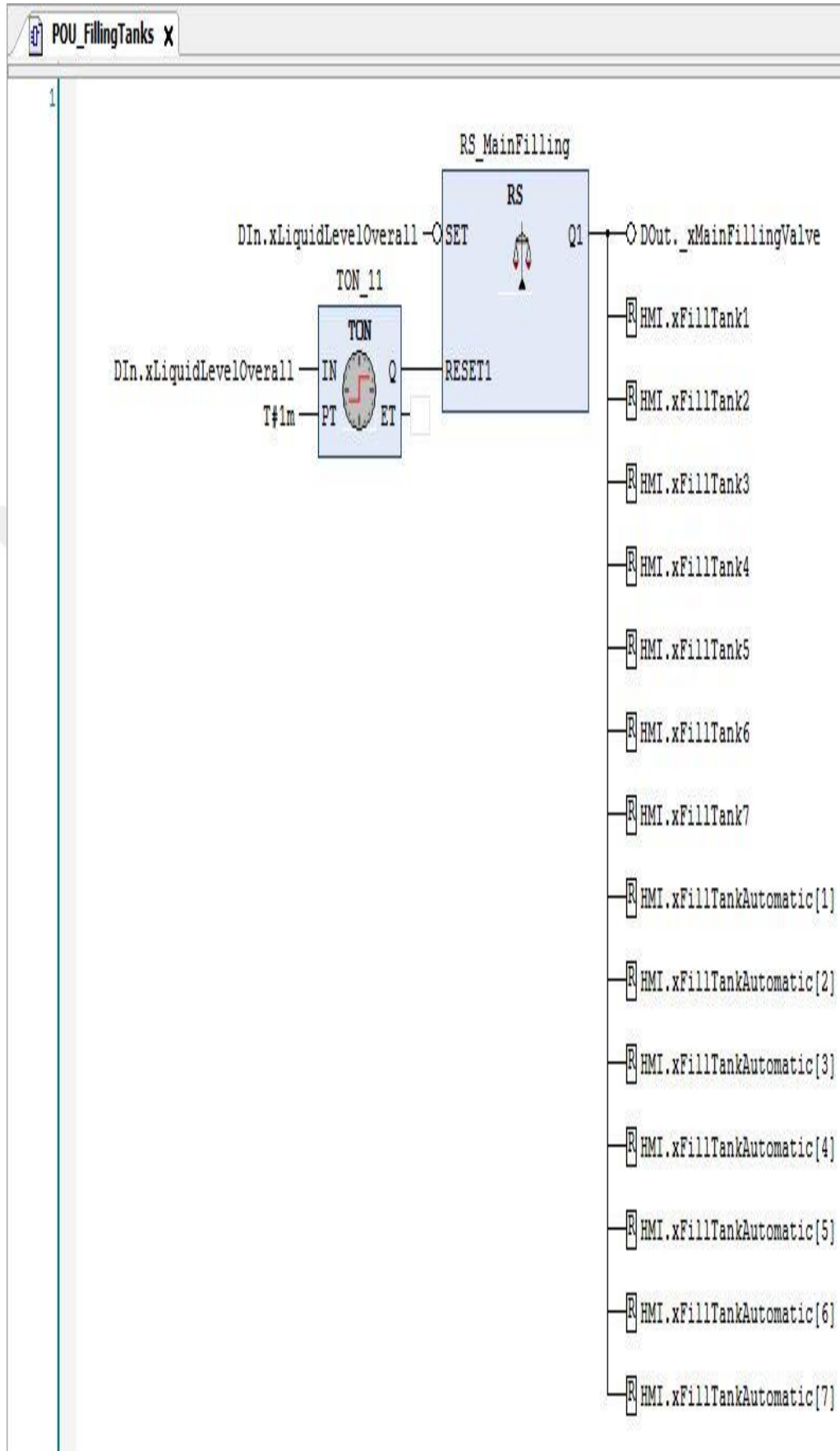
Şekil A.7 (devam): 1. kazan için sıcaklık tolerans kontrolü. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır: (a) Sıcaklık yüksek alarmı. (b) Sıcaklık düşük alarmı. (c) Sıcaklıkların uygunluğu. (d) Herhangi bir kazandaki sıcaklık alarmı.



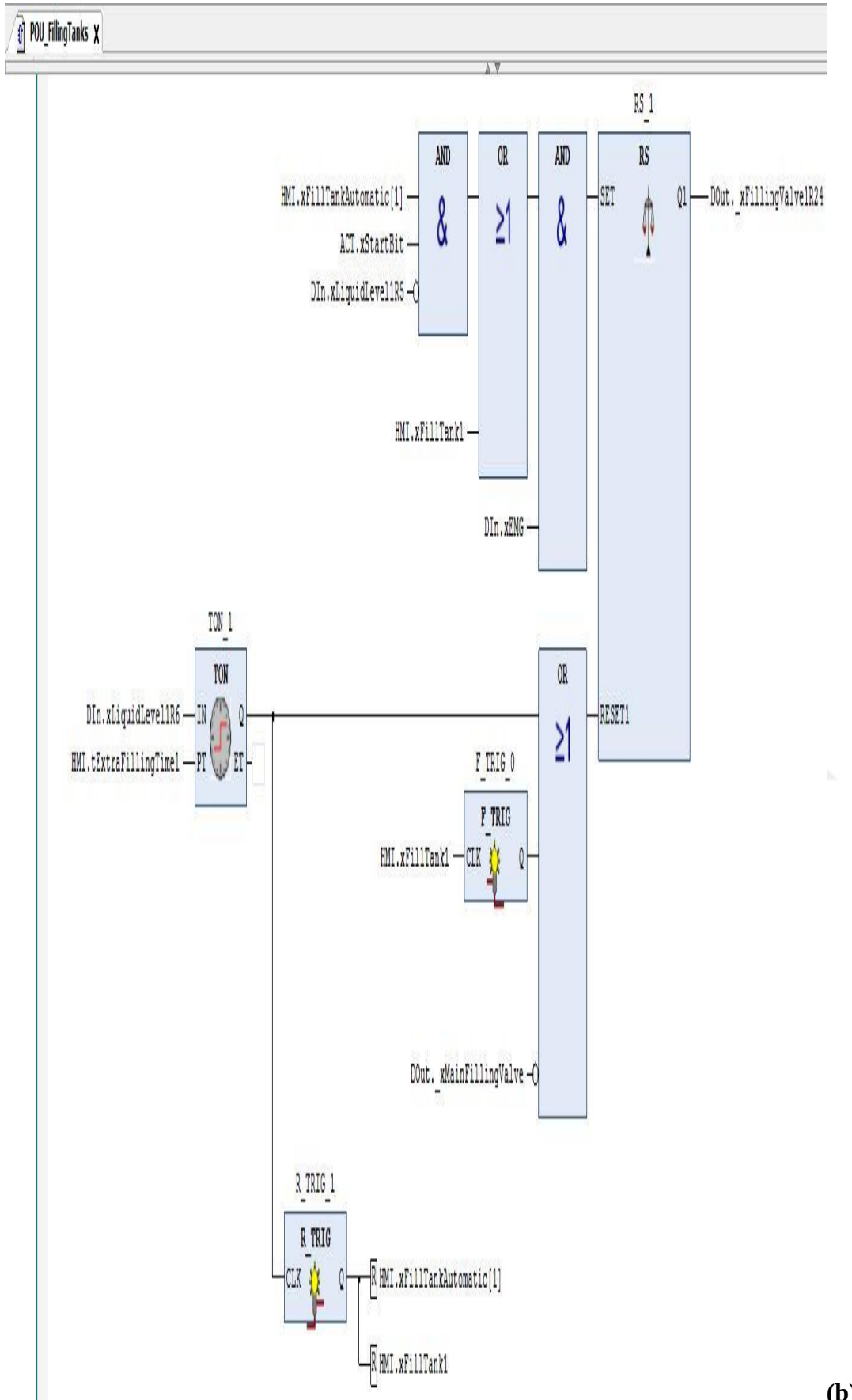
Şekil A.7 (devam): 1. kazan için sıcaklık tolerans kontrolü. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır: (a) Sıcaklık yüksek alarmı. (b) Sıcaklık düşük alarmı. (c) Sıcaklıkların uygunluğu. (d) Herhangi bir kazandaki sıcaklık alarmı.



Şekil A.7 (devam): 1. kazan için sıcaklık tolerans kontrolü. Bu kod [i] indis içindeki rakamın değişmesi koşulu ile diğer kazanlar için de ortaktır: (a) Sıcaklık yüksek alarmı. (b) Sıcaklık düşük alarmı. (c) Sıcaklıkların uygunluğu. (d) Herhangi bir kazandaki sıcaklık alarmı.

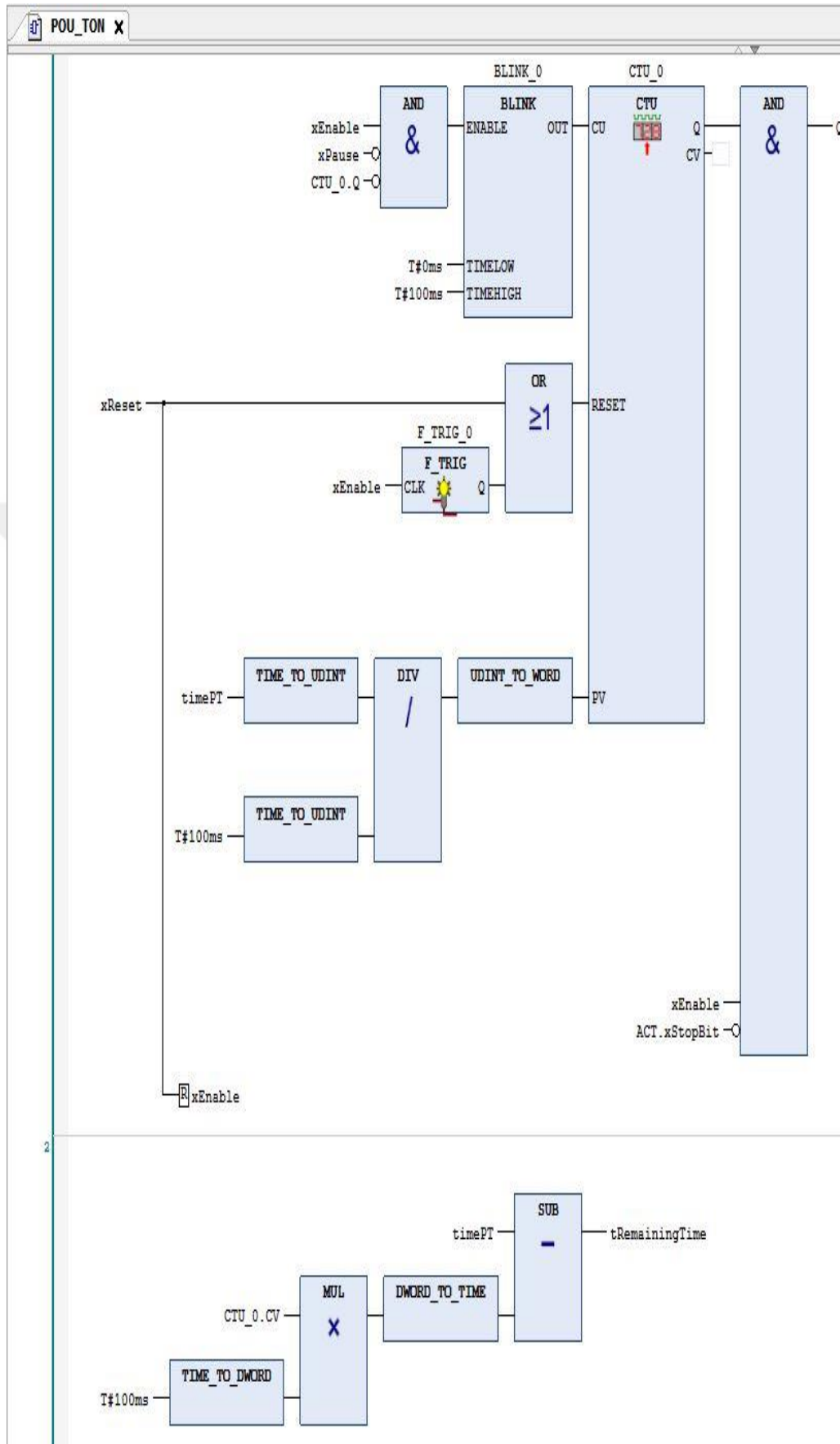


Şekil A.8 : Kazanlara sıvı dolum kontrolüne ait kodlar: (a) Ana dolum valfinin kontrolüne ait kodlar. (b) 1. kazan sıvı dolumuna ait kodlar.



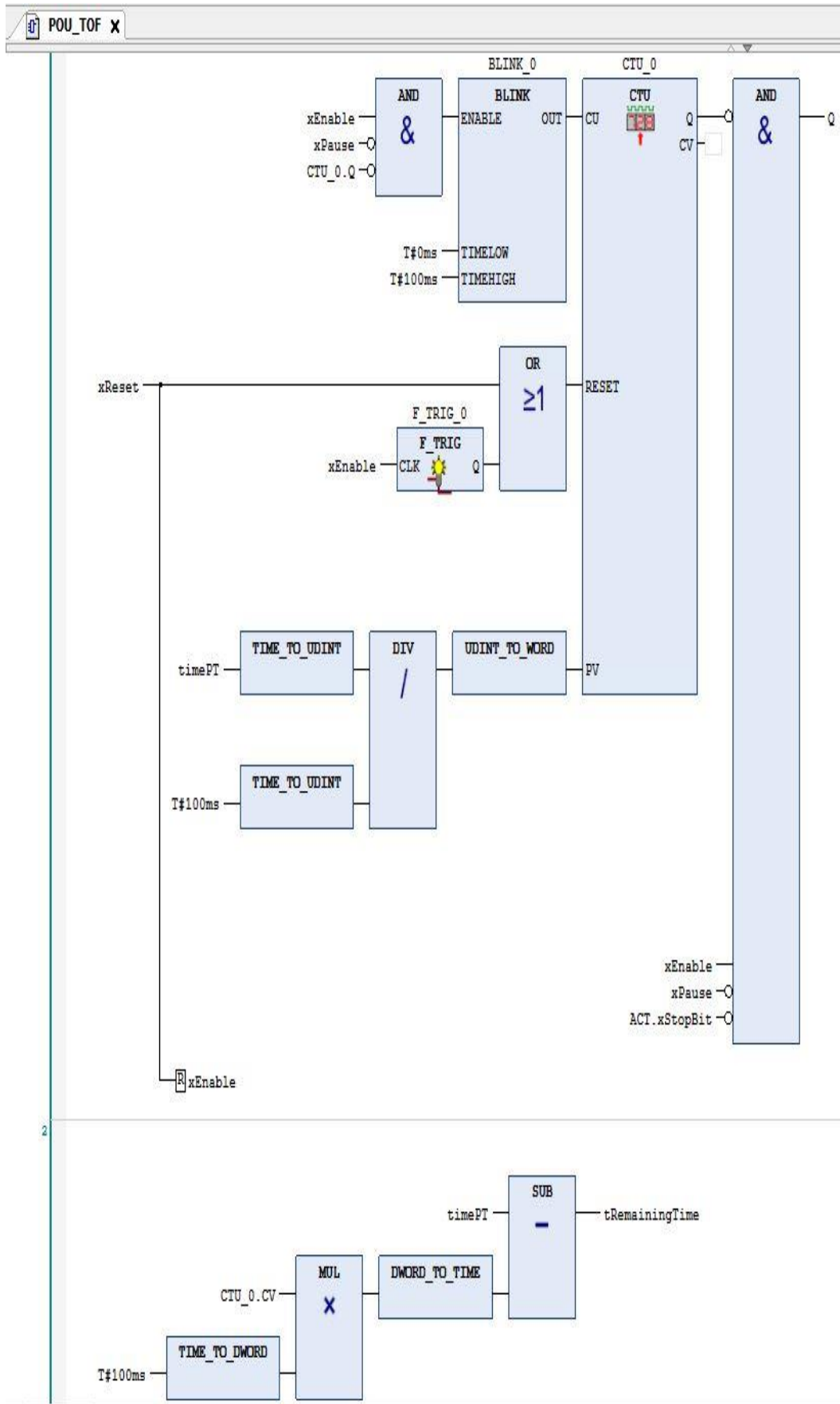
(b)

Şekil A.8 (devam): Kazanlara sıvı dolum kontrolüne ait kodlar: (a) Ana dolum valfinin kontrolüne ait kodlar. (b) 1. kazan sıvı dolumuna ait kodlar.



(a)

Şekil A.9 : Duraksama özellikli zamanlayıcılara ait kodlar: (a) Çekmede gecikmeli zamanlayıcı. (b) Bırakmada gecikmeli zamanlayıcı.



Şekil A.9 (devam): Duraksama özellikli zamanlayıcılara ait kodlar: (a) Çekmede gecikmeli zamanlayıcı. (b) Bırakmada gecikmeli zamanlayıcı.


```

POU_ByPass x
1 IF HMI.xAutomatic THEN
2
3 (*****HEATERS*****
4 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[1] THEN
5     ACT.xByPassAuxF[7] := TRUE;
6     ACT.xByPassAuxF[8] := TRUE;
7     ACT.xByPassAuxF[9] := TRUE;
8     ELSE
9     ACT.xByPassAuxF[7] := FALSE;
10    ACT.xByPassAuxF[8] := FALSE;
11    ACT.xByPassAuxF[9] := FALSE;
12 END_IF
13
14 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[2] THEN
15     ACT.xByPassAuxF[10] := TRUE;
16     ACT.xByPassAuxF[11] := TRUE;
17     ACT.xByPassAuxF[12] := TRUE;
18     ELSE
19     ACT.xByPassAuxF[10] := FALSE;
20     ACT.xByPassAuxF[11] := FALSE;
21     ACT.xByPassAuxF[12] := FALSE;
22 END_IF
23
24 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[3] THEN
25     ACT.xByPassAuxF[13] := TRUE;
26     ACT.xByPassAuxF[14] := TRUE;
27     ACT.xByPassAuxF[15] := TRUE;
28     ELSE
29     ACT.xByPassAuxF[13] := FALSE;
30     ACT.xByPassAuxF[14] := FALSE;
31     ACT.xByPassAuxF[15] := FALSE;
32 END_IF
33
34 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[4] THEN
35     ACT.xByPassAuxF[16] := TRUE;
36     ACT.xByPassAuxF[17] := TRUE;
37     ACT.xByPassAuxF[18] := TRUE;
38     ELSE
39     ACT.xByPassAuxF[16] := FALSE;
40     ACT.xByPassAuxF[17] := FALSE;
41     ACT.xByPassAuxF[18] := FALSE;
42 END_IF
43
44 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[5] THEN
45     ACT.xByPassAuxF[19] := TRUE;
46     ACT.xByPassAuxF[20] := TRUE;
47     ACT.xByPassAuxF[21] := TRUE;
48     ELSE
49     ACT.xByPassAuxF[19] := FALSE;

```

(a)

```

POU_ByPass x
44 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[5] THEN
45     ACT.xByPassAuxF[19] := TRUE;
46     ACT.xByPassAuxF[20] := TRUE;
47     ACT.xByPassAuxF[21] := TRUE;
48     ELSE
49     ACT.xByPassAuxF[19] := FALSE;
50     ACT.xByPassAuxF[20] := FALSE;
51     ACT.xByPassAuxF[21] := FALSE;
52 END_IF
53
54 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[6] THEN
55     ACT.xByPassAuxF[22] := TRUE;
56     ACT.xByPassAuxF[23] := TRUE;
57     ACT.xByPassAuxF[24] := TRUE;
58     ELSE
59     ACT.xByPassAuxF[22] := FALSE;
60     ACT.xByPassAuxF[23] := FALSE;
61     ACT.xByPassAuxF[24] := FALSE;
62 END_IF
63
64 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[7] THEN
65     ACT.xByPassAuxF[25] := TRUE;
66     ACT.xByPassAuxF[26] := TRUE;
67     ACT.xByPassAuxF[27] := TRUE;
68     ELSE
69     ACT.xByPassAuxF[25] := FALSE;
70     ACT.xByPassAuxF[26] := FALSE;
71     ACT.xByPassAuxF[27] := FALSE;
72 END_IF
73
74 IF NOT HMI.xSelectHeaterTank[8] THEN
75     ACT.xByPassAuxF[28] := TRUE;
76     ACT.xByPassAuxF[29] := TRUE;
77     ACT.xByPassAuxF[30] := TRUE;
78     ELSE
79     ACT.xByPassAuxF[28] := FALSE;
80     ACT.xByPassAuxF[29] := FALSE;
81     ACT.xByPassAuxF[30] := FALSE;
82 END_IF
83
84 (*****ULTRASONICS*****
85 IF NOT HMI.xSelectUltrasonic1 THEN
86     ACT.xByPassAuxF[31] := TRUE;
87     ACT.xByPassAuxF[32] := TRUE;
88     ACT.xByPassAuxF[33] := TRUE;
89     ACT.xByPassAuxF[34] := TRUE;
90     ELSE
91     ACT.xByPassAuxF[31] := FALSE;
92     ACT.xByPassAuxF[32] := FALSE;

```

(b)

Şekil A.10 : Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.(c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

```

185 IF NOT HMI.xSelectUltrasonic1 THEN
186     ACT.xByPassAuxF[31] := TRUE;
187     ACT.xByPassAuxF[32] := TRUE;
188     ACT.xByPassAuxF[33] := TRUE;
189     ACT.xByPassAuxF[34] := TRUE;
190     ELSE
191     ACT.xByPassAuxF[31] := FALSE;
192     ACT.xByPassAuxF[32] := FALSE;
193     ACT.xByPassAuxF[33] := FALSE;
194     ACT.xByPassAuxF[34] := FALSE;
195 END_IF
196
197 IF NOT HMI.xSelectUltrasonic3 THEN
198     ACT.xByPassAuxF[35] := TRUE;
199     ACT.xByPassAuxF[36] := TRUE;
200     ACT.xByPassAuxF[37] := TRUE;
201     ACT.xByPassAuxF[38] := TRUE;
202     ELSE
203     ACT.xByPassAuxF[35] := FALSE;
204     ACT.xByPassAuxF[36] := FALSE;
205     ACT.xByPassAuxF[37] := FALSE;
206     ACT.xByPassAuxF[38] := FALSE;
207 END_IF
208
209 IF NOT HMI.xSelectUltrasonic4 THEN
210     ACT.xByPassAuxF[39] := TRUE;
211     ACT.xByPassAuxF[40] := TRUE;
212     ACT.xByPassAuxF[41] := TRUE;
213     ACT.xByPassAuxF[42] := TRUE;
214     ELSE
215     ACT.xByPassAuxF[39] := FALSE;
216     ACT.xByPassAuxF[40] := FALSE;
217     ACT.xByPassAuxF[41] := FALSE;
218     ACT.xByPassAuxF[42] := FALSE;
219 END_IF
220
221 (*****FILTRATION PUMPS*****)
222
223 IF NOT HMI.xFiltrationPump[1] THEN
224     ACT.xByPassAuxQ[2] := TRUE;
225     ELSE
226     ACT.xByPassAuxQ[2] := FALSE;
227 END_IF
228
229 IF NOT HMI.xFiltrationPump[2] THEN
230     ACT.xByPassAuxQ[4] := TRUE;
231     ELSE
232     ACT.xByPassAuxQ[4] := FALSE;
233 END_IF

```

(c)

```

128
129 IF NOT HMI.xFiltrationPump[2] THEN
130     ACT.xByPassAuxQ[4] := TRUE;
131     ELSE
132     ACT.xByPassAuxQ[4] := FALSE;
133 END_IF
134
135 IF NOT HMI.xFiltrationPump[3] THEN
136     ACT.xByPassAuxQ[6] := TRUE;
137     ELSE
138     ACT.xByPassAuxQ[6] := FALSE;
139 END_IF
140
141 IF NOT HMI.xFiltrationPump[4] THEN
142     ACT.xByPassAuxQ[8] := TRUE;
143     ELSE
144     ACT.xByPassAuxQ[8] := FALSE;
145 END_IF
146
147 IF NOT HMI.xFiltrationPump[5] THEN
148     ACT.xByPassAuxQ[10] := TRUE;
149     ELSE
150     ACT.xByPassAuxQ[10] := FALSE;
151 END_IF
152
153 IF NOT HMI.xFiltrationPump[6] THEN
154     ACT.xByPassAuxQ[12] := TRUE;
155     ELSE
156     ACT.xByPassAuxQ[12] := FALSE;
157 END_IF
158
159 (*****OIL SKIMMER DISKS*****)
160
161 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[1] THEN
162     ACT.xByPassAuxQ[14] := TRUE;
163     ELSE
164     ACT.xByPassAuxQ[14] := FALSE;
165 END_IF
166
167 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[2] THEN
168     ACT.xByPassAuxQ[15] := TRUE;
169     ELSE
170     ACT.xByPassAuxQ[15] := FALSE;
171 END_IF
172
173 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[3] THEN
174     ACT.xByPassAuxQ[16] := TRUE;
175     ELSE
176     ACT.xByPassAuxQ[16] := FALSE;

```

(d)

Şekil A.10 (devam): Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.(c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.


```

POU_ByPass X
173 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[3] THEN
174     ACT.xByPassAuxQ[16] := TRUE;
175 ELSE
176     ACT.xByPassAuxQ[16] := FALSE;
177 END_IF
178
179 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[4] THEN
180     ACT.xByPassAuxQ[17] := TRUE;
181 ELSE
182     ACT.xByPassAuxQ[17] := FALSE;
183 END_IF
184
185 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[5] THEN
186     ACT.xByPassAuxQ[18] := TRUE;
187 ELSE
188     ACT.xByPassAuxQ[18] := FALSE;
189 END_IF
190
191 IF NOT HMI.xOilSkimmerDisk[6] THEN
192     ACT.xByPassAuxQ[19] := TRUE;
193 ELSE
194     ACT.xByPassAuxQ[19] := FALSE;
195 END_IF
196
197 (*****OIL SKIMMER PUMPS*****)
198
199 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[1] THEN
200     ACT.xByPassAuxQ[3] := TRUE;
201 ELSE
202     ACT.xByPassAuxQ[3] := FALSE;
203 END_IF
204
205 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[2] THEN
206     ACT.xByPassAuxQ[5] := TRUE;
207 ELSE
208     ACT.xByPassAuxQ[5] := FALSE;
209 END_IF
210
211 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[3] THEN
212     ACT.xByPassAuxQ[7] := TRUE;
213 ELSE
214     ACT.xByPassAuxQ[7] := FALSE;
215 END_IF
216
217 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[4] THEN
218     ACT.xByPassAuxQ[9] := TRUE;
219 ELSE
220     ACT.xByPassAuxQ[9] := FALSE;
221 END_IF

```

(e)

```

POU_ByPass X
217 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[4] THEN
218     ACT.xByPassAuxQ[9] := TRUE;
219 ELSE
220     ACT.xByPassAuxQ[9] := FALSE;
221 END_IF
222
223 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[5] THEN
224     ACT.xByPassAuxQ[11] := TRUE;
225 ELSE
226     ACT.xByPassAuxQ[11] := FALSE;
227 END_IF
228
229 IF NOT HMI.xOilSkimmerPump[6] THEN
230     ACT.xByPassAuxQ[13] := TRUE;
231 ELSE
232     ACT.xByPassAuxQ[13] := FALSE;
233 END_IF
234
235 (*****VACUUM PUMPS*****)
236
237 IF NOT HMI.xVacuumPump THEN
238     ACT.xByPassAuxQ[20] := TRUE;
239 ELSE
240     ACT.xByPassAuxQ[20] := FALSE;
241 END_IF
242
243 END_IF
244
245 ftSelectAll(CLK:=HMI.xManual);
246
247
248 IF ftSelectAll.Q THEN
249     HMI.xSelectHeaterTank[1] := TRUE;
250     HMI.xSelectUltrasonic1 := TRUE;
251     HMI.xFiltrationPump[1] := TRUE;
252     HMI.xOilSkimmerDisk[1] := TRUE;
253     HMI.xOilSkimmerPump[1] := TRUE;
254
255     HMI.xSelectHeaterTank[2] := TRUE;
256     HMI.xFiltrationPump[2] := TRUE;
257     HMI.xOilSkimmerDisk[2] := TRUE;
258     HMI.xOilSkimmerPump[2] := TRUE;
259
260     HMI.xSelectHeaterTank[3] := TRUE;
261     HMI.xSelectUltrasonic3 := TRUE;
262     HMI.xFiltrationPump[3] := TRUE;
263     HMI.xOilSkimmerDisk[3] := TRUE;
264     HMI.xOilSkimmerPump[3] := TRUE;

```

(f)

Şekil A.10 (devam): Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.(c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.

```

265
266 HMI.xSelectHeaterTank[4] := TRUE;
267 HMI.xSelectUltrasonic4 := TRUE;
268 HMI.xFiltrationPump[4] := TRUE;
269 HMI.xOilSkimmerDisk[4] := TRUE;
270 HMI.xOilSkimmerPump[4] := TRUE;
271
272 HMI.xSelectHeaterTank[5] := TRUE;
273 HMI.xFiltrationPump[5] := TRUE;
274 HMI.xOilSkimmerDisk[5] := TRUE;
275 HMI.xOilSkimmerPump[5] := TRUE;
276
277 HMI.xSelectHeaterTank[6] := TRUE;
278 HMI.xFiltrationPump[6] := TRUE;
279 HMI.xOilSkimmerDisk[6] := TRUE;
280 HMI.xOilSkimmerPump[6] := TRUE;
281
282 HMI.xSelectHeaterTank[7] := TRUE;
283
284 HMI.xSelectHeaterTank[8] := TRUE;
285 HMI.xVacuumPump := TRUE;
286 END_IF
287
288 rtUnselectAll(CLK:=HMI.xManual);
289
290 IF rtUnselectAll.Q THEN
291 HMI.xSelectHeaterTank[1] := FALSE;
292 HMI.xSelectUltrasonic1 := FALSE;
293 HMI.xFiltrationPump[1] := FALSE;
294 HMI.xOilSkimmerDisk[1] := FALSE;
295 HMI.xOilSkimmerPump[1] := FALSE;
296
297 HMI.xSelectHeaterTank[2] := FALSE;
298 HMI.xFiltrationPump[2] := FALSE;
299 HMI.xOilSkimmerDisk[2] := FALSE;
300 HMI.xOilSkimmerPump[2] := FALSE;
301
302 HMI.xSelectHeaterTank[3] := FALSE;
303 HMI.xSelectUltrasonic3 := FALSE;
304 HMI.xFiltrationPump[3] := FALSE;
305 HMI.xOilSkimmerDisk[3] := FALSE;
306 HMI.xOilSkimmerPump[3] := FALSE;
307
308 HMI.xSelectHeaterTank[4] := FALSE;
309 HMI.xSelectUltrasonic4 := FALSE;
310 HMI.xFiltrationPump[4] := FALSE;
311 HMI.xOilSkimmerDisk[4] := FALSE;
312 HMI.xOilSkimmerPump[4] := FALSE;

```

(g)

```

290 IF rtUnselectAll.Q THEN
291 HMI.xSelectHeaterTank[1] := FALSE;
292 HMI.xSelectUltrasonic1 := FALSE;
293 HMI.xFiltrationPump[1] := FALSE;
294 HMI.xOilSkimmerDisk[1] := FALSE;
295 HMI.xOilSkimmerPump[1] := FALSE;
296
297 HMI.xSelectHeaterTank[2] := FALSE;
298 HMI.xFiltrationPump[2] := FALSE;
299 HMI.xOilSkimmerDisk[2] := FALSE;
300 HMI.xOilSkimmerPump[2] := FALSE;
301
302 HMI.xSelectHeaterTank[3] := FALSE;
303 HMI.xSelectUltrasonic3 := FALSE;
304 HMI.xFiltrationPump[3] := FALSE;
305 HMI.xOilSkimmerDisk[3] := FALSE;
306 HMI.xOilSkimmerPump[3] := FALSE;
307
308 HMI.xSelectHeaterTank[4] := FALSE;
309 HMI.xSelectUltrasonic4 := FALSE;
310 HMI.xFiltrationPump[4] := FALSE;
311 HMI.xOilSkimmerDisk[4] := FALSE;
312 HMI.xOilSkimmerPump[4] := FALSE;
313
314 HMI.xSelectHeaterTank[5] := FALSE;
315 HMI.xFiltrationPump[5] := FALSE;
316 HMI.xOilSkimmerDisk[5] := FALSE;
317 HMI.xOilSkimmerPump[5] := FALSE;
318
319 HMI.xSelectHeaterTank[6] := FALSE;
320 HMI.xFiltrationPump[6] := FALSE;
321 HMI.xOilSkimmerDisk[6] := FALSE;
322 HMI.xOilSkimmerPump[6] := FALSE;
323
324 HMI.xSelectHeaterTank[7] := FALSE;
325
326 HMI.xSelectHeaterTank[8] := FALSE;
327 HMI.xVacuumPump := FALSE;
328 END_IF

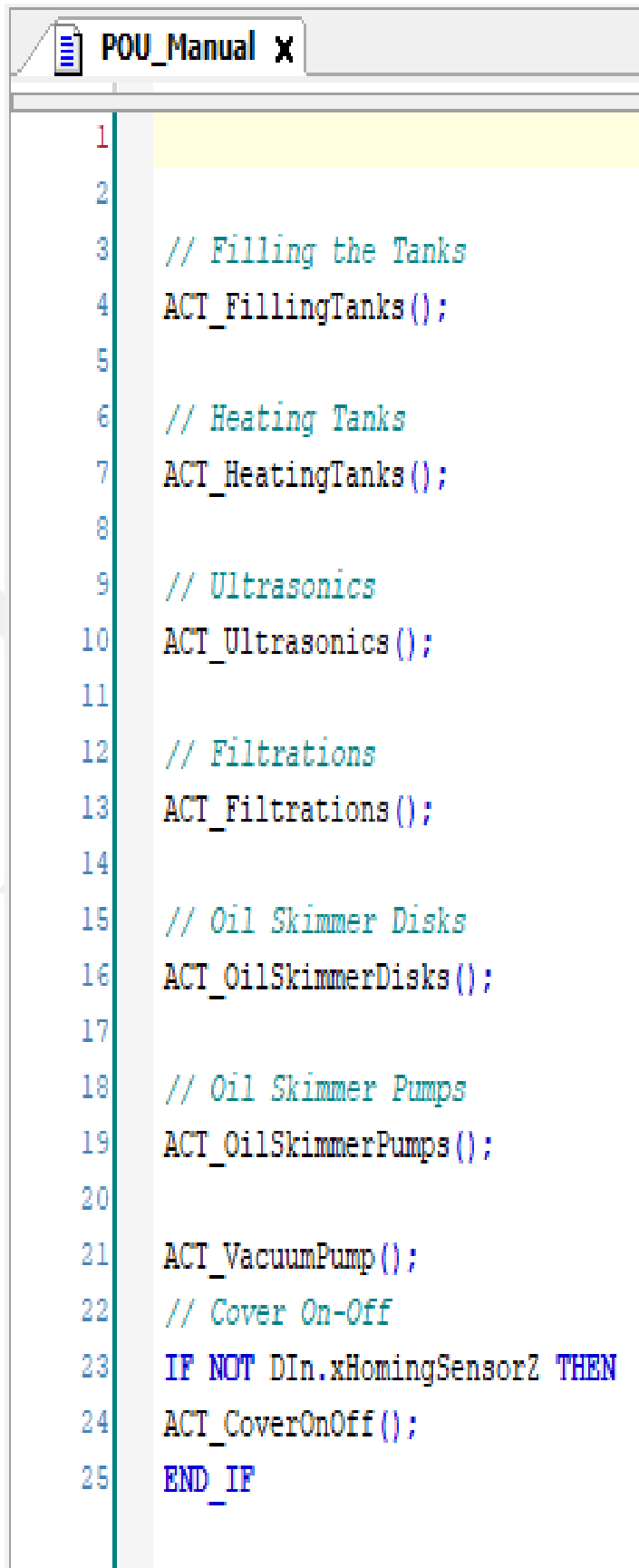
```

(h)

Şekil A.10 (devam): Kazan ünitesi seçimlerine ait kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı.


```
POU_Robot.ACT_Homing X
1
2 Drive2.xHomeExecute :=DIn.xHomeButton;
3
4 IF DIn.xHomeButton THEN
5     Drive1.xHomeExecute := FALSE;
6     HMI.xHoming := TRUE;
7 END_IF
8
9 rtHomedZ(CLK:= Drive2._xAxisIsHomed, Q=> );
10 rtHomedX(CLK:= Drive1._xAxisIsHomed, Q=> );
11
12 IF rtHomedZ.Q THEN
13     Drive1.xHomeExecute := TRUE;
14 END_IF
15
16 IF rtHomedX.Q THEN
17     Drive1.xHomeExecute := FALSE;
18     HMI.xHoming := FALSE;
19
20     ACT.xOpenCover[1] := FALSE;
21     ACT.xOpenCover[2] := FALSE;
22     ACT.xOpenCover[3] := FALSE;
23     ACT.xOpenCover[4] := FALSE;
24     ACT.xOpenCover[5] := FALSE;
25     ACT.xOpenCover[6] := FALSE;
26     ACT.xOpenCover[7] := FALSE;
27     ACT.xOpenCover[8] := FALSE;
28 END_IF
29
30 HMI.ActTorque_X := Axis_Z.lrActTorque;
31 HMI.ActTorque_Z := Axis_X.lrActTorque;
```

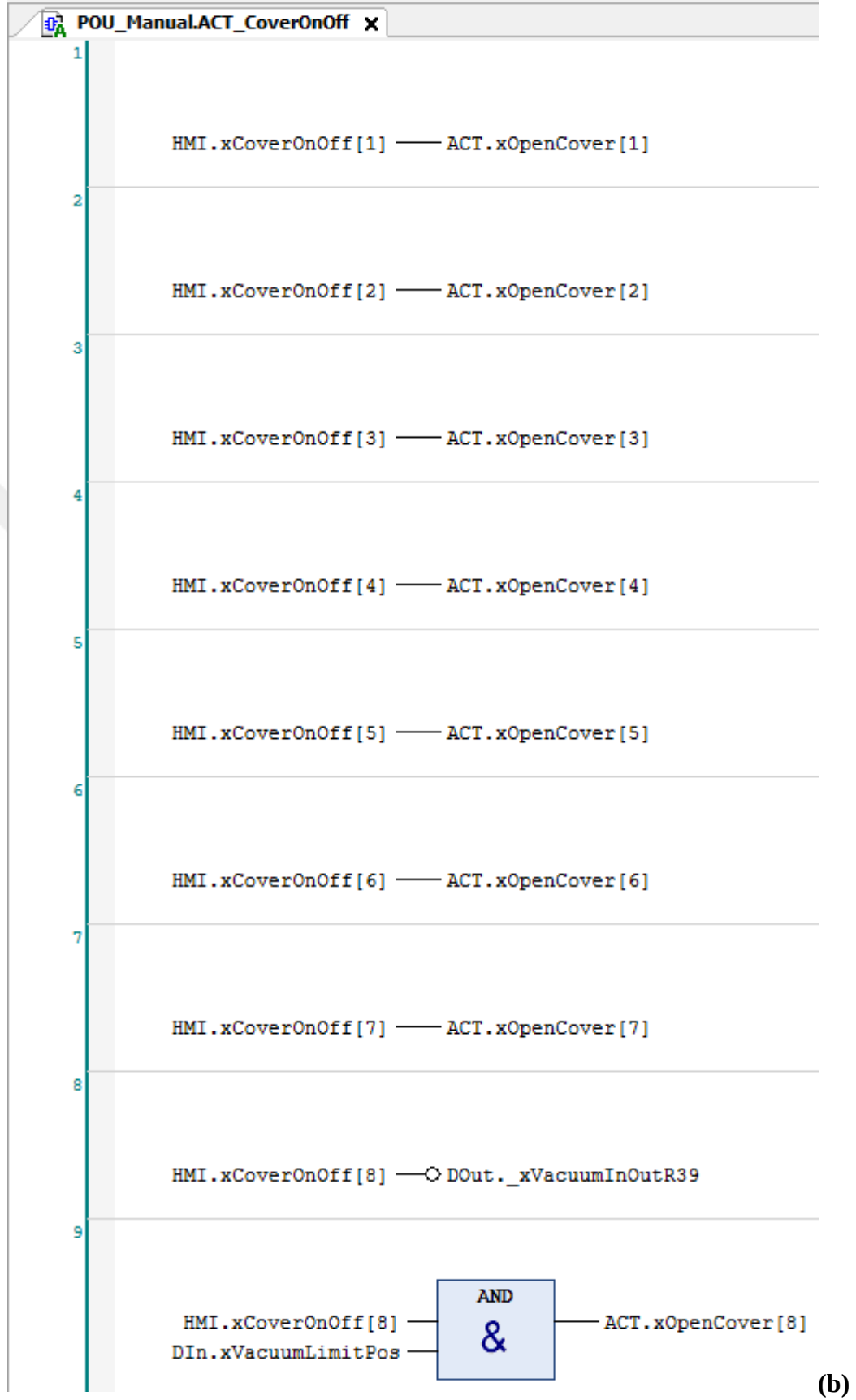
Şekil A.11 : Robotun referanslanmasına ait kodlar.



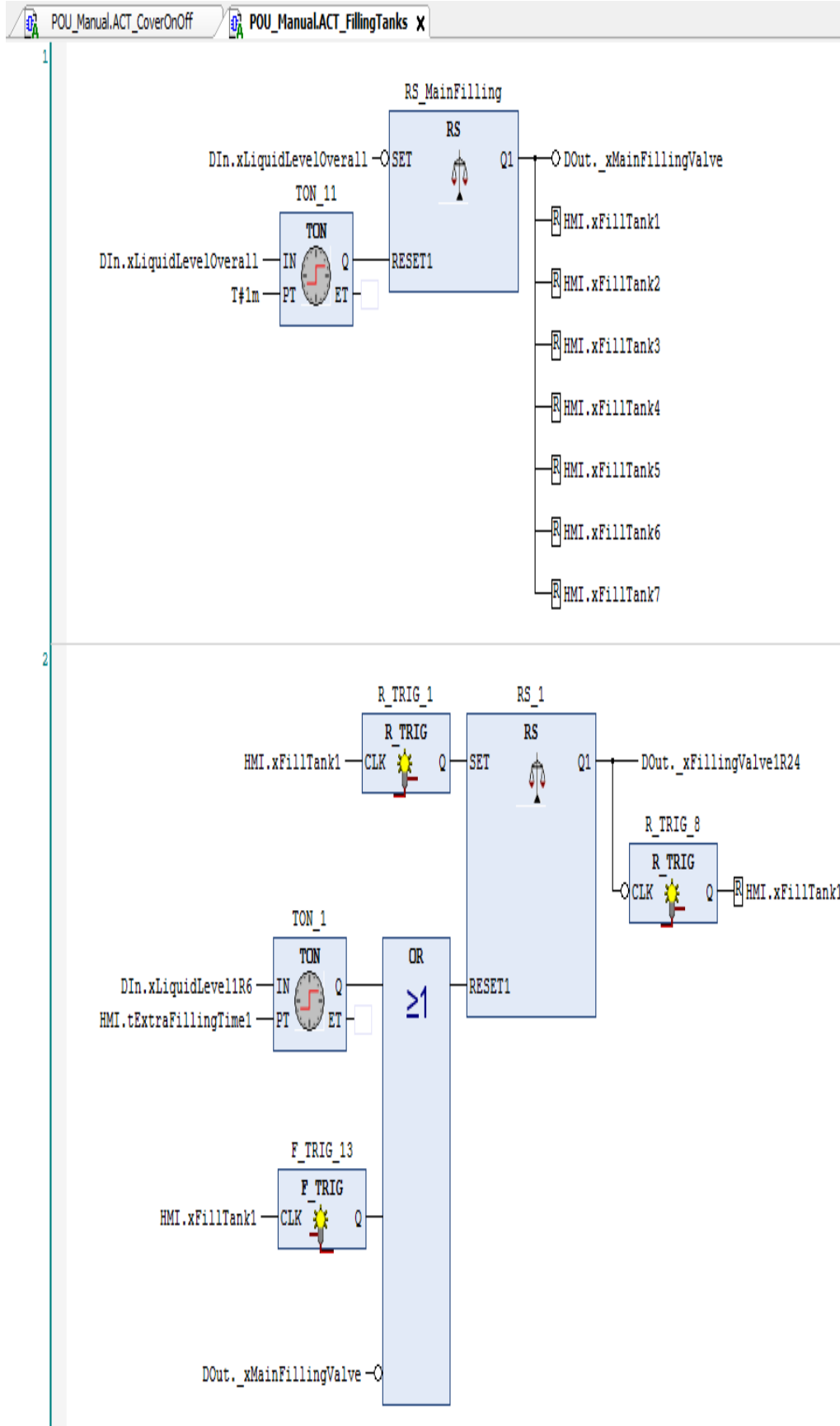
```
1
2
3 // Filling the Tanks
4 ACT_FillingTanks();
5
6 // Heating Tanks
7 ACT_HeatingTanks();
8
9 // Ultrasonics
10 ACT_Ultrasonics();
11
12 // Filtrations
13 ACT_Filtrations();
14
15 // Oil Skimmer Disks
16 ACT_OilSkimmerDisks();
17
18 // Oil Skimmer Pumps
19 ACT_OilSkimmerPumps();
20
21 ACT_VacuumPump();
22 // Cover On-Off
23 IF NOT DIn.xHomingSensorZ THEN
24 ACT_CoverOnOff();
25 END_IF
```

(a)

Şekil A.12 : Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.

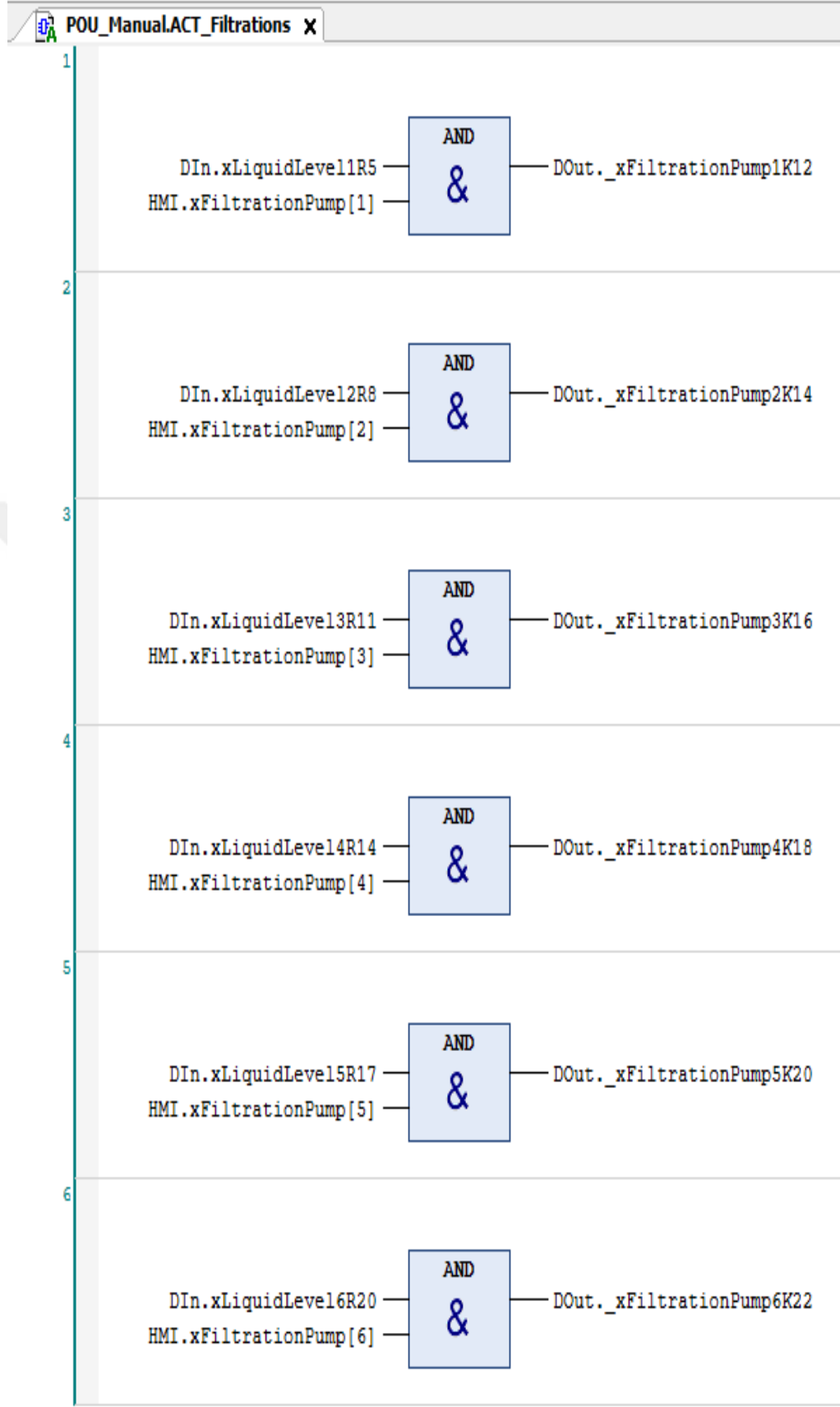


Şekil A.12 (devam): Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



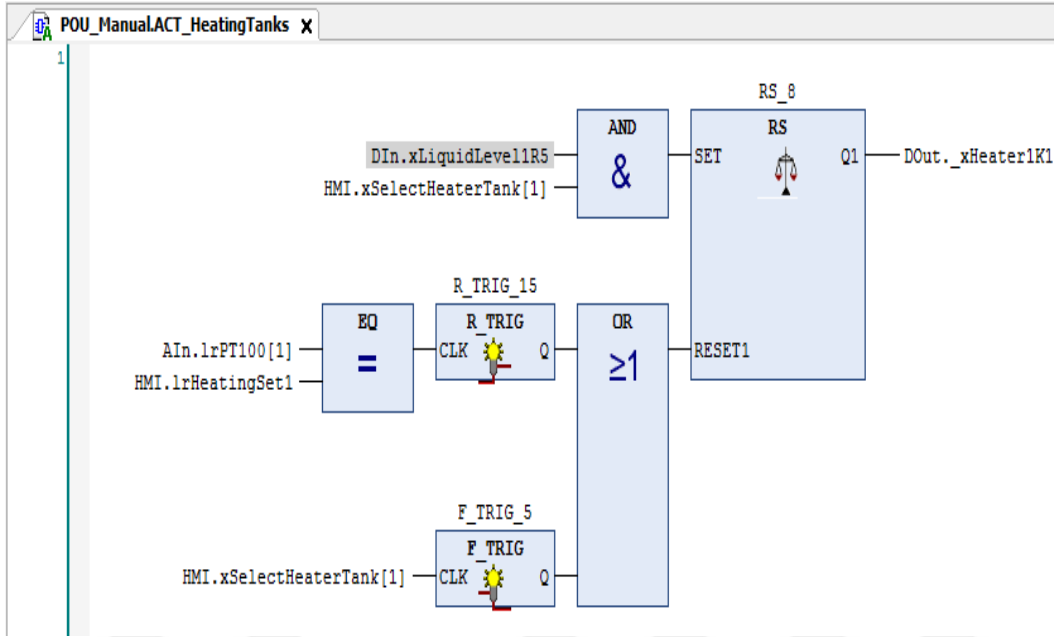
(c)

Şekil A.12 (devam): Manuel kontrola ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyrma diskleri. (g) Yağ sıyrma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



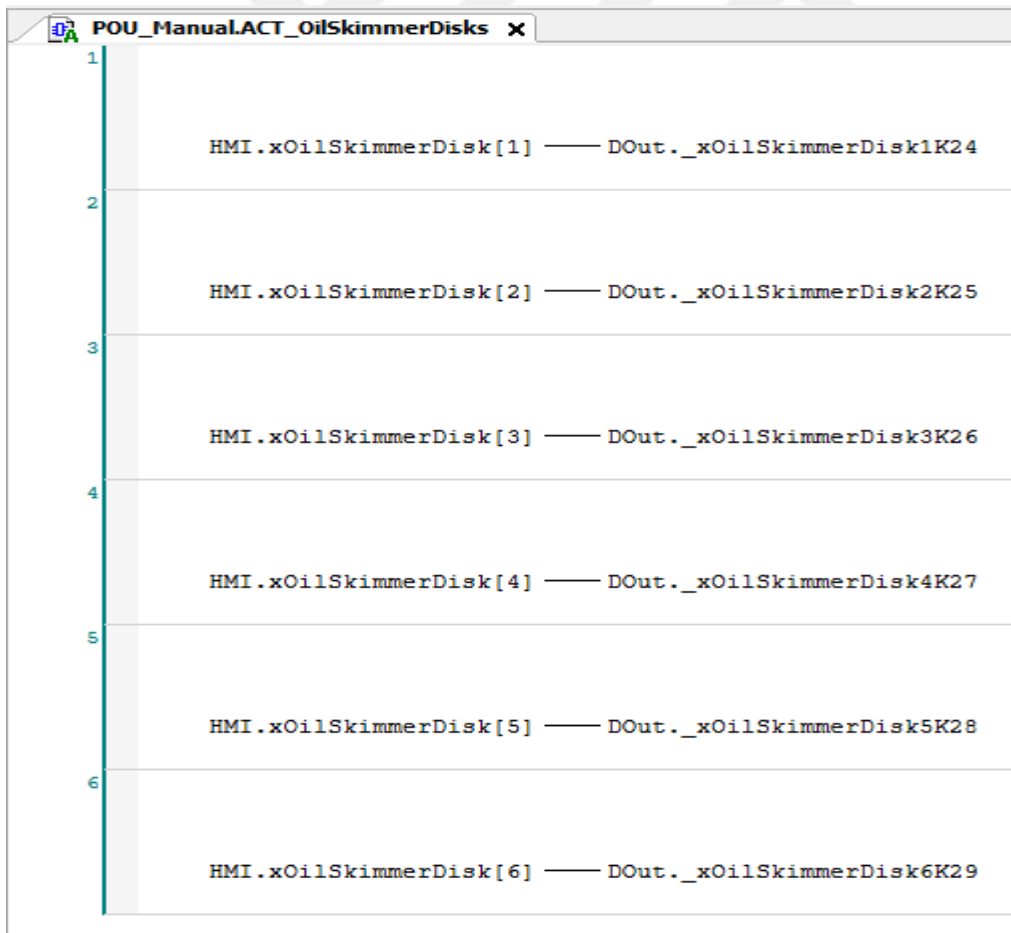
(d)

Şekil A.12 (devam): Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



(e)

Şekil A.12 (devam): Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyrma diskleri. (g) Yağ sıyrma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.

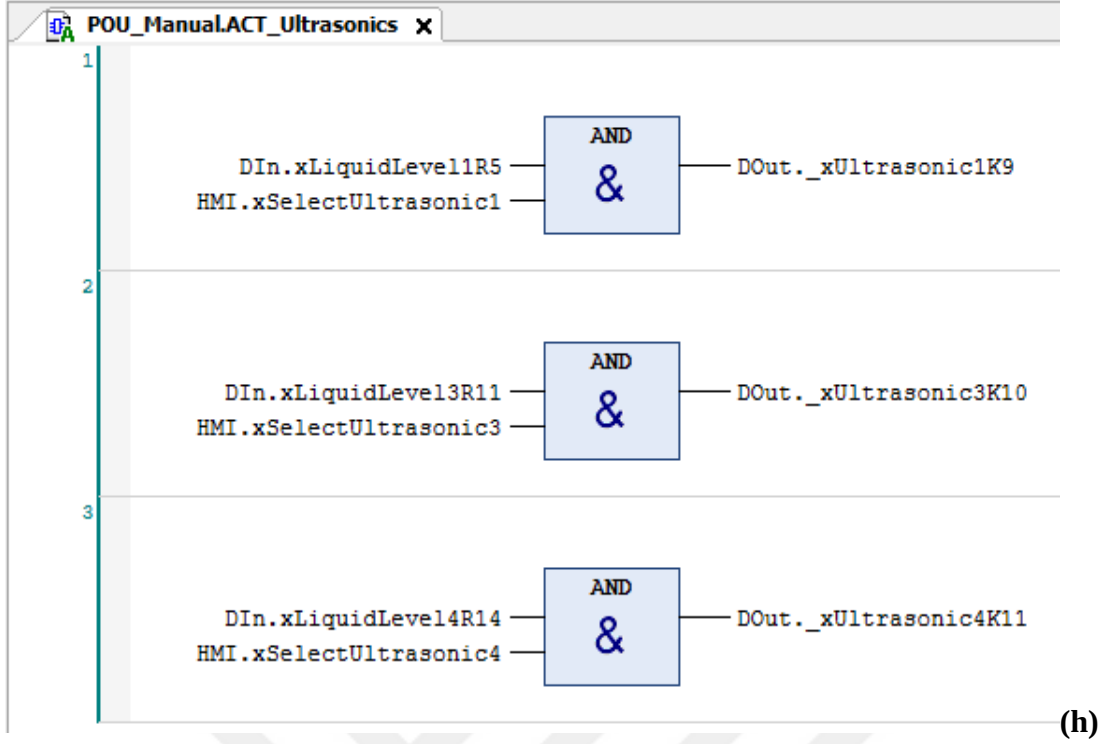


(f)

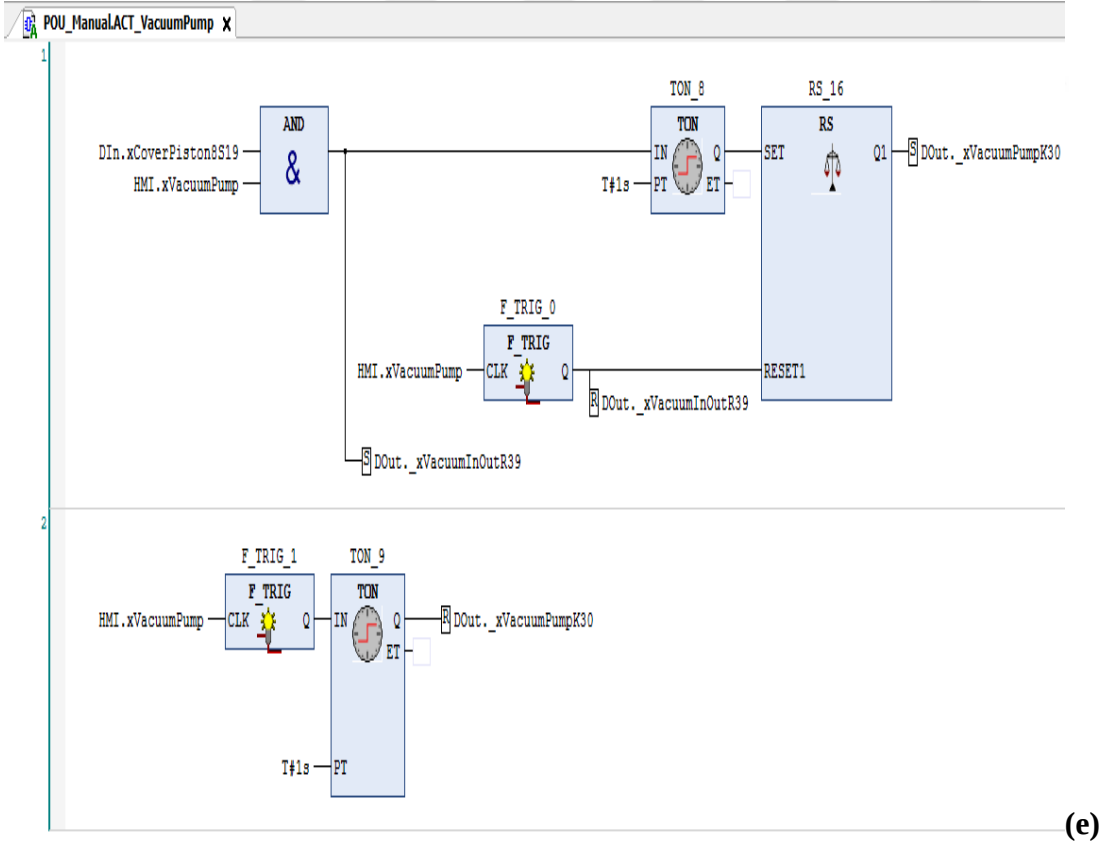
Şekil A.12 (devam): Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyrma diskleri. (g) Yağ sıyrma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



Şekil A.12 (devam): Manuel kontrole ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



Şekil A.12 (devam): Manuel kontrola ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.



Şekil A.12 (devam): Manuel kontrola ait kodlar: (a) Ana program. (b) Kapak kontrolü. (c) Sıvı dolumu. (d) Filtrasyon pompaları. (e) Isıtıcılar. (f) Yağ sıyırma diskleri. (g) Yağ sıyırma pompaları. (h) Ultrasonikler. (i) Vakum pompası.

```

1  ACT_Operations();
2
3  // Tanklar boş mu?
4  IF NOT ACT.xStartBit THEN
5  IF HMI.xEmptyingModeNeededAfterEMG OR ACT.xTankHasBasket[1] OR ACT.xTankHasBasket[2] OR ACT.xTankHasBasket[3] OR ACT.xTankHasBasket[4] OR
6  ACT.xTankHasBasket[5] OR ACT.xTankHasBasket[6] OR ACT.xTankHasBasket[7] OR ACT.xTankHasBasket[8] THEN
7  ACT.xTanksEmpty := FALSE;
8  HMI.xEmptyingModeNeeded := TRUE;
9  ELSE
10  ACT.xTanksEmpty := TRUE;
11  HMI.xEmptyingModeNeeded := FALSE;
12  END_IF
13  END_IF
14
15  // kaldığı yerin konumuna göre sepet kabul edilir
16  IF HMI.xEmptyingModeNeeded AND NOT HMI.xEmptyingModeBase AND NOT HMI.xEmptyingModeFull THEN
17  IF HMI.lrTankCenter[8] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[8] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
18  ACT.xTankHasBasket[8] := TRUE;
19  ELSIF HMI.lrTankCenter[7] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[7] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
20  ACT.xTankHasBasket[7] := TRUE;
21  ELSIF HMI.lrTankCenter[6] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[6] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
22  ACT.xTankHasBasket[6] := TRUE;
23  ELSIF HMI.lrTankCenter[5] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[5] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
24  ACT.xTankHasBasket[5] := TRUE;
25  ELSIF HMI.lrTankCenter[4] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[4] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
26  ACT.xTankHasBasket[4] := TRUE;
27  ELSIF HMI.lrTankCenter[3] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[3] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
28  ACT.xTankHasBasket[3] := TRUE;
29  ELSIF HMI.lrTankCenter[2] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[2] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
30  ACT.xTankHasBasket[2] := TRUE;
31  ELSIF HMI.lrTankCenter[1] - HMI.lrHookDistance - 0.5 < Drivel._lrAxisActPos AND Drivel._lrAxisActPos < HMI.lrTankCenter[1] - HMI.lrHookDistance + 0.5 THEN
32  ACT.xTankHasBasket[1] := TRUE;
33  END_IF
34  END_IF

```

(a)

Şekil A.13 : Tam boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
1
2 rt_Emptying1(CLK:=HMI.xEmptyingModeBase AND NOT ACT.xStartBit AND NOT HMI.xHoming AND Drive1._xAxisIsHomed AND Drive2._xAxisIsHomed);
3 rt_Emptying2(CLK:=HMI.xEmptyingModeFull AND NOT ACT.xStartBit AND NOT HMI.xHoming AND Drive1._xAxisIsHomed AND Drive2._xAxisIsHomed);
4
5
6 CASE il OF
7
8 0:
9
10 ACT.xEmptyingDone := FALSE;
11
12 IF rt_Emptying1.Q OR rt_Emptying2.Q THEN
13 Drive2.lrSetPos := 0;
14 il := 1;
15 END_IF
16
17 1:
18 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
19
20 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
21 Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
22 il := 2;
23 END_IF
24
25 2:
26
27
28 IF HMI.xEmptyingModeBase AND NOT ACT.xStartBit AND NOT HMI.xHoming AND Drive1._xAxisIsHomed AND Drive2._xAxisIsHomed THEN
29 ACT.xOpenCover[1] := TRUE;
30 ACT.xOpenCover[2] := TRUE;
31 ACT.xOpenCover[3] := TRUE;
32 ACT.xOpenCover[4] := TRUE;
33 ACT.xOpenCover[5] := TRUE;
34 ACT.xOpenCover[6] := TRUE;
35 ACT.xOpenCover[7] := TRUE;
36 ACT.xOpenCover[8] := TRUE;
37
38 il := 3;
39
40 ELSIF HMI.xEmptyingModeFull AND NOT ACT.xStartBit AND NOT HMI.xHoming AND Drive1._xAxisIsHomed AND Drive2._xAxisIsHomed THEN
41 ACT.xTankHasBasket[1] := TRUE;
42 ACT.xTankHasBasket[2] := TRUE;
43 ACT.xTankHasBasket[3] := TRUE;
44 ACT.xTankHasBasket[4] := TRUE;
45 ACT.xTankHasBasket[5] := TRUE;
46 ACT.xTankHasBasket[6] := TRUE;
47 ACT.xTankHasBasket[7] := TRUE;
48 ACT.xTankHasBasket[8] := TRUE;

```

(b)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
38   il := 3;
39
40  ELSIF HMI.xEmptyingModeFull AND NOT ACT.xStartBit AND NOT HMI.xHoming AND Drive1.xAxisIsHomed AND Drive2.xAxisIsHomed THEN
41    ACT.xTankHasBasket[1] := TRUE;
42    ACT.xTankHasBasket[2] := TRUE;
43    ACT.xTankHasBasket[3] := TRUE;
44    ACT.xTankHasBasket[4] := TRUE;
45    ACT.xTankHasBasket[5] := TRUE;
46    ACT.xTankHasBasket[6] := TRUE;
47    ACT.xTankHasBasket[7] := TRUE;
48    ACT.xTankHasBasket[8] := TRUE;
49
50    ACT.xOpenCover[1] := TRUE;
51    ACT.xOpenCover[2] := TRUE;
52    ACT.xOpenCover[3] := TRUE;
53    ACT.xOpenCover[4] := TRUE;
54    ACT.xOpenCover[5] := TRUE;
55    ACT.xOpenCover[6] := TRUE;
56    ACT.xOpenCover[7] := TRUE;
57    ACT.xOpenCover[8] := TRUE;
58
59    il := 3;
60  END_IF
61
62  3:
63  IF HMI.xCoverOpened[1] AND HMI.xCoverOpened[2] AND HMI.xCoverOpened[3] AND HMI.xCoverOpened[4] AND
64    HMI.xCoverOpened[5] AND HMI.xCoverOpened[6] AND HMI.xCoverOpened[7] AND HMI.xCoverOpened[8] THEN
65    Drive1.lrSetPos := HMI.lrExitCenter;
66    il := 4;
67  END_IF
68
69  4:
70  Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
71  IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
72    Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
73    il := 5;
74  END_IF
75
76  5:
77  IF DIn.xExitConveyor1S24 THEN
78    Drive2.lrSetPos := HMI.lrConveyorsDown;
79    il := 6;
80  END_IF
81
82  6:
83  Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
84
85  IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
86    Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;

```

(c)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations x
84
85 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
86     Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
87     il := 7;
88 END_IF
89
90 7:
91 Drive1.lrSetPos := HMI.lrExitCenter - HMI.lrHookDistance;
92 il := 8;
93
94 8:
95 Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
96 IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
97     Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
98     il := 9;
99 END_IF
100
101 9:
102 Drive2.lrSetPos := 0;
103 il := 10;
104
105 10:
106 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
107
108 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
109     Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
110     ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
111     il := 15;
112 END_IF
113
114 15:
115 IF ACT.xTankHasBasket[8] THEN
116     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[8] - HMI.lrHookDistance;
117     il := 20;
118 ELSIF ACT.xTankHasBasket[7] THEN
119     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[7] - HMI.lrHookDistance;
120     il := 20;
121 ELSIF ACT.xTankHasBasket[6] THEN
122     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[6] - HMI.lrHookDistance;
123     il := 20;
124 ELSIF ACT.xTankHasBasket[5] THEN
125     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[5] - HMI.lrHookDistance;
126     il := 20;
127 ELSIF ACT.xTankHasBasket[4] THEN
128     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[4] - HMI.lrHookDistance;
129     il := 20;
130 ELSIF ACT.xTankHasBasket[3] THEN
131     Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[3] - HMI.lrHookDistance;
132     il := 20;

```

(d)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.


```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
130         ELSIF ACT.xTankHasBasket[3] THEN
131             Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[3] - HMI.lHookDistance;
132             il := 20;
133         ELSIF ACT.xTankHasBasket[2] THEN
134             Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[2] - HMI.lHookDistance;
135             il := 20;
136         ELSIF ACT.xTankHasBasket[1] THEN
137             Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[1] - HMI.lHookDistance;
138             il := 20;
139         ELSE
140             il := 100;
141     END_IF
142
143
144     20:
145     Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
146     IF POU_Robot.RI_InTarget1.Q OR POU_Robot.RI_MoveInTarget1.Q THEN
147         Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
148         il := 25;
149     END_IF
150
151     25:
152     Drive2.lSetPos := HMI.lTanksDown;
153     il := 30;
154
155     30:
156     Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
157
158     IF POU_Robot.RI_InTarget2.Q OR POU_Robot.RI_MoveInTarget2.Q THEN
159         Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
160         il := 35;
161     END_IF
162
163     35:
164     IF ACT.xTankHasBasket[8] THEN
165         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[8];
166     ELSIF ACT.xTankHasBasket[7] THEN
167         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[7];
168     ELSIF ACT.xTankHasBasket[6] THEN
169         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[6];
170     ELSIF ACT.xTankHasBasket[5] THEN
171         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[5];
172     ELSIF ACT.xTankHasBasket[4] THEN
173         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[4];
174     ELSIF ACT.xTankHasBasket[3] THEN
175         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[3];
176     ELSIF ACT.xTankHasBasket[2] THEN
177         Drive1.lSetPos := HMI.lTankCenter[2];
178     ELSIF ACT.xTankHasBasket[1] THEN

```

(e)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
175         Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[3];
176     ELSIF ACT.xTankHasBasket[2] THEN
177         Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[2];
178     ELSIF ACT.xTankHasBasket[1] THEN
179         Drive1.lrSetPos := HMI.lrTankCenter[1];
180 END_IF
181 il := 40;
182
183 40:
184 Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
185 IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
186     Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
187 il := 45;
188 END_IF
189
190 45:
191 Drive2.lrSetPos := 0;
192 il := 50;
193
194 50:
195 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
196
197 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
198     Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
199 il := 55;
200 END_IF // olası 8. tanktaki sepeti havaya kaldırdı
201
202 55:
203 Drive1.lrSetPos := HMI.lrExitCenter;
204 il := 60;
205
206 60:
207 Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
208 IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
209     Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
210 il := 65;
211 END_IF
212
213 65: // IF çıkış bandı boş ise
214
215 IF DIn.xExitConveyor1S24 THEN
216     Drive2.lrSetPos := HMI.lrConveyorsDown;
217 il := 70;
218 END_IF
219
220 70:
221 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
222
223 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN

```

(f)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
220 70:
221 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
222
223 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
224     Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
225     il := 75;
226 END_IF
227
228 75:
229 Drive1.lrSetPos := HMI.lrExitCenter - HMI.lrHookDistance;
230 il := 80;
231
232 80:
233 Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
234 IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
235     Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
236     il := 85;
237 END_IF
238
239 85:
240 Drive2.lrSetPos := 0;
241 il := 90;
242
243 90:
244 Drive2.xMoveAbsExecute := TRUE;
245
246 IF POU_Robot.RT_InTarget2.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget2.Q THEN
247     Drive2.xMoveAbsExecute := FALSE;
248
249     IF ACT.xTankHasBasket[8] THEN
250         il := 98;
251     ELSIF ACT.xTankHasBasket[7] THEN
252         il := 97;
253     ELSIF ACT.xTankHasBasket[6] THEN
254         il := 96;
255     ELSIF ACT.xTankHasBasket[5] THEN
256         il := 95;
257     ELSIF ACT.xTankHasBasket[4] THEN
258         il := 94;
259     ELSIF ACT.xTankHasBasket[3] THEN
260         il := 93;
261     ELSIF ACT.xTankHasBasket[2] THEN
262         il := 92;
263     ELSIF ACT.xTankHasBasket[1] THEN
264         il := 91;
265     END_IF
266 END_IF
267
268 91:

```

(g)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations x
268 91:
269 ACT.xTankHasBasket[1] := FALSE;
270 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
271 il := 100;
272
273 92:
274 ACT.xTankHasBasket[2] := FALSE;
275 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
276 il := 15;
277
278 93:
279 ACT.xTankHasBasket[3] := FALSE;
280 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
281 il := 15;
282
283 94:
284 ACT.xTankHasBasket[4] := FALSE;
285 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
286 il := 15;
287
288 95:
289 ACT.xTankHasBasket[5] := FALSE;
290 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
291 il := 15;
292
293 96:
294 ACT.xTankHasBasket[6] := FALSE;
295 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
296 il := 15;
297
298 97:
299 ACT.xTankHasBasket[7] := FALSE;
300 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
301 il := 15;
302
303 98:
304 ACT.xTankHasBasket[8] := FALSE;
305 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
306 il := 15;
307
308 100:
309 ACT.xOpenCover[1] := FALSE;
310 ACT.xOpenCover[2] := FALSE;
311 ACT.xOpenCover[3] := FALSE;
312 ACT.xOpenCover[4] := FALSE;
313 ACT.xOpenCover[5] := FALSE;
314 ACT.xOpenCover[6] := FALSE;
315 ACT.xOpenCover[7] := FALSE;
316 ACT.xOpenCover[8] := FALSE;

```

(h)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```

POU_EmptyingMode.ACT_Operations X
302
303 98:
304 ACT.xTankHasBasket[8] := FALSE;
305 ACT.xMoveExitConveyor := TRUE;
306 il := 15;
307
308 100:
309     ACT.xOpenCover[1] := FALSE;
310     ACT.xOpenCover[2] := FALSE;
311     ACT.xOpenCover[3] := FALSE;
312     ACT.xOpenCover[4] := FALSE;
313     ACT.xOpenCover[5] := FALSE;
314     ACT.xOpenCover[6] := FALSE;
315     ACT.xOpenCover[7] := FALSE;
316     ACT.xOpenCover[8] := FALSE;
317
318     IF HMI.xCoverClosed[1] AND HMI.xCoverClosed[2] AND HMI.xCoverClosed[3] AND HMI.xCoverClosed[4] AND
319         HMI.xCoverClosed[5] AND HMI.xCoverClosed[6] AND HMI.xCoverClosed[7] AND HMI.xCoverClosed[8] THEN
320         il := 200;
321     END_IF
322
323 200:
324 Drive1.lnSetPos := 0;
325 il := 205;
326
327 205:
328 Drive1.xMoveAbsExecute := TRUE;
329 IF POU_Robot.RT_InTarget1.Q OR POU_Robot.RT_MoveInTarget1.Q THEN
330     Drive1.xMoveAbsExecute := FALSE;
331
332     ACT.xEmptyingDone := TRUE;
333     HMI.xEmptyingModeBase := FALSE;
334     HMI.xEmptyingModeFull := FALSE;
335     il := 0;
336 END_IF
337
338 999:
339
340 END_CASE
341
342 IF ACT.xStopBit THEN // stop bit neye bağlı olacak? acil stop? stop butonu? error?
343     il := 999;
344     END_IF
345
346 IF DIn.xResetButton THEN
347     il := 0;
348 END_IF

```

(i)

Şekil A.13 (devam): m boşaltma moduna ait kodlar: (a) Ana program. (b) Alt program. (c) Devamı. (d) Devamı. (e) Devamı. (f) Devamı. (g) Devamı. (h) Devamı. (i) Devamı.

```
POU_BasketHandling.ACT_MaxProcessTime X
1
2 IF HMI.xSelectTank[1] THEN
3     arrTime[1] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[1]);
4 ELSE
5     arrTime[1] := 0;
6 END_IF
7
8 IF HMI.xSelectTank[2] THEN
9     arrTime[2] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[2]);
10 ELSE
11     arrTime[2] := 0;
12 END_IF
13
14 IF HMI.xSelectTank[3] THEN
15     arrTime[3] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[3]);
16 ELSE
17     arrTime[3] := 0;
18 END_IF
19
20 IF HMI.xSelectTank[4] THEN
21     arrTime[4] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[4]);
22 ELSE
23     arrTime[4] := 0;
24 END_IF
25
26 IF HMI.xSelectTank[5] THEN
27     arrTime[5] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[5]);
28 ELSE
29     arrTime[5] := 0;
30 END_IF
31
32 IF HMI.xSelectTank[6] THEN
33     arrTime[6] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[6]);
34 ELSE
35     arrTime[6] := 0;
36 END_IF
37
38 IF HMI.xSelectTank[7] THEN
39     arrTime[7] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[7]);
40 ELSE
41     arrTime[7] := 0;
42 END_IF
43
44 IF HMI.xSelectTank[8] THEN
45     arrTime[8] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[8]);
46 ELSE
47     arrTime[8] := 0;
48 END_IF
49
```

(a)

Şekil A.14 : Maksimum işlem zamanını hesaplayan kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı. (c) Devamı.

```
POU_BasketHandling.ACT_MaxProcessTime X
37
38 IF HMI.xSelectTank[7] THEN
39     arrTime[7] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[7]);
40 ELSE
41     arrTime[7] := 0;
42 END_IF
43
44 IF HMI.xSelectTank[8] THEN
45     arrTime[8] := TIME_TO_DINT(HMI.tProcessTime[8]);
46 ELSE
47     arrTime[8] := 0;
48 END_IF
49
50 FOR i:=1 TO 8 BY 1 DO
51     arrProcessTimes[i] := arrTime[i];
52 END_FOR
53
54 nGreatestElement := arrProcessTimes[1];
55
56 FOR i:=1 TO 8 BY 1 DO
57     IF arrProcessTimes[i] > nGreatestElement THEN
58         nGreatestElement := arrProcessTimes[i];
59     END_IF
60 END_FOR
61
62 ACT.tMaxProcessTime := DINT_TO_TIME(nGreatestElement);
63
64 IF HMI.xSelectTank[1] THEN
65     nTank[1] := 1;
66 ELSE
67     nTank[1] := 0;
68 END_IF
69 IF HMI.xSelectTank[2] THEN
70     nTank[2] := 2;
71 ELSE
72     nTank[2] := 0;
73 END_IF
74 IF HMI.xSelectTank[3] THEN
75     nTank[3] := 3;
76 ELSE
77     nTank[3] := 0;
78 END_IF
79 IF HMI.xSelectTank[4] THEN
80     nTank[4] := 4;
81 ELSE
82     nTank[4] := 0;
83 END_IF
84 IF HMI.xSelectTank[5] THEN
85     nTank[5] := 5;
```

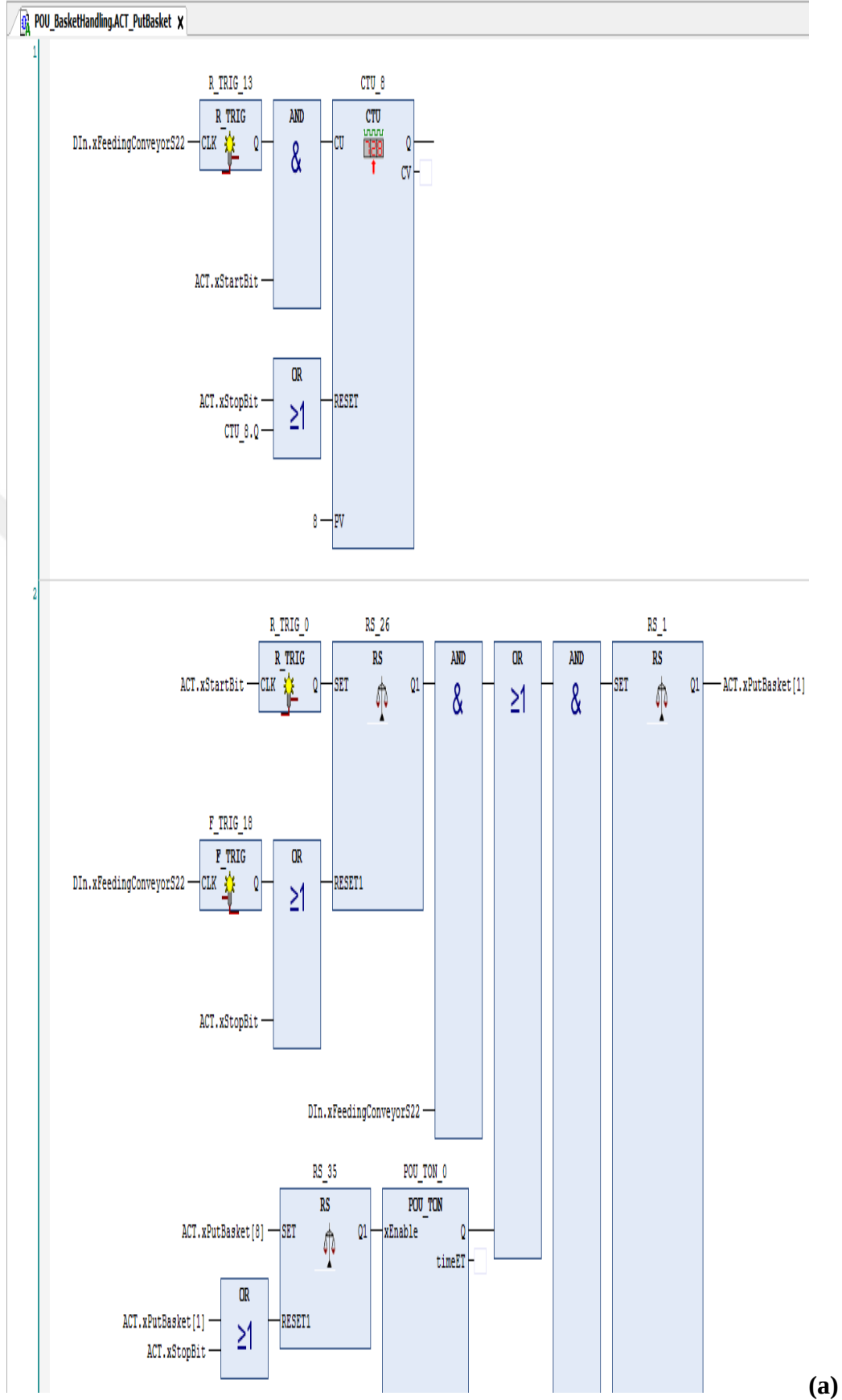
(b)

Şekil A.14 (devam): Maksimum işlem zamanını hesaplayan kodlar: (a) Tüm kodlar.
(b) Devamı. (c) Devamı.

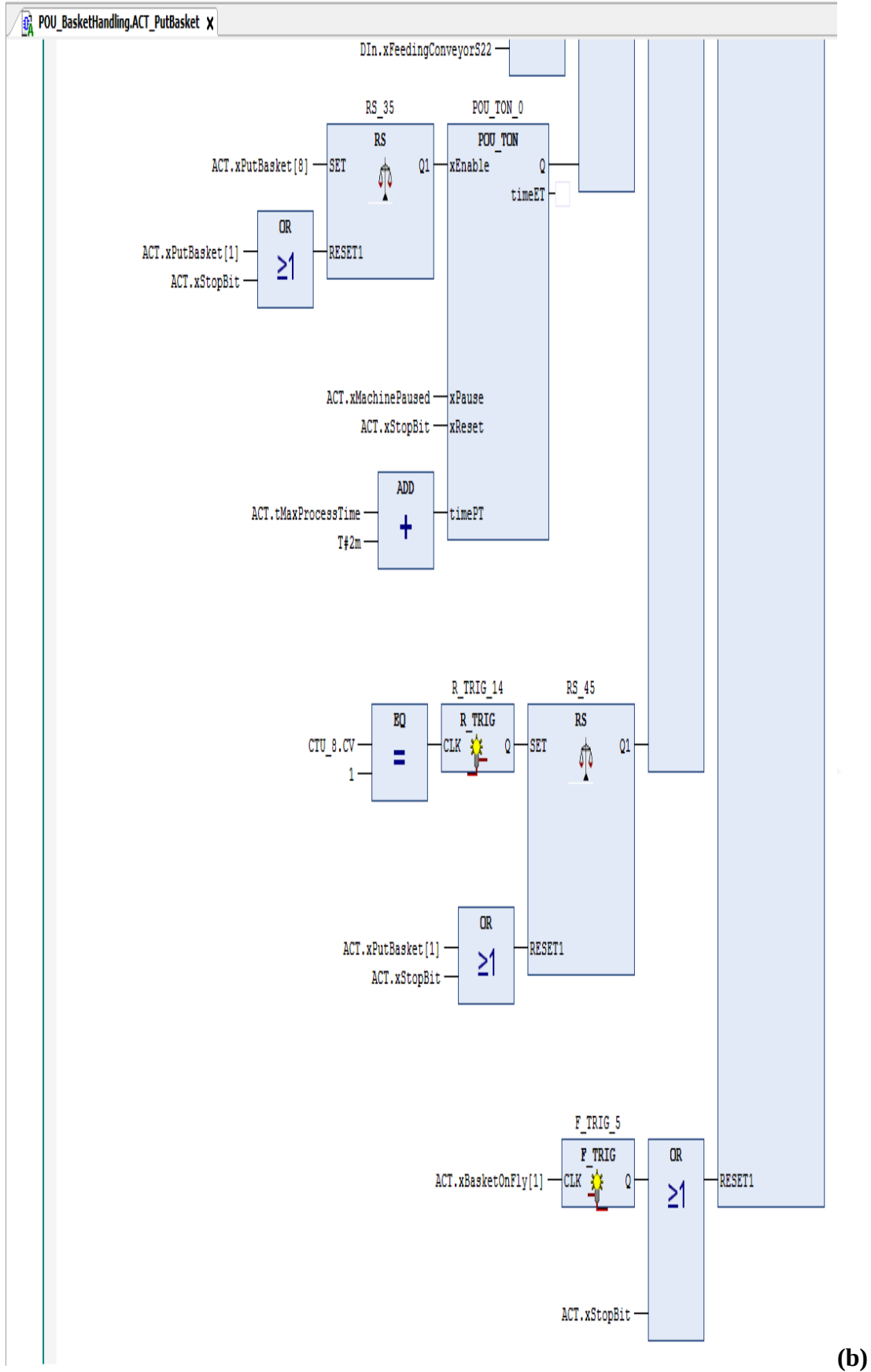
```
POU_BasketHandling.ACT_MaxProcessTime X
63
64     IF HMI.xSelectTank[1] THEN
65         nTank[1] := 1;
66     ELSE
67         nTank[1] := 0;
68     END_IF
69     IF HMI.xSelectTank[2] THEN
70         nTank[2] := 2;
71     ELSE
72         nTank[2] := 0;
73     END_IF
74     IF HMI.xSelectTank[3] THEN
75         nTank[3] := 3;
76     ELSE
77         nTank[3] := 0;
78     END_IF
79     IF HMI.xSelectTank[4] THEN
80         nTank[4] := 4;
81     ELSE
82         nTank[4] := 0;
83     END_IF
84     IF HMI.xSelectTank[5] THEN
85         nTank[5] := 5;
86     ELSE
87         nTank[5] := 0;
88     END_IF
89     IF HMI.xSelectTank[6] THEN
90         nTank[6] := 6;
91     ELSE
92         nTank[6] := 0;
93     END_IF
94     IF HMI.xSelectTank[7] THEN
95         nTank[7] := 7;
96     ELSE
97         nTank[7] := 0;
98     END_IF
99     IF HMI.xSelectTank[8] THEN
100         nTank[8] := 8;
101     ELSE
102         nTank[8] := 0;
103     END_IF
104
105     nGreatestTank := nTank[1];
106
107     FOR i:=1 TO 8 BY 1 DO
108         IF nTank[i] > nGreatestTank THEN
109             nGreatestTank := nTank[i];
110         END_IF
111     END_FOR
```

(c)

Şekil A.14 (devam): Maksimum işlem zamanını hesaplayan kodlar: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı. (c) Devamı.

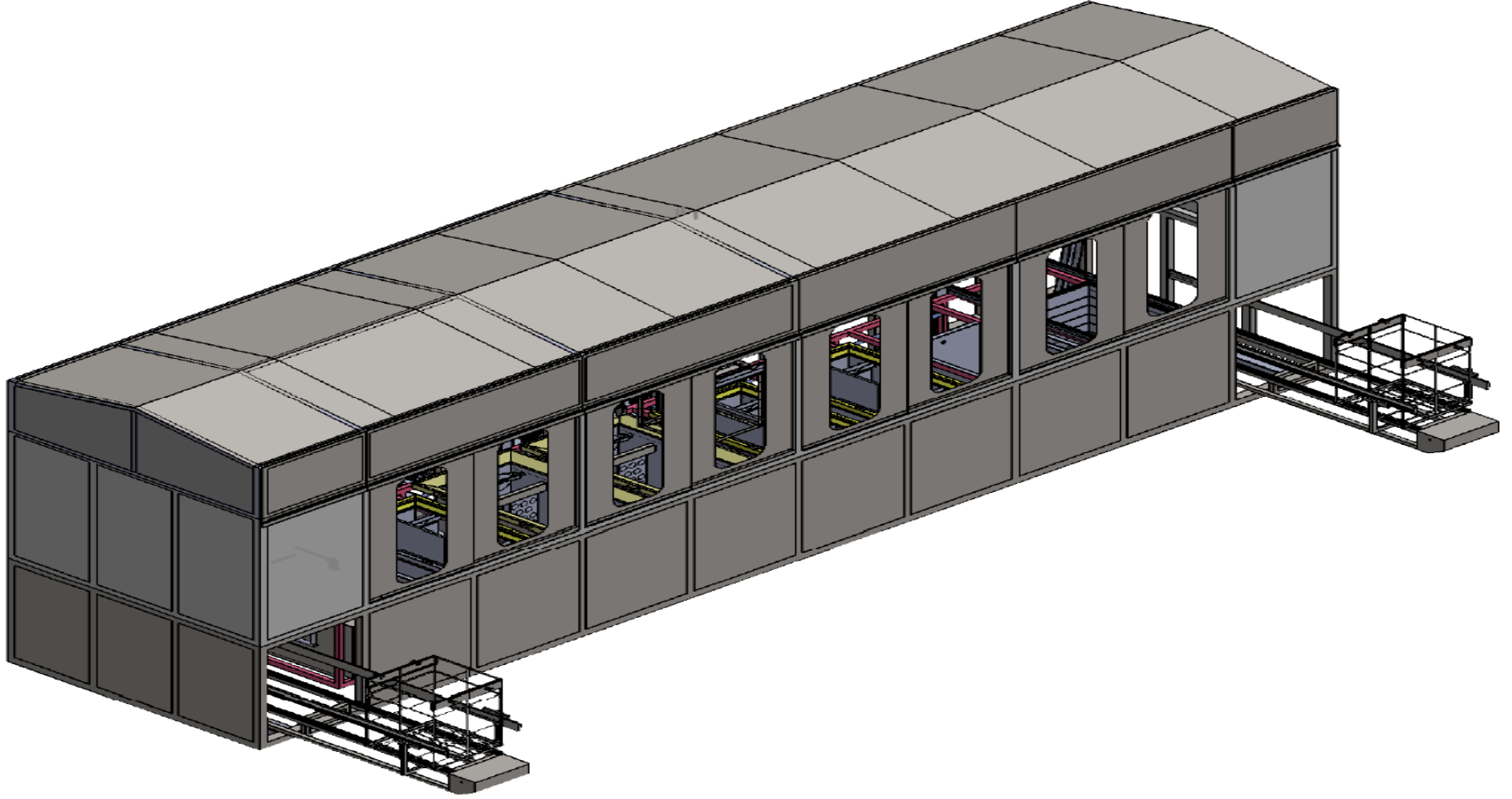


Şekil A.15 : Makineye yeni sepet alınmasına ait kodlar: Sadece 1. sepetin alınmasına ilişkin verilmiştir. Diğer 8 sepetin alınması da benzerdir: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.

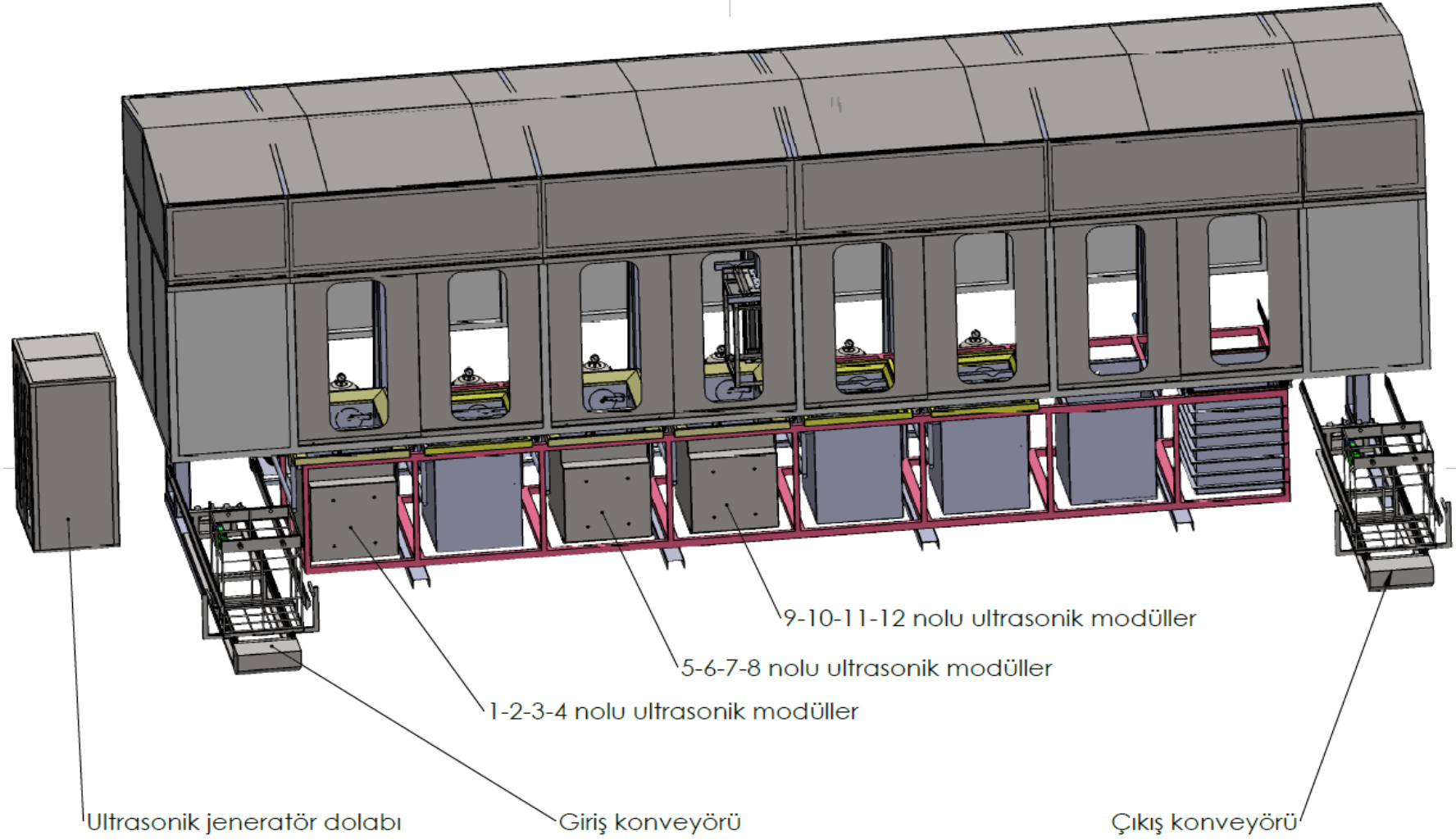


Şekil A.15 (devam): Makineye yeni sepet alınmasına ait kodlar: Sadece 1. sepetin alınmasına ilişkin verilmiştir. Diğer 8 sepetin alınması da benzerdir: (a) Tüm kodlar. (b) Devamı.

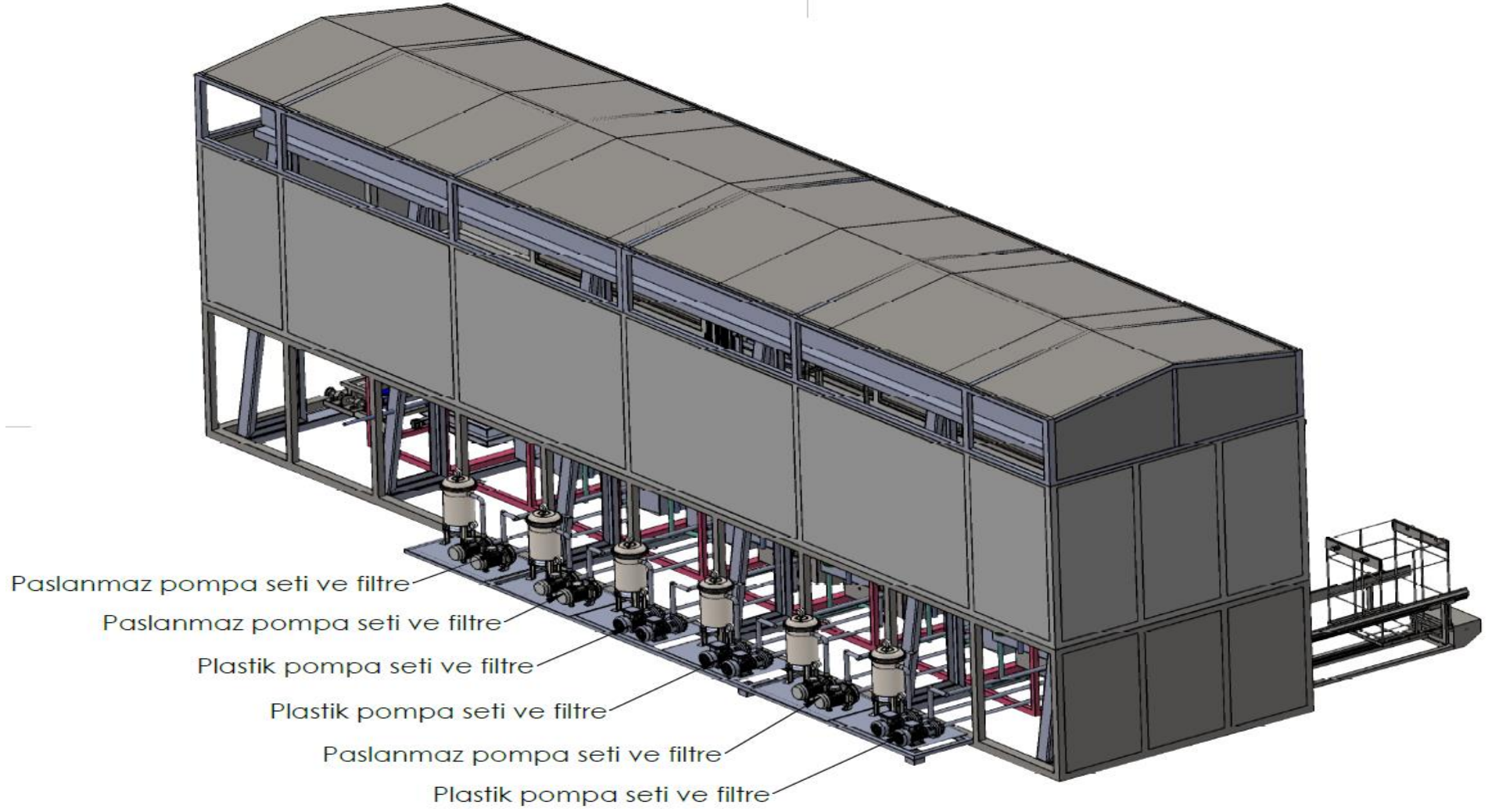
EK B



Şekil B.1 : Makine genel görünümü.



Şekil B.2 : Makine önden görünümü.

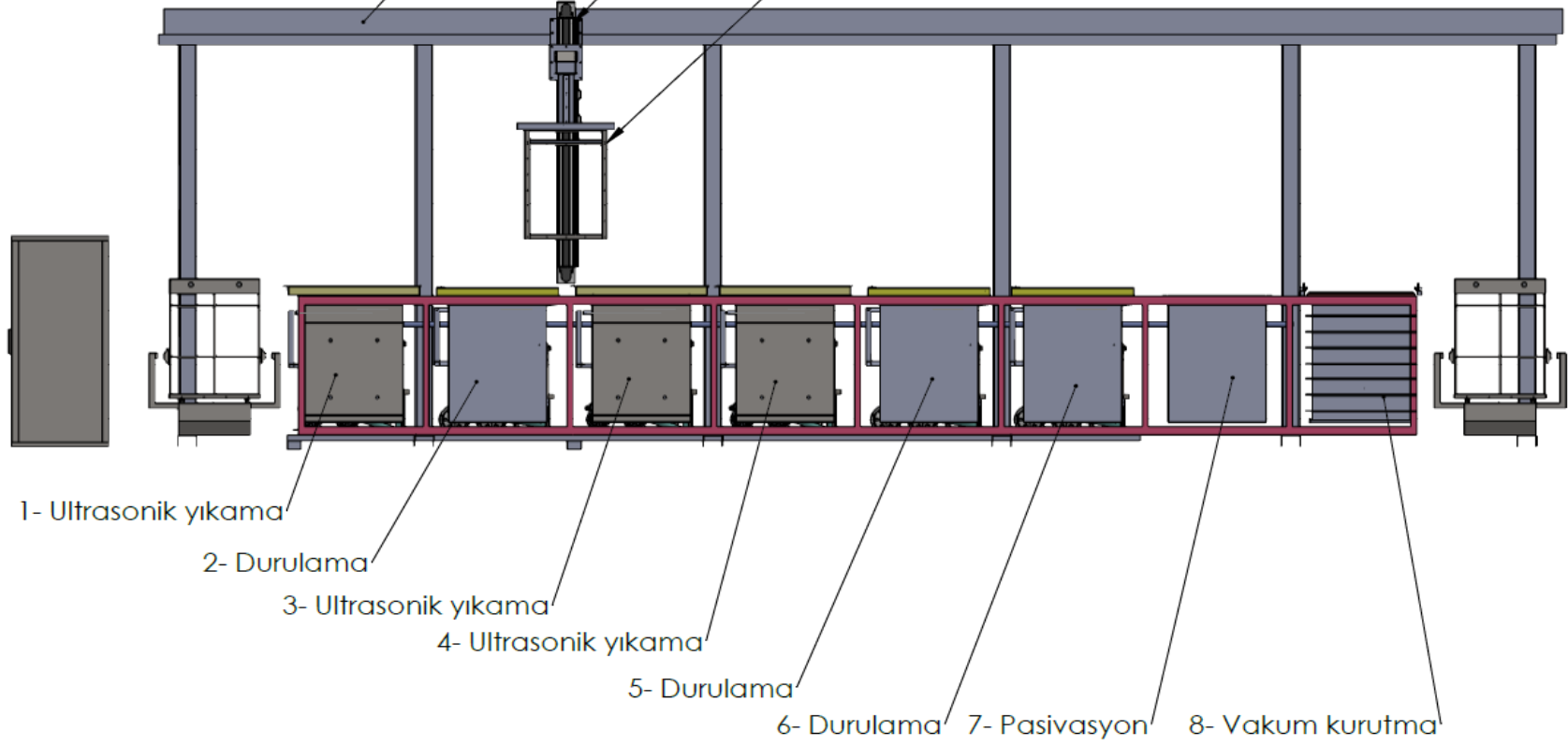


Şekil B.3 : Makine arkadan görünümü.

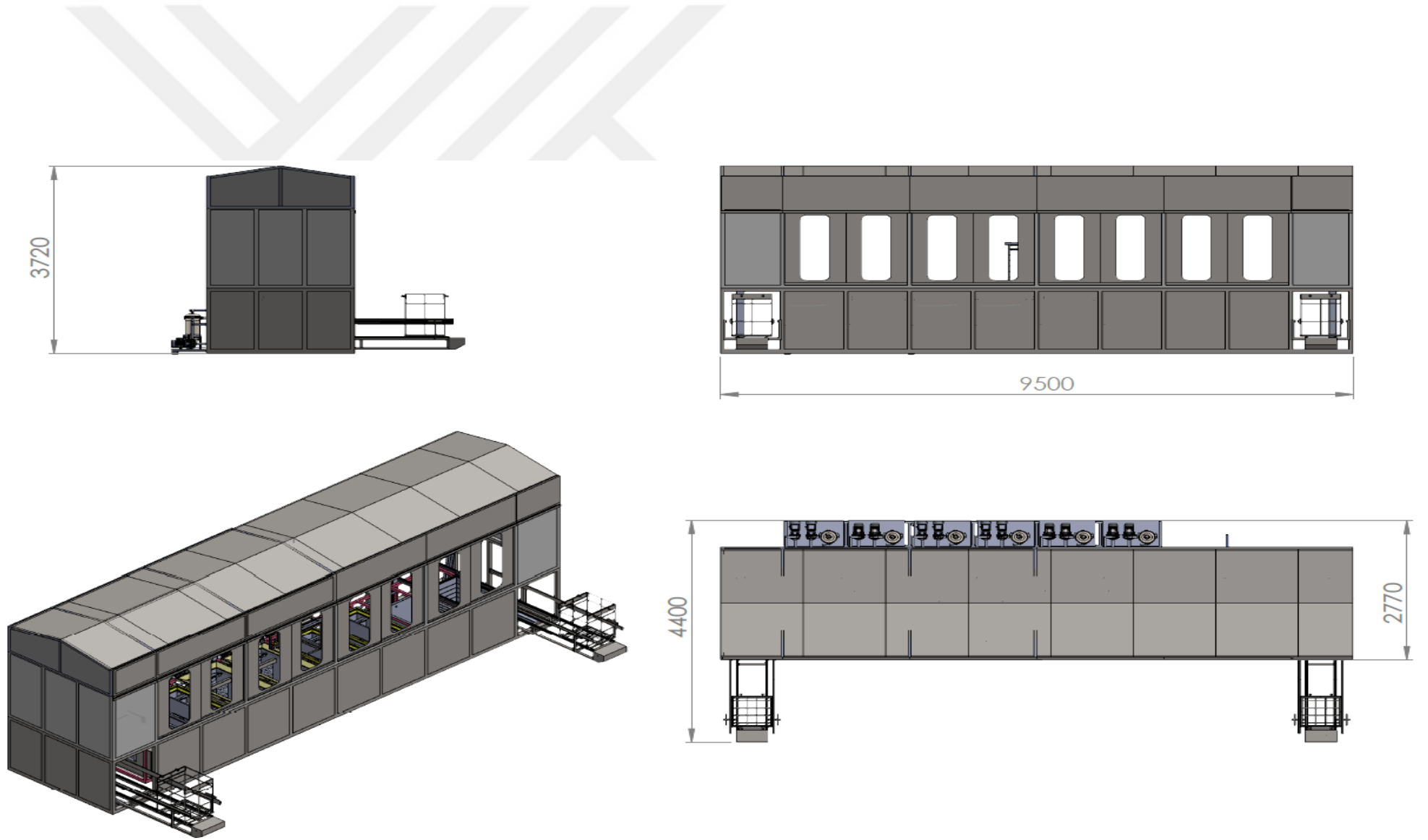
Robotun yatay hareket yolu
sigma profile bağılı linear ray üzerindedir

Robot mekanizması, dikey ve yatay hareketli robot kolu

Parça yıkama sepeti



Şekil B.4 : Makine iç görünümü.



Şekil B.5 : Makine genel ölçüleri.

EK C



Şekil C.1 : Makinenin devreye alınma sonrası görünümü.



Şekil C.2 : Makinenin iç görünümü.



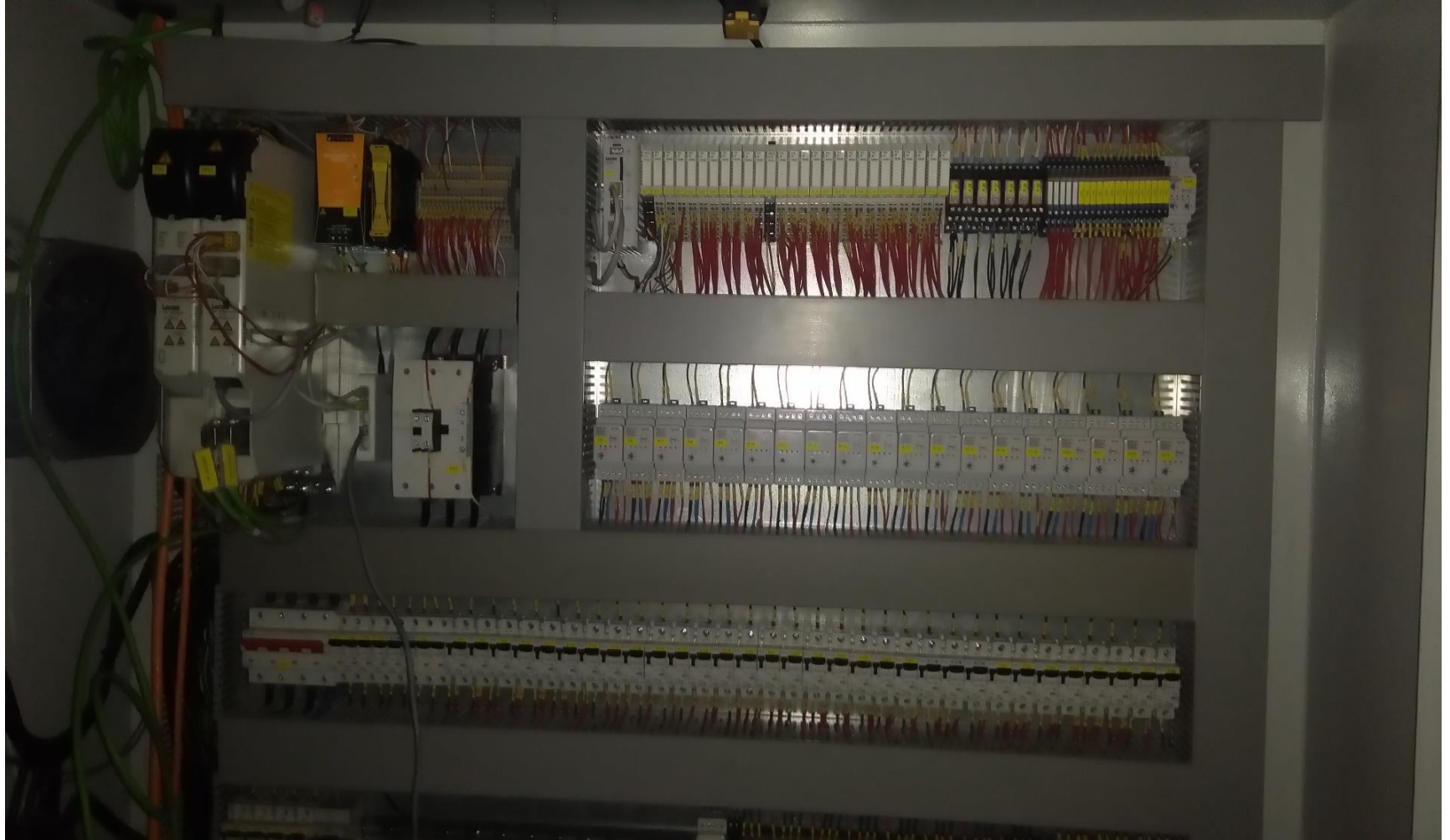
Şekil C.3 : Robot kol.



Şekil C.4 : Robot kol.



Şekil C.5 : Makine arkadan görünümü.



Şekil C.6 : Makine elektrik panosu.



Şekil C.7 : PLC ve giriş çıkış modülleri.

ÖZGEÇMİŞ

**VESİKALIK
FOTO**

Ad-Soyad : Mesut Kocaman
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.04.1987, Muğla
E-posta : mesut48@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014-2015 yılları arasında RWTH Aachen Tekstil Mühendisliği Fakültesi (ITA)'nde öğrenci asistan olarak çalışmıştır.
- 2015-2017 yılları arasında Altınay Havacılık ve İleri Teknolojiler şirketinde Otomasyon Mühendisi olarak çalışmıştır.
- 2017'den beri ise Lenze Türkiye firmasında Otomasyon Uygulama Mühendisi olarak görev yapmaktadır.