

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KONTROL LABORATUVARI İÇİN ADIM MOTORLU
SERVO DENEY SETİ TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Burcu KESKİN

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi İlyas EMİNOĞLU

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Burcu KESKİN tarafından, **Dr. Öğretim Üyesi İlyas EMİNOĞLU** danışmanlığında hazırlanan “**KONTROL LABORATUVARI İÇİN ADIM MOTORLU SERVO DENEY SETİ TASARIMI ve GERÇEKLENMESİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 1.3.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Dr. Öğr.Üyesi Nurettin ŞENYER Samsun Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi İlyas EMİNOĞLU Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

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

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

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

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

İmza

01 /03 / 2023

Burcu KESKİN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: KONTROL LABORATUVARI İÇİN ADIM MOTORLU SERVO DENEY SETİ TASARIMI ve GERÇEKLENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 05.01.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 6

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

İmza

03 /03 / 2023

Dr. Öğretim Üyesi İlyas EMİNOĞLU

ÖZET

KONTROL LABORATUVARI İÇİN ADIM MOTORLU SERVO DENEY SETİ TASARIMI ve GERÇEKLENMESİ

Burcu KESKİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ocak/2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlyas EMİNOĞLU

Uygulamalı eğitim, mühendislik öğrencilerinin gerçek bir sorunla karşı karşıya kaldıklarında problemlere çözüm getirebilme kabiliyeti kazandırarak öğrencilerin mühendislik becerilerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle Elektrik Elektronik Mühendisliği Kontrol ve Kumanda alt bölümünde verilen teorik derslerin yanında eğitimin uygulamalı olarak da desteklenmesi gerekmektedir. Kontrol laboratuvarında öğrencilere adım motor ile çalışan konum/pozisyon denetimli bir prosesin bileşenlerini ve işleyişini gösterebilmek amacı ile dört adım motorlu servo kabiliyetli eğitim seti kavramsal olarak kurgulanıp, tasarlanıp, imal edilip, çalıştırılmıştır. Kaynak yapma, delme, vidalama gibi ardışık işlemlerin üretim sürecini temsil eden konum/pozisyon denetimli eğitim seti hem mikrodenetleyici hem programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Temel olarak servo motorun hız ve konum kabiliyetini, servo motorun nasıl çalıştırılacağını ve ölçülerinin nasıl alınacağını gösteren eğitim seti yerine delme, vidalama gibi üretim süreçlerini temsil edecek bir eğitim seti tasarlanmasına özen gösterilmiştir. Eğitim seti kontrol sistemleri laboratuvarında öğrenim gören öğrencilere konum/pozisyon denetim prosesinde yer alan, adım motorları, sürücüler, kayış kasnak yapısı, vidalı miller, güç kaynakları, sınır anahtarları, optik konum algılayıcılar, algoritma çıkarma, PLC ve mikrodenetleyici ile konum/pozisyon denetimi ve kullanıcı arayüzü oluşturma hakkında deneyim kazanmalarını sağlayacaktır. Böylece eğitim seti kontrol sistemleri laboratuvarında öğrenim gören öğrencilerin birinci elden uygulamalı deneyim edinmelerine katkıda bulunacak ve mühendislik yapma kültürünün geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak lisans öğrencilerinin mühendislik becerilerinin gelişimine anlamlı bir katkı sağlayacaktır.

Anahtar Sözcükler: Eğitim Seti, Uygulamalı Eğitim, Adım Motor, Hareket Denetimi, Pozisyon Denetimi, PLC, Mikrodenetleyici, Tasarım

ABSTRACT

STEP MOTOR BASED SERVO SET-UP FOR CONTROL LABORATORIES: DESIGN AND IMPLEMENTATION

Burcu KESKİN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Master, January/2023

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İlyas EMİNOĞLU

Hands-on training contributes develop engineering skills by giving engineering students the ability to solve problems when faced with a real problem. For this reason, in addition to the theoretical courses given in the Control option of Electrical and Electronics Engineering, education should also be supported practically. In the control laboratory, a four-step motor servo-capable training setup was conceptually fictionalized, designed, manufactured and operated in order to show the students the components and operation of a motion control process working with the step motors. The motion-controlled training setup, which simulates the manufacturing process of welding, drilling, and screwing etc. is designed to be controlled by both a microcontroller and a programmable logic controller (PLC). Instead of the training set, which basically shows the speed and position capability of the servo motor, how to operate the servo motor, and how to take measurements, it was paid attention to design a training set to represent production processes such as drilling and screwing, etc. The training setup will provide the students studying in the control systems laboratory to gain experience in the servo controlled manufacturing process, stepper motors, drivers, belt and pulley structure, screw shafts, power supplies, limit switches, optical position sensors, developing algorithm, position control with PLC and microcontroller and creating GUI (Graphical User Interface). As a result, the training set will contribute to the students' hands-on experience in the control systems laboratory contribute to the development of the culture of engineering. As a result, it will make a meaningful contribution to the development of undergraduate students' engineering skills.

Keywords: Training Setup, Hands-on Training, Step Motor, Motion Control, Position Control PLC, Servo Controlled Process, Microcontroller, Design

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen canım aileme ve eğitimime katkı sağlayan tüm değerli hocalarıma, yüksek lisans eğitimim boyunca bana deneyim ve bilgileriyle çok katkısı olan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlyas EMİNOĞLU'na, çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Bekir ALTIN ve Arş.Gör. Mehmet Serdar Çelik'e teşekkürlerimi sunarım.

Burcu KESKİN



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL METOT	7
2.1. Eğitim Seti Yapısına Genel Bakış	7
2.2. Eğitim Setinin Donanımsal Tasarımı	9
2.2.1. Adım Motor ve Sürücüler	9
2.2.2. Sensörler	13
2.2.3. Denetleyiciler	14
2.2.4. Güç Kaynakları	15
2.2.5. Tasarlanan Elektronik Kartlar	16
2.2.6. Kablolama ve Mekanik Aksam	22
2.2.7. Güvenlik ve İkaz	26
2.3. Eğitim Setinin Kullanılan Yazılımlar	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	28
3.1. Eğitim Setinin STM32F Mikrodenetleyicisi İle Denetlenmesi	28
3.1.1. Algoritma	28
3.1.2. Kontrol Uygulaması	29
3.1.3. STM32F İle Kontrol İçin Kullanıcı Arayüz Tasarımı	33
3.2. Eğitim Setinin PLC İle Denetlenmesi	34
3.2.1. Algoritma	34
3.2.2. Kontrol Uygulaması	36
3.2.3. PLC İle Kontrol İçin Kullanıcı Arayüz Tasarımı	40
3.3. Eğitim Setinde Kullanılan Çok Amaçlı Mikrodenetleyici (PIC) Kartı	41
4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	46
EKLER	49
ÖZ GEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

PLC	: Programmable Logic Controller
DSP	: Digital Signal Processing
T_L	: Yük torku
F	: Eksen yönü yükü(kg)
P_B	: Vidalı mil aralığı (cm/rev)
μ_0	: Ön basınç somununun iç sürtünme katsayısı
F_0	: Ön basınç yükü (kg)
η	: Verimlilik oranı
i	: Yavaşlama oranı
T_a	: Hızlanma ve yavaşlama torku
NC	: Normalde açık
NO	: Normalde kapalı
PCB	: Printed Circuit Board
LCD	: Liquid-Crystal Display
IDE	: Integrated Development Environment
PTO	: Pulse Train Output
GPIO	: General-Purpose Input/Output
PWM	: Pulse Width Modulation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Servo ve adım motor eğitim setleri.....	4
Şekil 1.2. Servo, adım ve doğru akım motor ve sürücüleri.....	4
Şekil 1.3. Bıçak bileme makinası (KAİZEN MAKİNA 2022).....	5
Şekil 2.1. (a) Eğitim seti , (b) üstten görünüşü, (c) arkadan görünüşü.....	8
Şekil 2.2. Seri-paralel bağlantı için tork-hız grafiği.....	10
Şekil 2.3. Nema 23-34 adım motorlarının paralel seri bağlantı şeması	11
Şekil 2.4. CWD556 sürücüsünün Nema 34 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı	12
Şekil 2.5. Microstep sürücüsünün Nema 23 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı.....	12
Şekil 2.6. (a) CWD556 anahtar ayarları, (b) Microstep anahtar ayarları	13
Şekil 2.7. LM393 optik sensör.....	13
Şekil 2.8. LM393 optik sensör giriş ve çıkışları	14
Şekil 2.9. Sınır anahtarı.....	14
Şekil 2.10. Üç farklı denetleyici.....	15
Şekil 2.11. Güç kaynakları, (a) MeanWell 36V, (b) Delta 12V.....	15
Şekil 2.12. DC-DC dönüştürücü, (a) voltaj düşürücü, (b) voltaj yükseltici.....	16
Şekil 2.13. Harici bağlantı için ilk prototip.....	17
Şekil 2.14. Sensörler için eklenti kartı	17
Şekil 2.15. PNP girişi NPN girişe dönüştüren kart için eklenti kartı.....	18
Şekil 2.16. Harici bağlantı için nihai prototip	19
Şekil 2.17. Harici bağlantı için nihai prototip eklenti kartı.....	19
Şekil 2.18. Harici bağlantı için nihai prototip baskı devre.....	20
Şekil 2.19. Harici bağlantı için nihai prototip eklenti baskı devre	21
Şekil 2.20. Çok amaçlı mikrodenetleyici kartı.....	21
Şekil 2.21. Eğitim seti üç boyutlu imalat çizimleri.....	22
Şekil 2.22. Eğitim seti üç boyutlu imalat çizim baskıları	23
Şekil 2.23. (a) Eğitim seti ilk prototip, (b) nihai prototip	24
Şekil 2.24. Lineer kızak lineer ray ve araba.....	25
Şekil 2.25. Vidalı mil ve uç yataklar.....	25
Şekil 2.26. Endüstriyel fiş.....	26
Şekil 2.27. Hareketli kablo kanalı.....	26
Şekil 2.28. Acil stop butonu.....	27
Şekil 2.29. Kullanılan yazılımlar	27
Şekil 3.1. STM32F ile denetim için genel şema	28
Şekil 3.2. STM32F için algoritma.....	29

Şekil 3.3. STM32F pinout ve konfigürasyon	31
Şekil 3.4. Kaçıklık ve hizalama kaçıklığı	31
Şekil 3.5. STM32F ile kontrol için kullanıcı arayüzü	33
Şekil 3.6. PLC ile denetim için genel şeması	34
Şekil 3.7. Üretim süreci parçasını temsil eden konum/pozisyon denetim algoritması	35
Şekil 3.8. PWM bloğu	36
Şekil 3.9. Başlangıç hizalama merdiven diyagramı	37
Şekil 3.10. Motor yönlerinin belirlenmesi	38
Şekil 3.11. Disk vidalı mili pozisyon ayarı için zamanlayıcı kullanımı	39
Şekil 3.12. Eyleyici işlem sayısı ayarı için sayıcı kullanımı	40
Şekil 3.13. PLC ile kontrol için kullanıcı arayüzü	41
Şekil 3.14. PIC ile sistemin denetim için genel şema	42

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Eğitim Setinde Kullanılan Eleman Listesi.....	7
--	---



1. GİRİŞ

Mühendislik eğitiminde verilen teorik bilginin faydası ve kalıcılığı için uygulamaların kullanımı oldukça önemlidir. Mühendislik eğitiminde laboratuvarların teoriyle pratiği birleştirmek için önemli bir rolü vardır (Boud vd., 1986). Mühendislik müfredatındaki pratik çalışmanın amacı ve avantajları şunlardır (Clara Davies, 2008):

- Öğrencileri cesaretlendirmek ve konuya olan ilgilerini uyandırmak,
- Teori ile pratik arasında ilişki kurarak öğrencilerin anlamasını arttırmakta yardımcı olmak,
- Öğrencilere mühendislik problemlerinin analizi ve çözümü konusunda iş birliği yapma fırsatları sunmak,
- Mezunların mühendislik ortamında profesyonel ve etkili bir şekilde rol almaları için gerekli yetenekleri ve algıları geliştirmek.

Uygulamalar sayesinde kazanılacak olan pratik deneyim, öğrencilere simülasyon veya fiziksel test donanımı gibi yöntemlerle sunulabilmektedir. Bunlardan biri olan sanal laboratuvarlar gerçek bir sisteme ihtiyaç duymadıkları için maliyet ve güvenlik açısından avantajlıdır (Petroni vd., 2019). Fakat avantaj sağlayan yönü ayrıca dezavantajını oluşturmaktadır. Çünkü sanal laboratuvarlar gerçek dünyayı tam olarak yansıtmamaktadırlar. Şöyle ki gerçek dünyada karşılaşılabilecek sorunlarla yüzleşilmediği için oluşan sorunların çözümleri hakkında da bir kazanım sağlamamaktadırlar.

Uzaktan erişimli laboratuvarlar, öğrencilerin internet üzerinden gerçek dünyadaki araçları kullanmasını sağlayan bir yazılım ve donanım ekipmanıdır (de Vries vd., 2020; Moallem, 2004). Yer ve zamandan bağımsız olarak uygulama yapma avantajına sahiptir. Sanal laboratuvara göre gerçeği yansıtmakta avantajlı olmasına rağmen öğrencilerin bire bir sistemi gözlemleyememesi açısından dezavantajı bulunmaktadır. Ayrıca internet üzerinden uygulama yapıldığından internet kaynaklı sorunlara bağımlılık söz konusudur.

Pratik oturumlar, öğrencilerin gerçek sistemlerde uygulama deneyimi sağlar (Gunasekaran ve Potluri, 2012; Coller, 2008). Uygulamalı laboratuvar deneyleri, öğrencilerin pratik becerilerini geliştiren gerçek ekipman ve verilerle etkileşime girmesine olanak tanır. Ayrıca deneyleri yürütmek için gruplar halinde çalışılması

gerektiğinden uygulamalı laboratuvar, öğrenciler arasındaki ekip çalışmasını geliştirir (Balakrishnan ve Woods, 2013).

Proje tabanlı laboratuvar, öğrencilere bir dizi konu alanından bilgi tabanlı becerileri bir araya getirme ve bunları gerçek yaşam problemlerine uygulama fırsatı sunar (Hughes ve Hughes, 1963)(Pan vd., 2004). Öğrenciler uygulamalı deneyim kazanır ve ürün tasarımı, kendi kendine öğrenme, işbirliği ve proje planlaması konularında yeteneklerini güçlendirir (Srivastava vd., 2011; Chu vd., 2008).

Taşınabilir laboratuvar, öğretim elemanı ve öğrencilerin sınıftan öğretim ekipmanlarını almalarına ve evde deneyler yapmalarına olanak tanır (Wang vd., 2022; Chevalier vd., 2021) . Bu tip laboratuvarlarda öğrenci sayısından dolayı pek çok cihazın üretilmesi bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca öğrencileri yönlendiren bir öğretim elemanı olmadığından öğrencilerin cihazlara zarar vermesi göz önüne alınması gereken bir husustur.

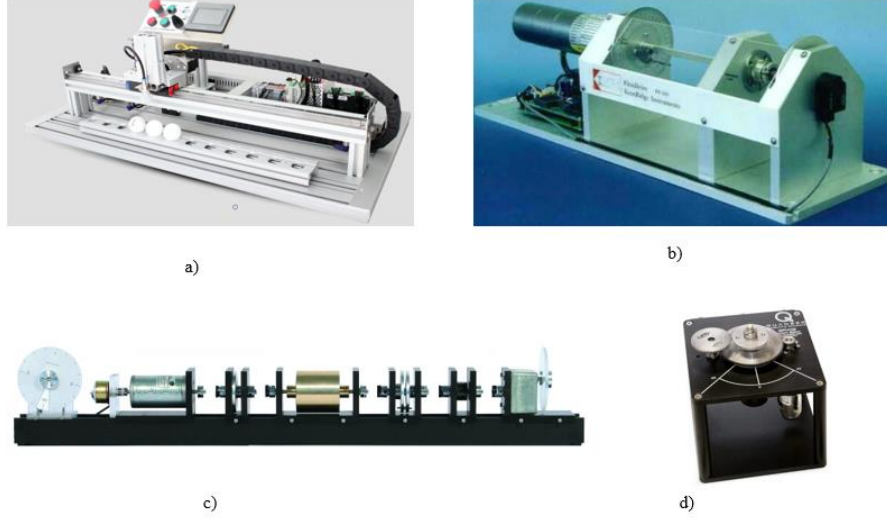
Kontrol sistemleri eğitimi için bazı ticari firmalar tarafından adım ve servo motor eğitim setleri tasarlanarak imal edilmektedir. Bunlardan biri, muhtelif eğitim setlerinin yanında adım motoru eğitim setleri de üreten Avrupalı bir ticari firmadır (FESTO, 2022.). Kuzey Amerikalı başka bir firmanın ise kontrol, robotik üzerine servo modülleri bulunmaktadır. Aynı zamanda bu firma kendi sistemlerinin sayısal ikizlerini çıkararak sanal laboratuvar çözümleri sunmaktadır (Quanser, 2022.). Farklı bir Kuzey Amerikalı firma ise, akademik ve endüstriyel alanda kontrol sistemleri eğitimi için ekipmanlar sağlamaktadır (ECP Systems, 2022.). Kontrol alanında çeşitli eğitim setleri üreten Asyalı bir firma tarafından üretilmiş ardışık olarak pozisyon, hız ve akım geri beslemeli olarak kontrol edilebilen servo motor eğitim setleri bulunmaktadır (KentRidge Instrument, 2022.). Yine Avrupalı bir firma otomasyon, robotik alanında eğitim sistemleri sağlamaktadır. Bu firmanın MATLAB/Simulink Real Time Workshop/ Real Time Windows Target (RTW/RTWT) ortamında gerçek zamanlı olarak çalışan modüler servo eğitim seti bulunmaktadır (INTECO, 2022.). Yerli bazı firmalar da kontrol sistemleri eğitimi için PLC ile denetlenen adım ve servo motor eğitim setleri tasarlamakta ve imal etmektedir (Ulus Otomasyon, 2022.; Yıldırım Elektronik, 2022.).

Akademik çalışmalarda adım ve servo motor eğitimine katkı sağlamak amacıyla farklı deney seti tasarımları yayımlanmıştır. Tsai ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada modüler bir servo motor test düzeneği gerçekleştirilmiştir. Düzenek gürbüz

denetim uygulamalarında karşılaştırma yapmak amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca deney seti DSP (Digital Signal Processing) kartı ile gerçek zamanlı olarak çalışabilmektedir (Tsai vd., 1997). Bir başka çalışmada ise adım motoru, doğru akım motoru ve fırçasız DC motoru bilgisayar ile denetlenmesini sağlayacak bir elektronik donanım tasarlanmıştır (Mazo vd., 1998). Rata ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada kullanılmış iki eksen grafik yazıcı cihazı ve (Mitsubishi) PLC'nin de içinde bulunduğu bir laboratuvar seti tasarımı yapılmıştır (Rata ve Rata, 2015). Bu çalışma ile öğrencilere pratik deneyim sağlayacak donanımsal ve yazılımsal maliyet etkin bir deney seti çözümü sunulmuştur. Oravec ve arkadaşları ise kullanıcı dostu ve düşük maliyetli bir 2B grafik yazıcı tasarlamışlardır (Oravec vd., 2016). Araştırma ve eğitim açısından tasarlanan bu cihazdaki adım motoru mikrodenetleyici kullanılarak denetlenmiştir. Awad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise adım motorlarının kullanıldığı başka bir alan olan güneş takip sistemi, PLC ve mikrodenetleyici kullanılarak denetlenmiştir (Awad vd., 2019). Peng ve arkadaşları adım motorları ve PLC kullanarak, malzeme taşıyan mobil bir robot tasarımı ve denetimini gerçekleştirmişlerdir (Peng vd., 2016). Bu çalışmanın eğitim ve araştırma açısından mobil bir platform sunduğu yazarları tarafından ifade edilmektedir. Bir başka çalışmada ise, ilaç endüstrisi için bir konveyör hattı geliştirilmiştir (Antipin vd., 2018). Geliştirilen konveyör hattında bulunan iki konveyörün senkronize hareketi için adım motorları kullanılmıştır. Bu çalışmalara ilave olarak, uzaktan erişimli laboratuvarlar giderek yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, yapılan bir çalışmada PLC (ABB'nin iştiraki olan B&R ürünü), iki adet adım motoru ve iki adet delikli diskten oluşan eğitim seti uzaktan erişimli olarak tasarlanmıştır (Josef Cernohorsky, 2015). Böylece, öğrenciler disklerin senkron hareket denetimini uzaktan erişimle yapabilmektedirler. Bir diğer çalışmada, adım motorun yarım adım (half step) ve tam adım (full step) hareketi ile nasıl çalıştığı, hız çıktılarının nasıl şekillendiği deneysel olarak gösterilmiştir (Irmak vd., 2012). Fukumoto ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yük ve tahrik motorunu temsilen kullanılan iki adet adım motorunun içinde yer aldığı bir deney seti tasarımı yapılmıştır (Fukumoto vd. 2021). Adım motorları, tasarlanan set içinde bulunan mikroişlemcilerle uzaktan denetlenebilmektedir. Ayrıca bu set adım motorlarının akım dalga şekillerini ve görsel olarak motorun hareketini de uzaktan izlemeye imkan sağlamaktadır.

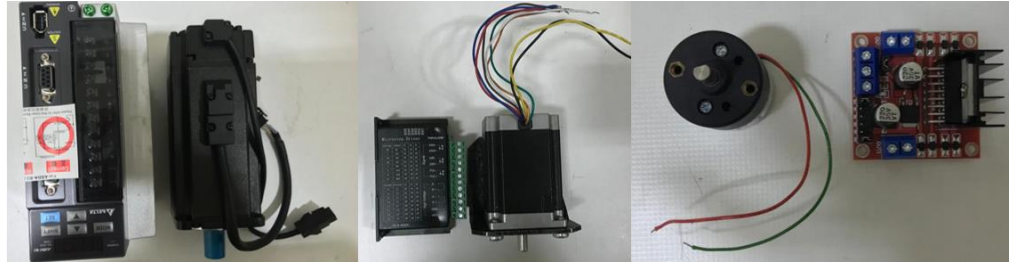
Şekil 1.1'de servo motor ve adım motorlarıyla oluşturulan birkaç ticari eğitim seti gösterilmiştir. Şekil 1.1.b, Şekil 1.1.c ve Şekil 1.1.d setleri temel olarak servo

motor hız ve konum kabiliyetini gösteren setlerdir. Bu setler servo motorun nasıl çalıştırılacağı ve ölçümlerin nasıl alınacağı gösterildiği ürünlerdir. Şekil 1.1.a ise bir üretim sürecini temsil eden bir eğitim setidir. Bu set ise tek eksen pozisyonlamanın adım motoruyla yapıldığı bir servo uygulamasıdır.



Şekil 1.1. Servo ve adım motor eğitim setleri

Tasarlanan sistemlerde hareketi sağlamak için Şekil 1.2’de gösterildiği gibi genellikle servo motor, adım motoru ve DC motorlar kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Servo, adım ve doğru akım motor ve sürücüleri

Hareket denetiminde genellikle AC servo motorlar tercih edilmektedir fakat bu tip motorların fiyatları adım motorlara göre nispeten daha yüksektir. İmalat sanayisinde adım motorlarının kullanıldığı çeşitli alanlar bulunmaktadır. Şekil 1.3’te kullanılan bir bıçak bileme makinesi buna örnek olarak gösterilebilir. Bu sistem iki eksen (x ve y) hareket etmektedir. Dolayısıyla iki adım motorunu vasıtasıyla iki eksen hareket edebilen tablaya bağlı bıçak ağız PLC ile konum/pozisyon denetimi yapılarak bıçak sabit bileme taşıda bilenmektedir.



Şekil 1.3. Bıçak bileme makinası (KAİZEN MAKİNA 2022)

Bu çalışmaya Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Kontrol ve Kumanda alt bölümü derslerinde kullanılmak amacıyla bir üretim sürecini temsil eden dört adım motorundan (ve kızılötesi sensörlerden) oluşan servo kabiliyetli (konum/pozisyon denetimli) deney seti gereksiniminden hareketle yola çıkılmıştır. Adım motorları endüstriyel servo uygulamalarında, biyomedikal cihazlarda ve bilgisayar ekipmanları gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Adım motorları girişten verilen elektriksel darbeleri mekanik bir harekete dönüştürmeyi sağlar. Ancak doğru akım motorlarından farklı olarak adım motorları yalnızca güç kaynağı bağlayarak dönmemektedir. Bu yüzden bu motorların sayısal bir darbe tarafından uyartılması gerekmektedir. Özetle bu motorların kontrolü için sayısal işaret üretecek olan PLC, mikrodenetleyici gibi araçların kullanımının bilinmesi önemlidir. Adım motorları hem pozisyon hem de hız açısından herhangi bir geri besleme gerektirmedikleri, konum hataları birikimli olmadıkları ve sayısal ekipmanlarla uyumlu çalıştıkları için caziptirler (Kenjo, 1984). Adım motorların hareketleri ayrık ve tekrarlanabilir olduğundan hassas konumlandırmayı kolaylaştırmaktadır. Yüksek hızda olmalarının yanı sıra tutma ve bırakma (stick-slip) problemleri olmadan çok yavaş hareket edebilmektedirler. Ayrıca adım motorlarının tutma torkları yüksek olduğundan fren kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Larson, 1979).

Laboratuvara kaynak, delme, vidalama, gibi ardışık işlemlerin yapıldığı çok eksenli (karmaşık) üretim sürecini temsil eden konum/pozisyon denetimli bir deney setinin robotik uygulamalarına geçiş bakımından önem taşıması nedeniyle dört eksenli adım motorlu eğitim seti tasarlanmıştır.

Bu çalışmadaki deney seti dört adım motoru, motor sürücüleri, güç kaynakları,

optik sensörler, sınır anahtarları, acil durdurma butonu, klemens, endüstriyel tip fiş, iki adet hareketli kablo kanalı, iki adet vidalı mil, mikrodnetleyici ile tasarlanmış çok amaçlı denetim kartı ve hoparlörlerden oluşmaktadır. Set üstünde bulunan mikrodnetleyici ile tasarlanmış çok amaçlı denetim kartı öğrencilere set hakkında sesli ve yazılı olarak bilgi vermek ve sistemi kontrol etmek amacıyla dahili olarak bulunmaktadır. Bu eğitim setinde kullanılan adım motorları mikrodnetleyici (veya PLC (Programmable Logic Controller)) ile kontrol edilmektedir. Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde STM32F mikrodnetleyiciler kullanıldığı için STM32F401RE mikrodnetleyici, Kontrol ve Kumanda bölümü dersleri için Siemens S71200 serisi PLC'ler kullanıldığından düzenekte de bu PLC tercih edilmiştir. Ayrıca diğer mikrodnetleyicilerle (örneğin PIC, Arduino vb.) uyumlu olması amaçlanmıştır. Mikrodnetleyicilerle motor kontrolü yapan pek çok uygulama bulunmaktadır (Chu vd., 2008; Irmak vd., 2012). Fakat bu uygulamalar motorun nasıl çalıştırılacağı ve ölçümlerin nasıl alınacağı gösterildiği çalışmalardır. Bu çalışma ise bir üretim sürecini temsil eden bir eğitim setidir. Düzenek eğitim sürecinde kullanılırken öncelikle öğrencilere düzenekle ilgili gerekli bilgiler aktarılacak ve ilk sunum uygulama gösterimi yapılacaktır. Daha sonra öğrencilerin gerçekleştirilen konum/pozisyon denetimini uygulamalı olarak kendilerinin gerçeklemesi istenecektir. Böylelikle düzenek sayesinde derste kazanılan teorik bilginin pratiğe aktarılması sağlanacaktır.

2. MATERYAL METOT

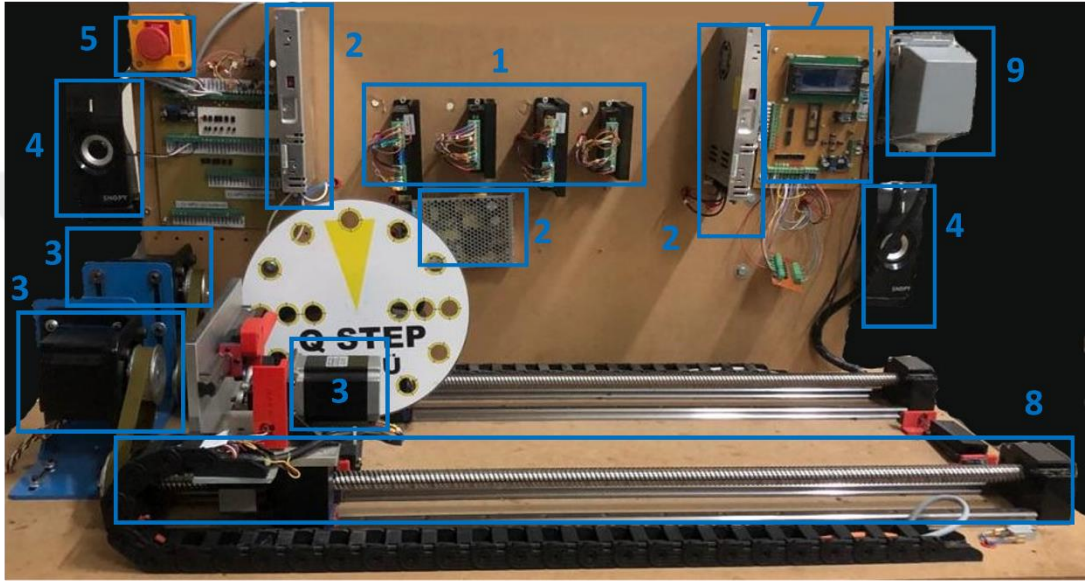
2.1. Eğitim Seti Yapısına Genel Bakış

Eğitim seti Tablo 2.1’de verilen elemanlardan oluşmaktadır. Malzemelerin maliyeti yaklaşık 764\$ civarındadır.

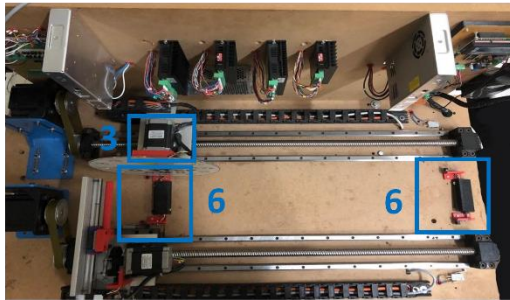
Tablo 2.1. Eğitim Setinde Kullanılan Eleman Listesi

Ürün	Adet	Fiyat (\$)
Nema 23 adım motoru	2	47
Nema 34 adım motoru	2	76
Microstep sürücüsü	2	30
CWD556 sürücü	2	118
Mean Well LRS-350-36-KO güç kaynağı	2	74,36
Delta PMT12V100W1AA güç kaynağı	1	8,31
Optik sensör	6	4,6
Sınır anahtarı	4	2,6
Acil durdurma butonu	1	1,95
Klemens	2	4,55
Endüstriyel tip fiş	1	16,25
Hareketli kablo kanalı	2	26,64
Vidalı mil	2	50
Vidalı mil uç yatak	4	56
Lineer kızak lineer ray araba	2	40
Lineer kızak lineer ray	4	80
3D baskı ürünleri	-	-
Nema 23 flanş	2	8
Nema 34 flanş	2	15,6
Nema 34 gergi ayar flanş	2	18,2
Kasnak	4	16,25
Kayış	2	9,75
Mikrodenetleyici bölmesi	1	30
Hoparlör	2	16,25
İkaz lambası	1	13

Şekil 2.1’de gösterilen adım motor seti üç numara (3) ile gösterilen dört adet adım motoru, dört adet adım motor sürücüsü (1), iki adet vidalı mil (8), üç adet DC besleme kaynağı (2), altı adet optik sensör ve dört adet sınır anahtarı (6), acil durumlar için acil durdurma butonu (5), sistemin nasıl çalıştığına dair sesli anlatımın ve ilk sunumun yapıldığı bir mikrodenetleyici ile tasarlanmış çok amaçlı denetim kartı (7), sesli anlatım için hoparlörler (4), endüstriyel fiş (9), bağlantılar için kablolama ve klemensler, 3D yazıcıdan basılmış olan muhtelif ürünlerden oluşmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.1. (a) Eğitim seti , (b) üstten görünüşü, (c) arkadan görünüşü

Sistemde bulunan dört motorun işlevi tanımlanacak olursa ilk motor (M1, disk vidalı mili) birinci vidalı mili hareket ettirmektedir, birinci vidalı mil üzerinde muhtelif delikler olan bir disk barındırmakta, diskteki muhtelif delikler, vidalanacak, kaynak yapılacak üretim parçalarını temsil etmektedir. İkinci motor (M2, eyleyici vidalı mili) ikinci vidalı mili hareket ettirmekte olup üzerinde vida söküp takmayı vb. temsil eden,

ileri geri hareketi yapan eyleyiciyi taşımaktadır. Muhtelif iş parçalarını veya iş duraklarını temsil eden disk, üçüncü motor (M3) tarafından döndürülmektedir. M3 motoru veya döner disk, M1 motorunun sürdüğü birinci vidalı milin arabası üzerindedir. Dördüncü motor (M4) ise kaynak, vida sıkmayı temsil eden eyleyiciye güç aktarmaktadır. M4 motoru ve eyleyici, ikinci vidalı milin arabasında bulunmaktadır.

2.2. Eğitim Setinin Donanımsal Tasarımı

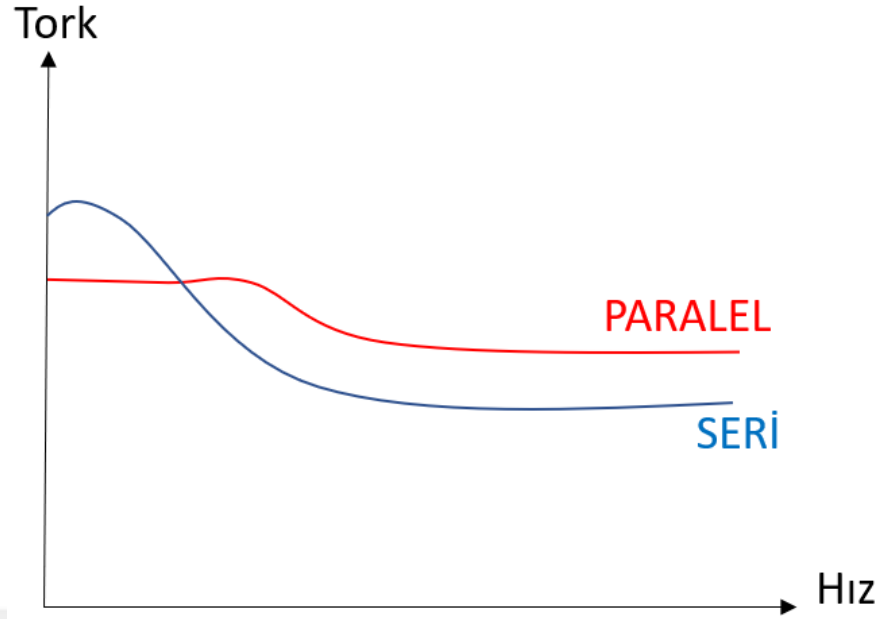
2.2.1. Adım Motor ve Sürücüler

Adım motorları geri beslemeye ihtiyaç duymadan hassas konumlandırma sağlamaktadır. Düşük maliyetli ve açık döngü kontrol sistemlerinde bu tür motorlar sıklıkla kullanılmaktadır (Yedamale vd., 2002). Bu motorların istenilen referansa oturma zamanları servo motorlara göre daha kısa zaman almaktadır. Ayrıca servo motor çalışır durumdayken durdurulduğunda salınım yaparken, adım motorları salınım yapmamaktadır (Autonics, 2022.).

Adım motorlarının tek kutuplu (unipolar) ve çift kutuplu (bipolar) olarak kullanımları mevcuttur. Tek kutuplu motorlarda akımın akış yönü tek yönlüken çift kutuplu motorlarda akımın akış yönü iki yönlüdür. Çift kutuplu motorlar tek kutuplu motorlara göre daha çok tork üretirken, kontrolleri tek kutuplu motorlara göre daha karmaşıktır (Condit vd., 2004). Tek kutuplu ve çift kutuplu motorların iletken sayılarına göre adım motorların bağlantıları değişmektedir (Orientalmotor, 2022.). Ayrıca çift kutuplu motorlar seri ve paralel olarak bağlanabilmektedir. Seri bağlantı büyük endüktansa sahip olduğu için düşük hızda daha fazla tork sağlayabilmektedir (Advanced Micro Systems Inc, 2022.). Paralel bağlantı düşük endüktansa sahip olduğundan yüksek hızlarda daha fazla tork sağlayabilmektedir. Şekil 2.2’de seri ve paralel bağlantı için tork-hız grafiği verilmiştir.

Adım motoru için gerekli motor torkunun hesabı basitçe denklem (2.1)’de verilmiştir (Autonics, 2022.).

$$\begin{aligned} \text{Gerekli Motor Torku} = \\ (\text{Yük Torku} + \text{Hızlanma Yavaşlama Torku}) \\ \times \text{Güvenlik Oranı} \end{aligned} \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Seri-paralel bağlantı için tork-hız grafiği

Yük torku (T_L) motora bağlı taşıma ekipmanının sürtünme gücünü gösterir. Yük torku taşıma ekipmanının çeşidi ve nesnenin ağırlığıyla değişmektedir. Adım motorunun vidalı mile bağlı olduğu durum için basit bir hesaplama denklem (2.2)'de gösterilmiştir.

$$T_L = \left(\frac{FP_B}{2\pi\eta} + \frac{\mu_0 F_0 P_B}{2\pi} \right) x \frac{1}{i} [kgf.cm] \quad (2.2)$$

Hızlanma ve yavaşlama torku =

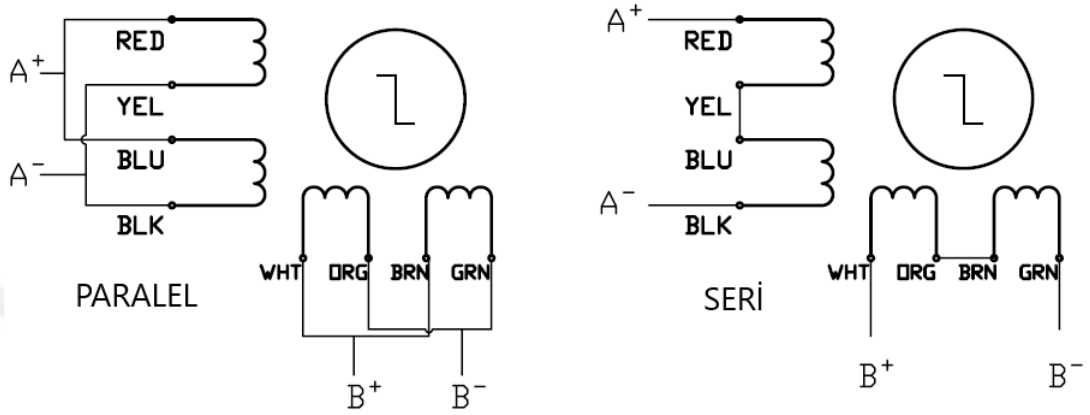
$$\frac{\text{Rotor Eylemsizlik Momenti} + \text{Yük Eylemsizlik Momenti}}{\text{Yer Çekimi İvmesi}} \quad (2.3)$$

$$x \frac{\pi x \text{ Adım açısı}^\circ}{180^\circ} x \frac{\text{Sürücü Frekansı} - \text{Başlangıç Frekansı}}{\text{Yavaşlama ve Hızlanma Zamanı}}$$

Hızlanma ve yavaşlama torku (T_a) motora bağlı taşıma ekipmanını hızlandırmak ve yavaşlatmak içindir. Denklem (2.3)'de hızlanma ve yavaşlama torkunun hesabı gösterilmektedir.

Eğitim setinde dört adet adım motor bulunmaktadır. Tablo 2.1'den de görüldüğü gibi iki tip Nema adım motoru kullanılmıştır. Vidalı milleri hareket ettiren motorlar daha fazla torka ihtiyaç duyduğundan Nema 34 motorları tercih edilmiştir. Disk ve eyleyiciyi (döner hareketin ileri geri harekete çeviren mekanik parça) hareket ettiren motorlar daha az torka ihtiyaç duyduğu için Nema 23 motorları tercih edilmiştir. Adım

motorlarına uygun motor sürücülerini kullanılmıştır. Bunun için Nema 34 motoruna uygun akım verebilecek CWD556 sürücüsü, Nema 23 motoruna uygun Microstep sürücüsü tercih edilmiştir. Yüksek hızlarda daha yüksek tork istenmesi dolayısıyla adım motor ve sürücü bağlantısı için şekil 2.3’de gösterilen bağlantı şekillerinden paralel bağlantı yapısı seçilmiştir.

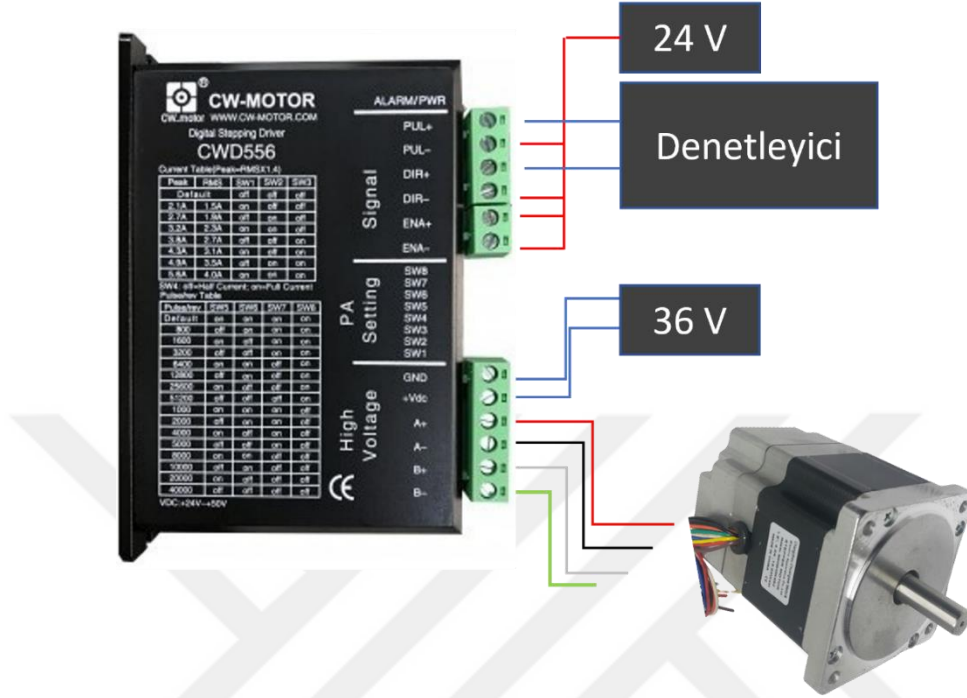


Şekil 2.3. Nema 23-34 adım motorlarının paralel seri bağlantı şeması

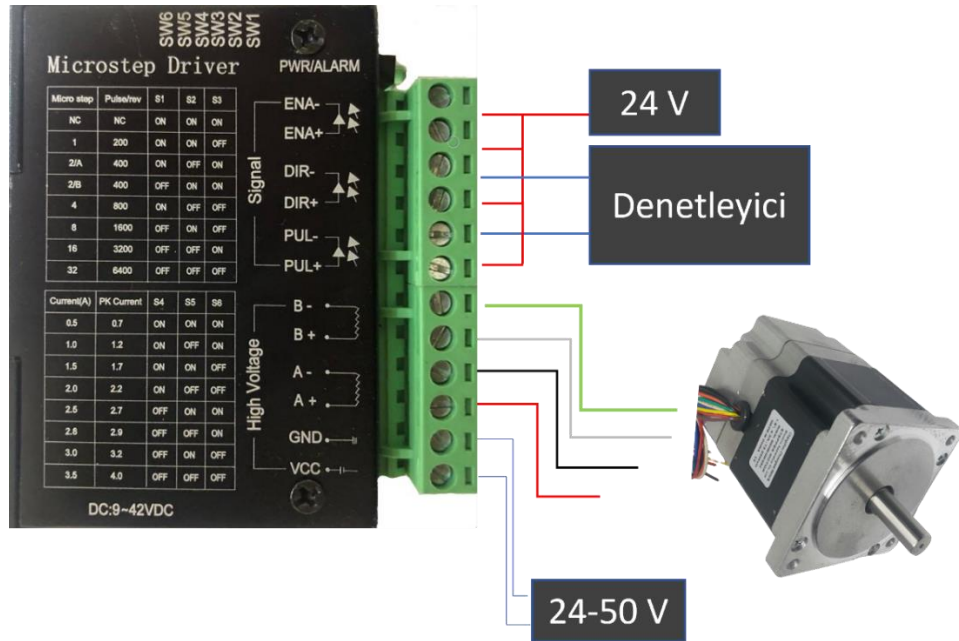
CWD556 sürücünün Nema 34 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı şekil 2.4’de gösterilmiştir. Microstep sürücünün Nema 23 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı şekil 2.5’de gösterilmiştir. Sürücülerin diğer bir ayarı olan anahtar (DIP switch) ayarları şekil 2.6 gösterildiği gibidir. Anahtar (DIP switch) ayarlarıyla motora bir tam dönüş için kaç darbe uygulanacağı ve en fazla ne kadar akım verilebileceği gibi parametreler seçilebilmektedir. CWD556 sürücüsünde bulunan 5.,6.,7. ve 8. anahtarların ayarlanmasıyla bir tam tur için ne kadar adım gerekeceği ayarlanabilmektedir. Akım ayarı ise 1.,2.,3. anahtarların ayarlarıyla yapılabilmektedir. 4. anahtar ise motor sabit dururken ki tutma kuvvetiyle alakalıdır. Nema 24 motorunu süren sürücü içinde yapılan ayarlamalar benzer olmakla beraber 1.,2.,3. anahtarlar ayarlarıyla akım ayarlanırken 4.,5.,6. anahtar ayarlarıyla ise adım motorunun bir tur için gerekli olan adım sayısı ayarlanmaktadır.

Adım motor setinde yüksek torka ihtiyaç duyulduğu durumlarda adım motorunun yapısı kaynaklı adım kaçırımları oluşabilmektedir. Ayrıca yüksek hız istenmesi durumunda (adım sayısının düşük tutulma durumu için) akımın yüksek seçilmesi gerekmektedir. Şekil 2.2’den de görüldüğü üzere hız arttıkça tork azalmaktadır. Bu durum için akımı yüksek tutarak olabildiğince torkun yüksek tutulması gerekmektedir. Düşük hızlarda (adım sayısının yüksek olduğu durum için)

ise yeterli tork sağlanıyorsa ısınma gibi olumsuz durum etkilerini azaltmak için akımın düşük tutulmasında fayda bulunmaktadır. Bu durumlar göz önüne alınarak anahtar seçimleri yapılmıştır.



Şekil 2.4. CWD556 sürücüsünün Nema 34 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı



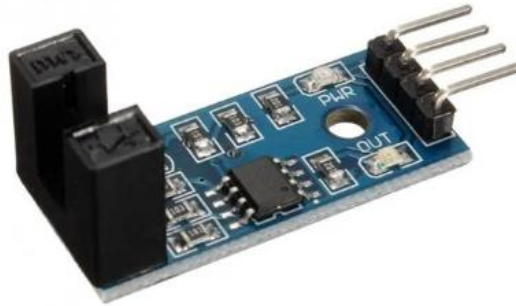
Şekil 2.5. Microstep sürücüsünün Nema 23 adım motoru, denetleyici ve besleme bağlantısı



Şekil 2.6. (a) CWD556 anahtar ayarları, (b) Microstep anahtar ayarları

2.2.2. Sensörler

Eğitim setinde iki adet sensör kullanılmıştır. Bunlarda biri optik sensör diğeri ise sınır anahtarıdır. Şekil 2.7’de kullanılan LM393 slot tip optik sensör gösterilmiştir. Seçilen LM393 slot tip optik sensörler hem metal hem de metal olmayan cisimleri algılayabilmektedir. Bu sensörler ekonomik olması ve sistemin mekaniksel yapısına uygun olması nedeniyle tercih edilmiştir.

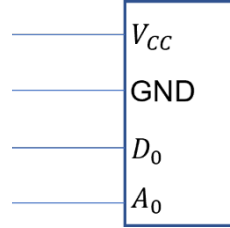


Şekil 2.7. LM393 optik sensör

Şekil 2.8’de kullanılan optik sensörün giriş ve çıkışlarının neler olduğu gösterilmiştir. Görüldüğü sensörün besleme girişi bulunmaktadır. Bu sensörün

beslemesi 3.3-5 V arasındadır. Çıkış olarak dijital ve analog çıkış verebilmektedir.

Bu çalışma için sadece dijital çıkış kullanılmıştır. Besleme olarak 5V gerilimi uygulanmıştır. Sensörler cisim algıladığında ise dijital çıkış olarak 5V çıkış gerilimi vermektedir.



Şekil 2.8. LM393 optik sensör giriş ve çıkışları

Şekil 2.9’da gösterilen sınır anahtarları, optik sensörün hemen sonrasına yerleştirilmiştir. Eğer optik sensörün temsil ettiği başlangıç noktası (yazılımsal vb. nedenlerle) aşılabilecek olursa sınır anahtarının NC (normalde kapalı) kontağı NO (normalde açık) durumuna geçip sistemin enerjisini kesmekte ve sistemi durdurmaktadır. Bu sayede sistem istenildiği gibi durdurulmadığı durumlarda (hata durumlarında) ikincil bir koruma sağlamaktadır.



Şekil 2.9. Sınır anahtarı

2.2.3. Denetleyiciler

Eğitim setinin denetimi programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC) ve mikrodenetleyici ile yapılabilmektedir. Eğitim setini denetleyen cihazlar Siemens S71200 1214C DC/DC/DC PLC, STM32F401RE mikrodenetleyicisi ve PIC18F877A mikrodenetleyicisidir. Şekil 2.10 ’de bu üç denetleyicide gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.10. Üç farklı denetleyici

Şekil 2.10.(a) 'daki PLC'nin NPN-PNP (ortak (M) uca bağlantıya göre değişir) 14 dijital giriş, PNP 10 dijital çıkış bulunmaktadır. Bu dijital çıkışların dört tanesi 100 kHz geri kalanı ise 20 kHz çıkış vermektedir. Şekil 2.10.(b)'de 84 MHz'lik NUCLEO STM32F401RE geliştirme kartı NPN-PNP 81 adede kadar giriş/çıkış bağlantı noktasına ve 11 adet zamanlayıcıya sahiptir. Şekil 2.10.(c)'de 20Mhz'lik PIC16F877A mikrodeneleyicisi 33 adet giriş/çıkış ve 3 adet zamanlayıcıya sahiptir.

2.2.4. Güç Kaynakları

Eğitim setinde kullanılan elemanlara enerji sağlanması için 3 adet güç kaynağı kullanılmıştır. Bunlardan ikisi 36 V'lük güç kaynağı ve diğeri ise 12V'luk güç kaynağıdır. Şekil 2.11'de kullanılan güç kaynakları gösterilmiştir.



(a)

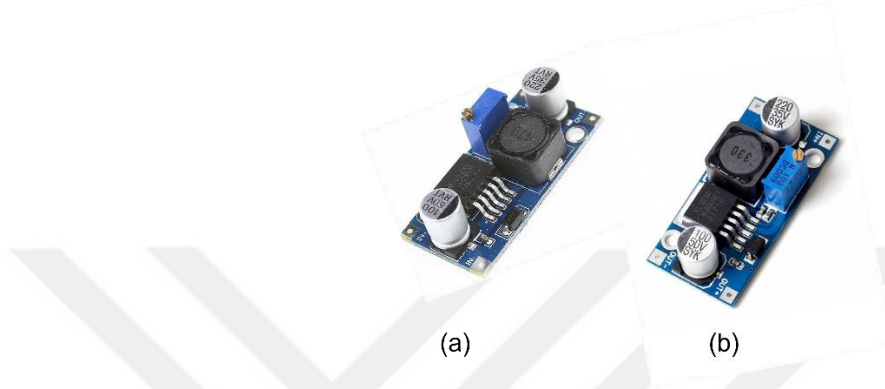


(b)

Şekil 2.11. Güç kaynakları, (a) MeanWell 36V, (b) Delta 12V

36V'luk kaynak motor sürücülerini beslemektedir. 12V'luk kaynak ise sistemde bulunan hoparlörleri, elektronik kartları beslemek için kullanılmaktadır. Bu kaynakların yanı sıra sistemde gerekli olan 5V ve 24V gerilimler ise DC-DC

dönüştürücüler kullanılarak sağlanmıştır. Toplamda iki adet DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. Bunlardan biri 12V-24V voltaj yükseltici güç modülü diğeri ise 12V-5V voltaj düşürücü güç modülüdür. 12V-24V voltaj yükseltici motor sürücülerin ortak uçlarına verilen gerilim ve PLC bağlantısı için gerekli 24V lük gerilime sensör çıkışlarını yükseltmek için kullanılmıştır. 12V-5V voltaj düşürücü ise sensörler ve mikrodnetleyiciler için gerekli gerilim değerini sağlamak için kullanılmıştır.



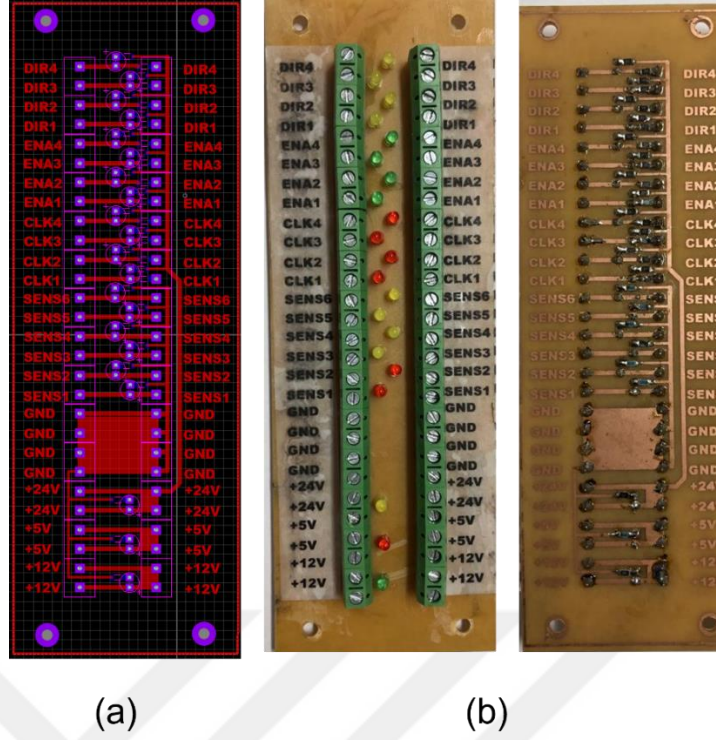
Şekil 2.12. DC-DC dönüştürücü, (a) voltaj düşürücü, (b) voltaj yükseltici

PLC bağlantısı için gerekli 24V lük gerilime sensör çıkışlarını yükseltmek için kullanılmıştır. 12V-5V voltaj düşürücü ise sensörler ve mikrodnetleyiciler için gerekli gerilim değerini sağlamak için kullanılmıştır.

2.2.5. Tasarlanan Elektronik Kartlar

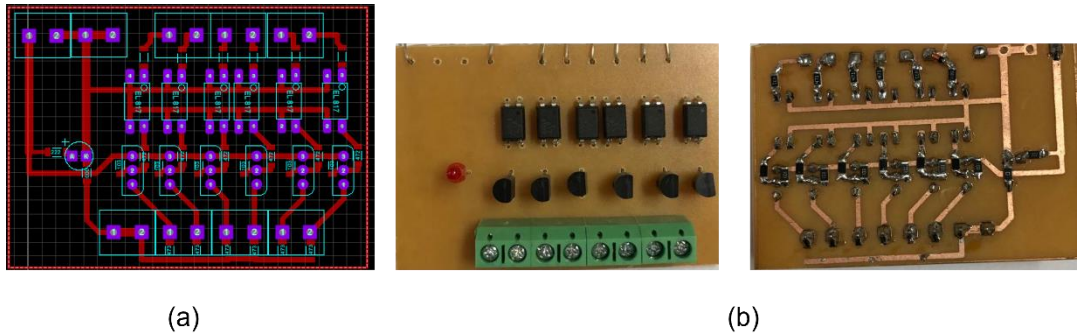
PLC Eğitim setinin nihai prototipinde iki adet elektronik devre kullanılmıştır. Bunlardan biri sistemi dahili olarak kontrol etmek için tasarlanmış olan çok amaçlı mikrodnetleyici (PIC16F877A kullanılmıştır) kartıdır. Diğeri ise harici olarak (24 V PLC, 5V ve 3.3V mikrodnetleyici için) kontrolü sağlamak için tasarlanmıştır.

Şekil 2.13’de harici olarak kontrol etmek için gerçekleştirilmiş elektronik kartın ilk prototipi görünmektedir. Şekil 2.13.(a)’da elektronik kartın PCB çizimi şekil 2.13.(b)’de ise baskı devreden çıkmış olan son hali görünmektedir. İlk prototipte görüldüğü gibi ihtiyaç duyulabilecek gerilimleri sistemden almak için 5,12,24 V çıkışları bulunmaktadır. Motorları kontrol etmek için gerekli olan DIR, ENA ve CLK (PUL) girişleri ve 6 adet sensör çıkışları bulunmaktadır. Böylelikle harici olarak sistemin kontrolü için gerekli olan giriş ve çıkışlar bu devre üzerinden sağlanmıştır. Ayrıca ledler giriş ve çıkışların çalışıp çalışmadığının kontrolünü yapmak için kullanılmıştır.



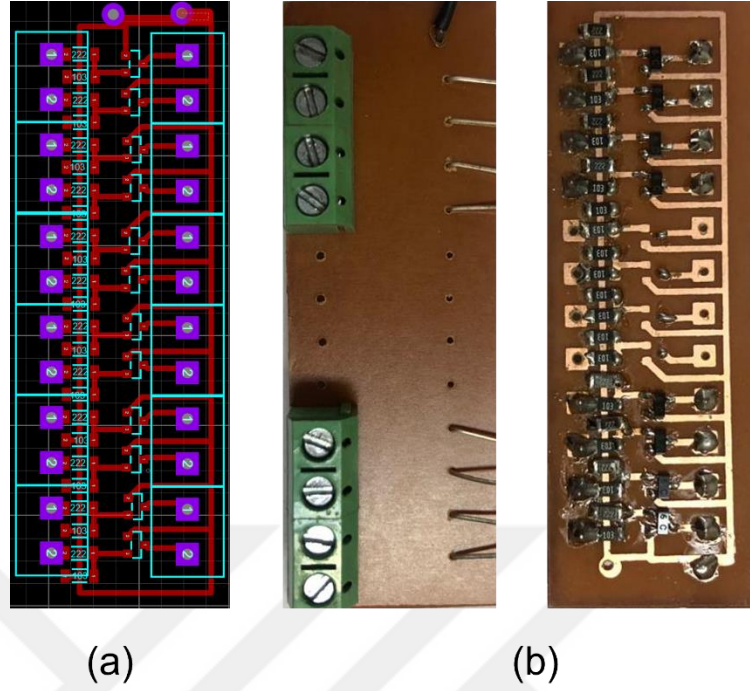
Şekil 2.13. Harici bağlantı için ilk prototip

Şekil 2.13’de harici olarak kontrol etmek için gerçekleştirilmiş elektronik kartın ilk prototipi olan PCB çizimi ve baskı devresi görünmektedir. Fakat bu prototipin yeterli olmadığı çalışma yapılırken fark edilmiştir. İlk olarak PLC ile harici olarak kontrol sağlanırken sensör çıkışlarının 5V çıkış vermesinden kaynaklı olarak çıkışların 24V’a yükseltilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için Şekil 2.14’deki devre tasarlanmış ve Şekil 2.13’deki elektronik karta eklenti olarak eklenmiştir.



Şekil 2.14. Sensörler için eklenti kartı

İkinci olarak Siemens PLC’nin PNP çıkış vermesinden dolayı PNP çıkışların NPN çıkışlara dönüştürülmesi gerekmiştir. Bunun için Şekil 2.15’deki devre tasarlanmış ve Şekil 2.13’deki elektronik karta eklenti olarak eklenmiştir.

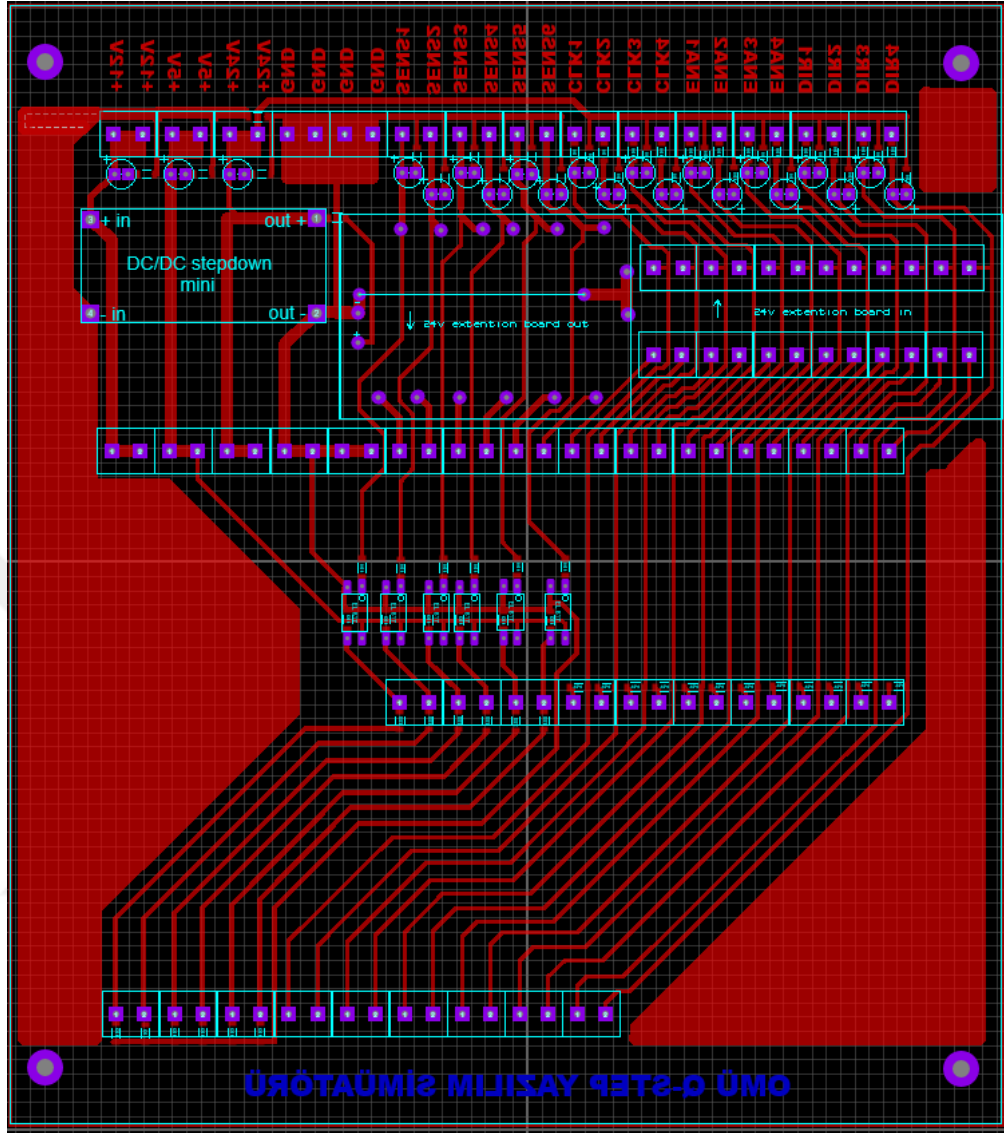


Şekil 2.15. PNP girişi NPN girişe dönüştüren kart için eklenti kartı

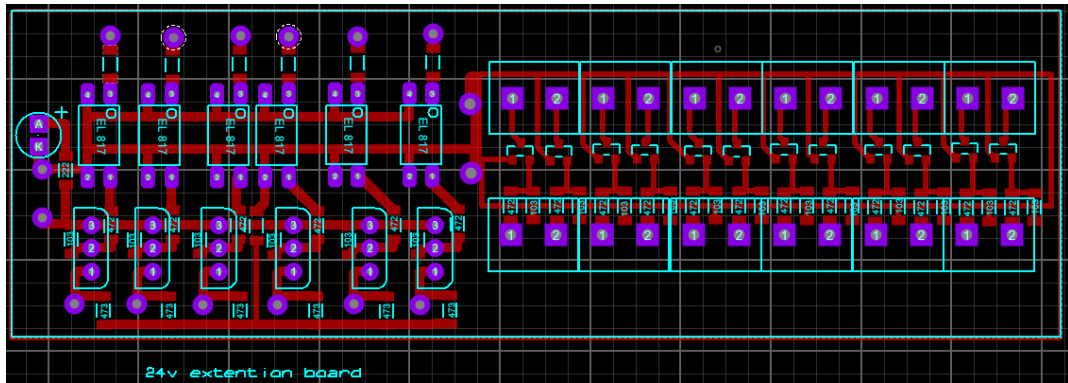
İlk prototip ve prototipe eklenen ek kartlardan sonra STM32F mikrodnetleyicisi için mikrodnetleyiciye 3.3V'lük sensör girişi sağlamak ve 3.3V'lük çıkışın motor sürücüyü sürebilmesi için mikrodnetleyici çıkışının yükseltilmesi için ekstra bir karta ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle 24V, 5V ve 3.3V'lük giriş ve çıkışlarla sistemin kontrolünün sağlanabilmesi için nihai prototip olan Şekil 2.16'daki elektronik kart tasarlanmıştır. Şekil 2.17'de ise Şekil 2.16'daki elektronik kartın eklenti kartı gösterilmiştir. Şekil 2.16'daki kartın baskı devre hali Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Şekil 2.17'deki kartın baskı devre hali Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Sistemi dahili olarak kontrol etmek için tasarlanmış olan çok amaçlı mikrodnetleyiciyi kartının PCB çizimi Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

Bu çok amaçlı mikrodnetleyici kart, dahili olarak sınır anahtarlarıyla sistemi durdurmaya ve durdurulan sistemin başlaması için ne yapılmasının gerektiğini sesli olarak (hoparlörlerden) ve yazılı olarak (LCD ekran üzerinden) bildirmeyi sağlamaktadır. Ayrıca üzerinde bulunan yön butonları sayesinde sistemin elle(manuel) kontrolünü sağlamaktadır. Bu sayede sistem için harici kontrol çalışmaları yapılırken kullanıcıya yardım etmektedir. Bunların yanı sıra sisteme ilk enerji verildiğinde sorun oluşmaması için sistemin başlangıç (referans (homing)) konumuna hizalanmasını

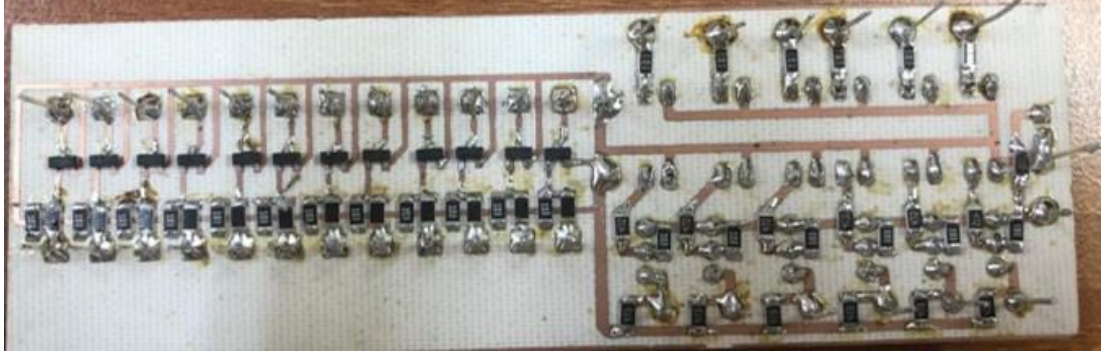
sağlamaktadır.



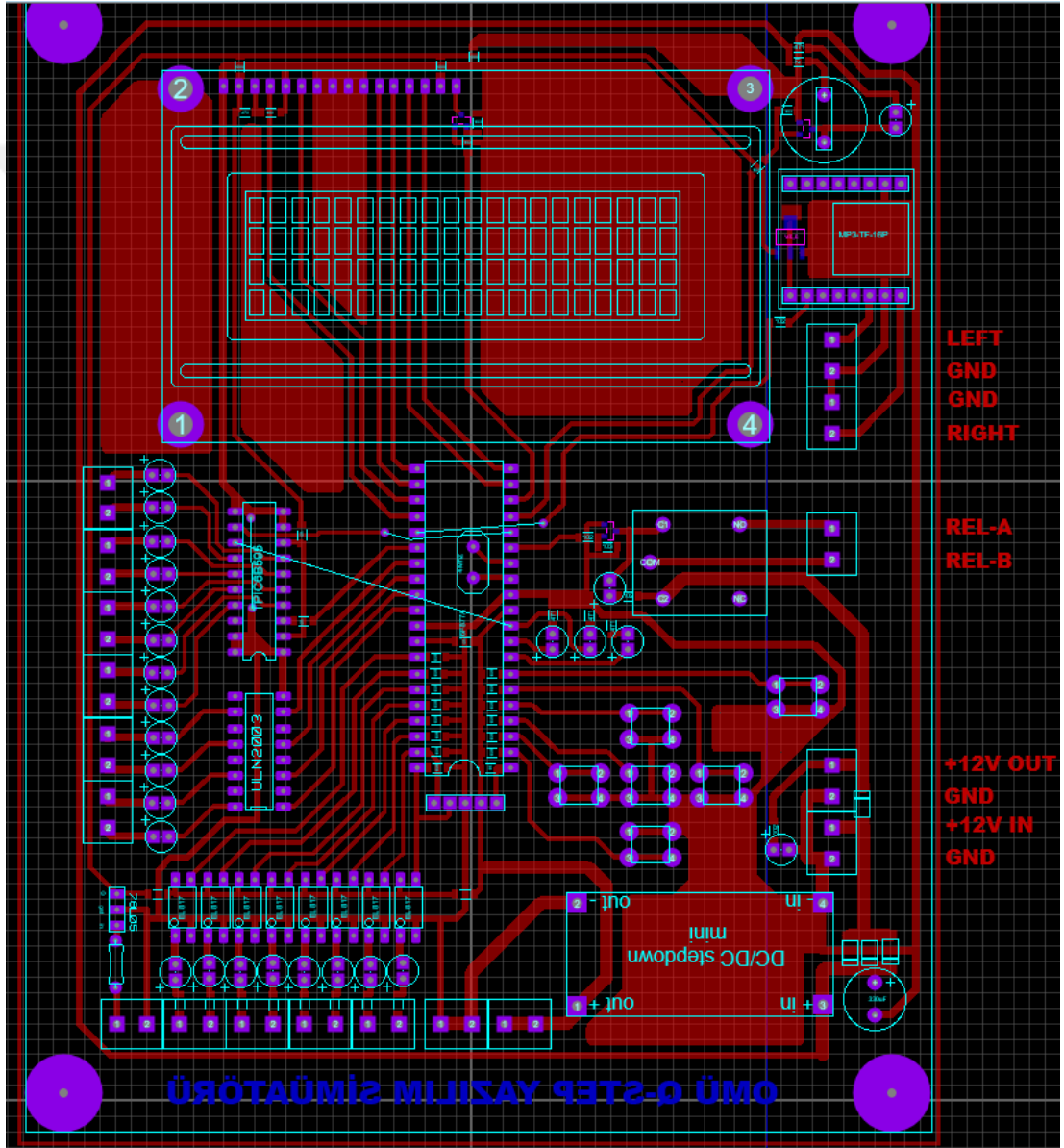
Şekil 2.16. Harici bağlantı için nihai prototip



Şekil 2.17. Harici bağlantı için nihai prototip eklenti kartı



Şekil 2.19. Harici bağlantı için nihai prototip eklenti baskı devre



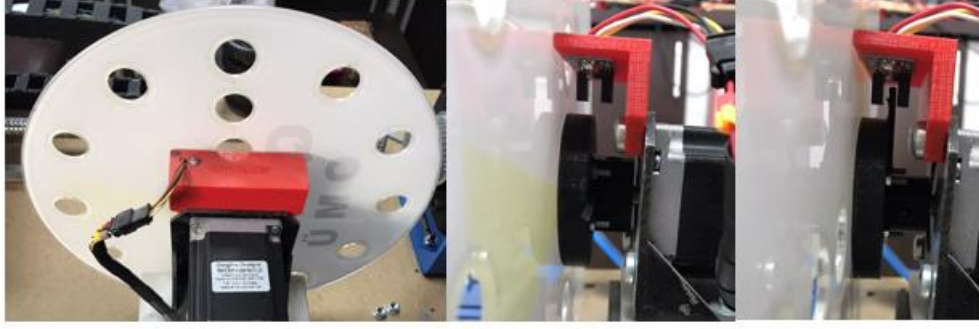
Şekil 2.20. Çok amaçlı mikrodeneleyici kartı

2.2.6. Kablolama ve Mekanik Aksam

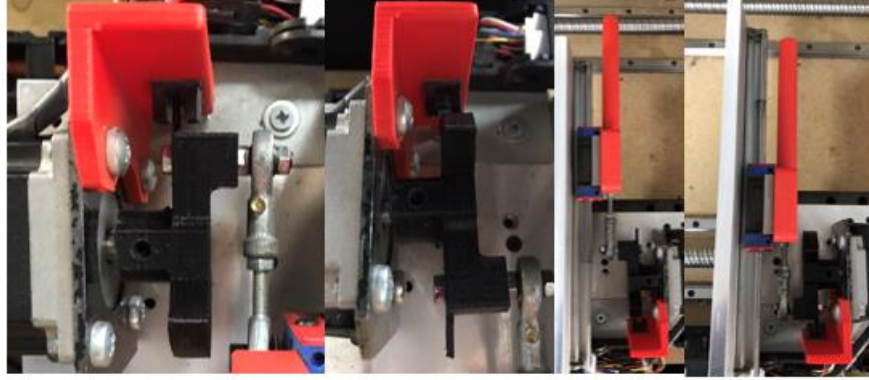
Disk, eyleyici, sensör kalıpları ve tabla üç boyutlu yazıcı kullanılarak imal edilmişlerdir. Üç boyutlu yazıcıda basılan ürünlerde plastik malzeme kullanılmıştır. Şekil 2.21’de üç boyutlu imalat çizimleri görülmektedir. Şekil 2.22’de üç boyutlu çizimlerin baskıları verilmiştir.



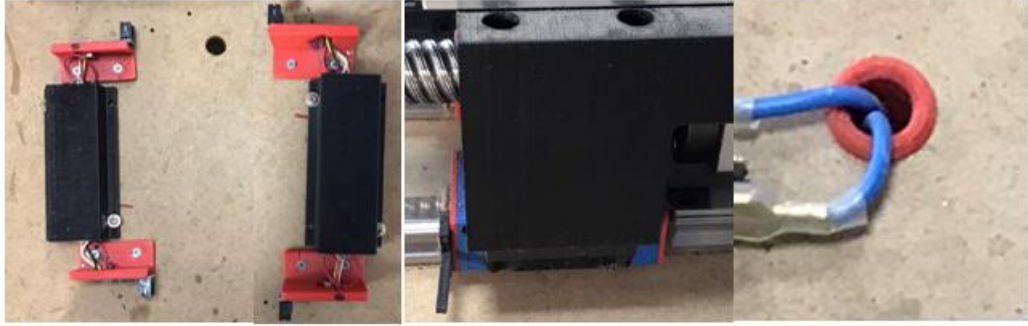
Şekil 2.21. Eğitim seti üç boyutlu imalat çizimleri



a)Disk 3D baskı parçaları



b)Eyleyici 3D baskı parçaları



c)Taban sensör 3D baskı parçaları

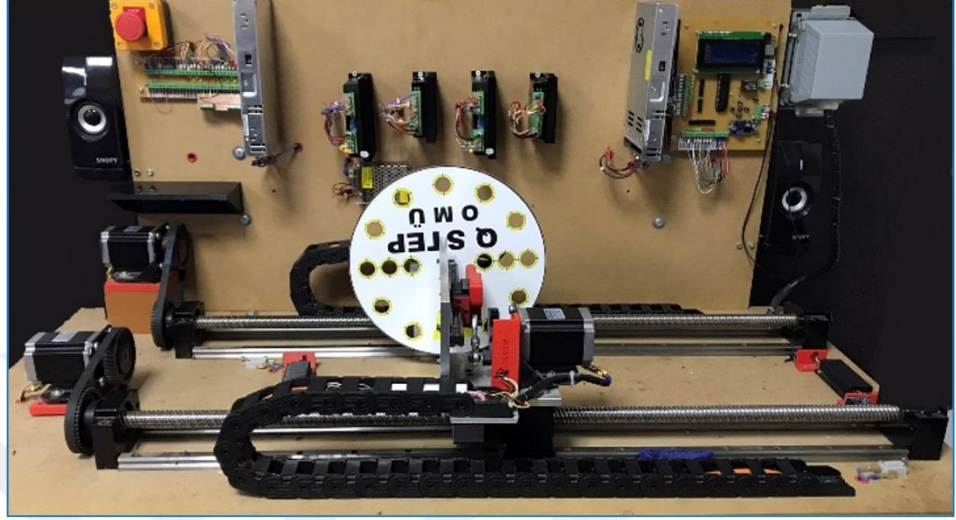
d)Taban tabla 3D baskısı

e)Rekor 3D baskısı

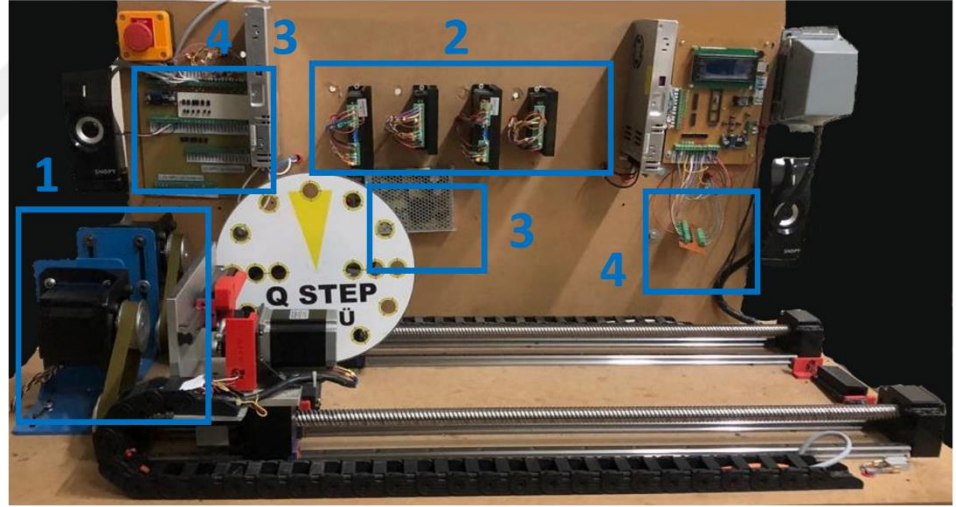
Şekil 2.22. Eğitim seti üç boyutlu imalat çizim baskıları

Ayrıca eğitim setinin şekil 2.23.(a)'da gösterilen ilk prototipinde vidalı millerin hareketini sağlayan Nema23 adım motorları yeterli torku sağlayamadığından dolayı şekil 2.23.(b)'de (1) ile numaralandırılmış Nema34 motorları ile değiştirilmiştir. Buna bağlı olarak (2)'deki iki adet microstep sürücüsü CWD556 sürücülerini ile değiştirilmiştir. Adım motorların değişimi nedeniyle mekanik olarak da bazı değişikliklerin yapılması gerektirmiştir. İlk olarak Nema34 motorları flanşlarla set tabanına sabitlenmiştir. Diğer bir mekanik düzeltme ise önceden kullanılan kayış kasnak yapısı mekaniksel kaçmalara sebep olduğundan yeni kayış kasnaklarla değişimi sağlanmıştır. Nema 34 motorlarının yükseklik, dolayısı ile kayışların gergi ayarını yapan L şeklinde flanşların teknik çizimleri yapılmış, lazerde 5mm saç

kullanılarak kestirilmiş, daha sonra bükülmüş ve boyatılmıştır. Ek 1’de flanşların teknik çizimi verilmiştir. Bunların yanı sıra (3) numaralı güç kaynağı daha kaliteli olan bir güç kaynağı ile değiştirilmiştir. Ayrıca elektronik kartlardaki tasarım değişikliğinden kaynaklı olan değişimler ise (4)’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.23. (a) Eğitim seti ilk prototip, (b) nihai prototip

Yatay ekseninde hareketi sağlamak için şekil 2.24’deki vidalı mil ve vidalı uç yatakları kullanılmıştır. Vidalı millere yerleştirilen cihazların taşınması ve hareketin sağlanması için şekil 2.25’deki lineer kızak ve lineer ray ve lineer kızak ve lineer ray arabası kullanılmıştır. Sistemin yeniden kurulumunun yapılabilmesi ve bağlantılarda kopukluk gibi oluşabilecek çeşitli hataları önlemek için E-Plan üzerinden sistemin

elektriksel bağlantı şeması çıkarılmıştır. Ek 2 ve Ek 3’de E-Plan projeleri gösterilmiştir.

Elektriksel bağlantı şemasına göre sistemin bağlantıları yapılmıştır ve şemadaki numaralandırmalara göre bağlantılarda kablo numaratorü kullanılmıştır. Bu sayede kabloların bağlantılarının nereye gittiğinin kolayca takibi yapılabilmektedir.



Şekil 2.24. Lineer kızak lineer ray ve araba

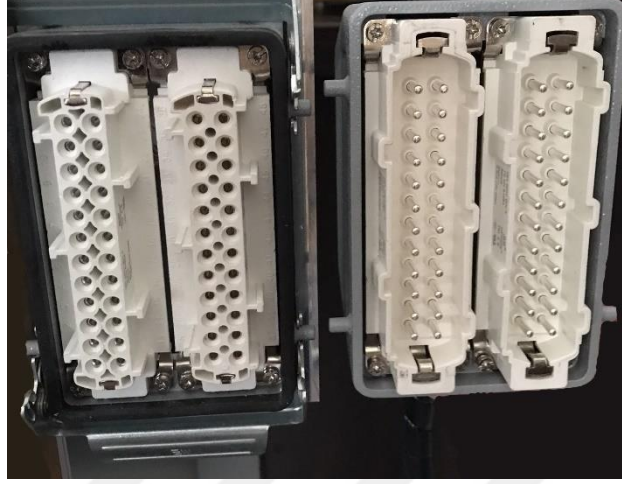


Şekil 2.25. Vidalı mil ve uç yataklar

Ayrıca sürücülerin bulunduğu üst tabaka ile vidalı milleri bulunduğu alt tabaka arasındaki bağlantının sağlanması için Şekil 2.26’daki endüstriyel fiş kullanılmıştır. Bu sayede alt tabaka ile üst tabakanın elektriksel bağlantısı sağlanmıştır. Böylece üst tabaka ile alt tabaka birbirinden ayrıлып bağımsız bir şekilde taşınabilmektedir.

Kablolama yapılırken ilk olarak blendajsız kablo kullanılmıştır fakat sensör veri çıkışı 3.3V’lük giriş gerilimine düşürülüp mikrodenetleyiciden veri okunurken bir kararsızlık olduğu görülmüştür. Sonuç olarak kararsızlığın gürültüden kaynaklı

olduğu anlaşılmıştır ve sensör çıkışları blendajlı kablo ile alınarak bu sorun ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca kablolar kablo kanallarından geçirilmiştir ve hareketli olan vidalı mildeki cihazların kabloları için Şekil 2.27'deki hareketli kablo kanalı kullanılmıştır.



Şekil 2.26. Endüstriyel fiş



Şekil 2.27. Hareketli kablo kanalı

2.2.7. Güvenlik ve İkaz

Sistemin güvenliğini sağlamak için öncelikle acil stop butonu kullanılmıştır. Şekil 2.28'de gösterilmiştir olan döndürme serbest bırak türünde bir acil stop butonu kullanılmıştır. Ayrıca sistemin çalıştığını göstermesi için ikaz lambası kullanılmıştır. Bunların yanı sıra çok amaçlı mikrodenetleyici kartı ile sınır anahtarlarının bulunduğu bölgeye aşmaması için dahili olarak bir kontrol sağlanmaktadır. Sınır anahtarına ulaşılması durumunda ise çok amaçlı mikrodenetleyici kartı ile sesli ve yazılı olarak kullanıcıya bildirim sunulmaktadır.



Şekil 2.28. Acil stop butonu

2.3. Eğitim Setinin Kullanılan Yazılımlar

Eğitim setinin tasarımı ve kullanımı için çeşitli yazılımsal araçlardan yararlanılmıştır. Şekil 2.29’da kullanılan yazılımlar gösterilmiştir. STM32F mikrodeneleyicinin programlanması için STM32 CubeIDE ve Keil uVision yazılımları kullanılmıştır. STM’le yapılan uygulama için arayüz Python kullanılarak oluşturulmuştur. Siemens PLC’nin programlanması ve arayüzü için TIA Portal yazılımı kullanılmıştır. PIC mikrodeneleyicisinin programlanması için ise MPLAB IDE kullanılmıştır. Sistemde kullanılan bazı üç boyutlu cisimlerin çizimleri için SolidWorks yazılımı kullanılmıştır. Eğitim setinin proje çizimi için (kablo bağlantıları) gösterimi için E-Plan yazılımı kullanılmıştır. Elektronik kartların tasarımı için ise Proteus yazılımı kullanılmıştır.



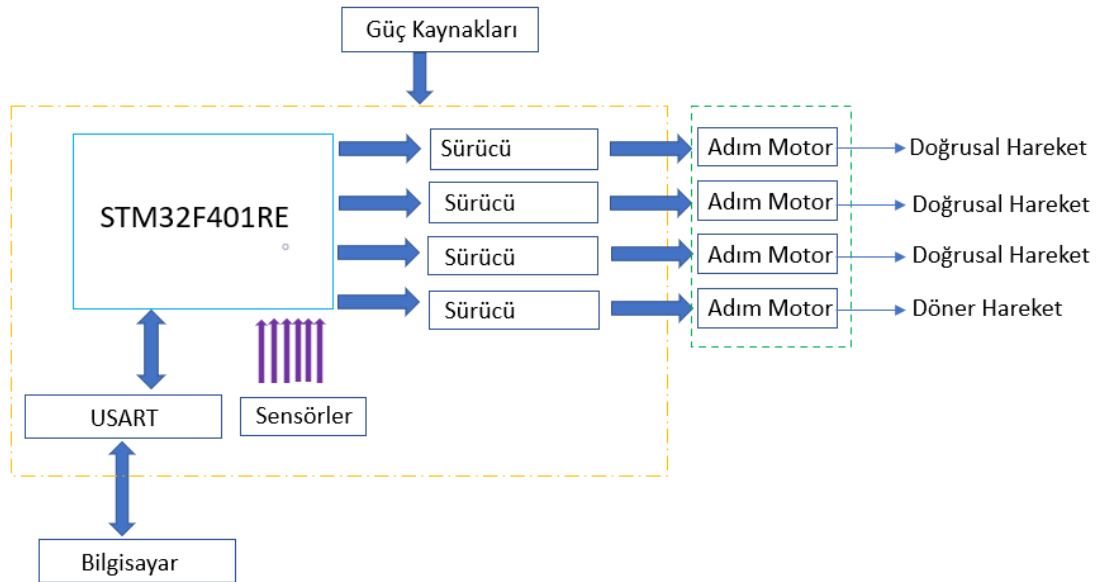
Şekil 2.29. Kullanılan yazılımlar

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Eğitim setinin STM32F401RE, PLC ve PIC ile denetlenme çalışmalarına bu bölümde değinilmiştir.

3.1. Eğitim Setinin STM32F Mikrodenetleyicisi İle Denetlenmesi

Eğitim setinin genel yapısı mikrodenetleyici, adım motorları, sürücüler, sensörler ve güç kaynaklarından oluşmaktadır. Genel yapıdaki ilişki Şekil 3.1’de görülmektedir. Sensörlerden alınan bilgiye göre sürücüler vasıtasıyla adım motorları belli hareketler (lineer,döner) oluşturarak senkron bir şekilde istenilen işlemin yapılması sağlanmaktadır.



Şekil 3.1. STM32F ile denetim için genel şema

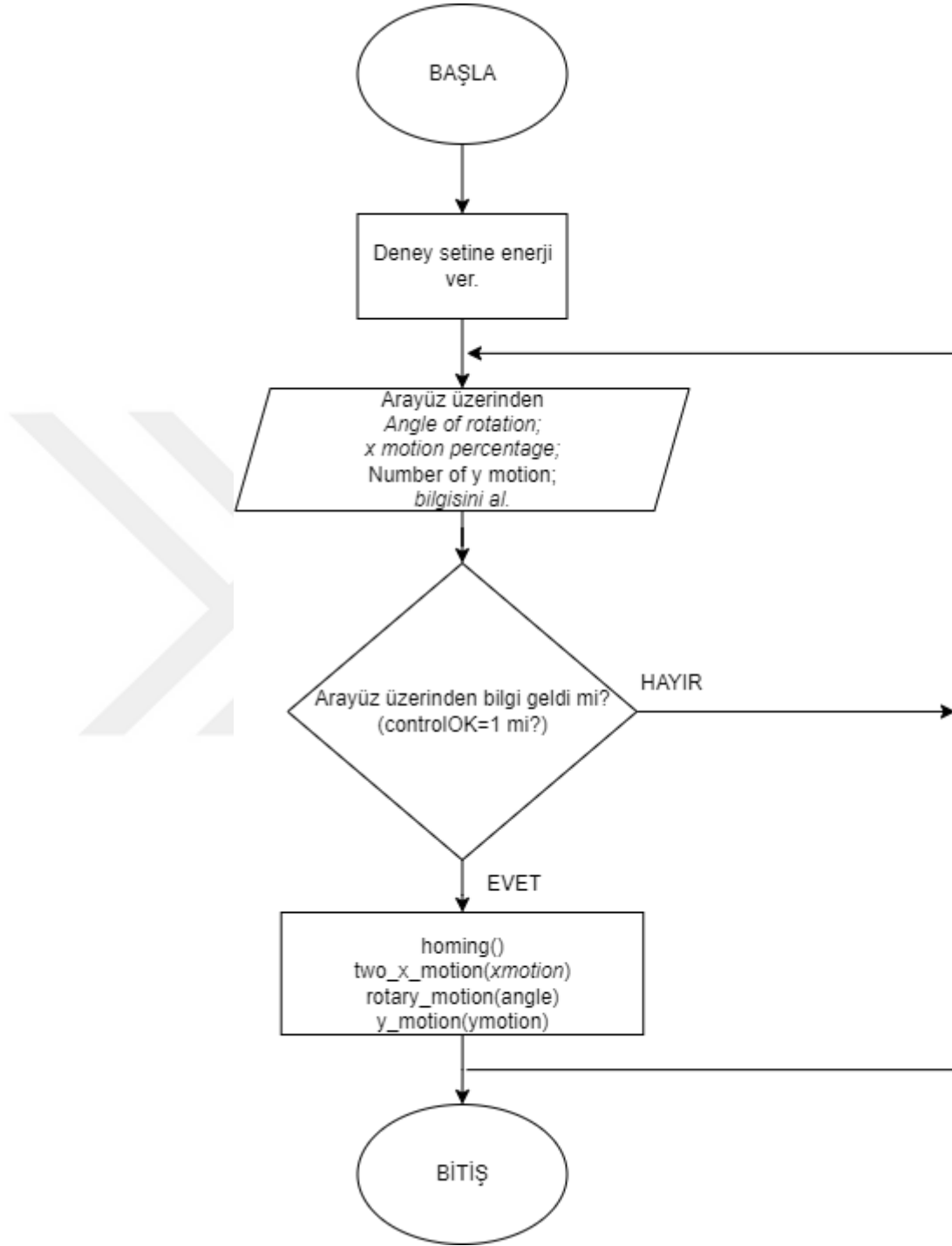
3.1.1. Algoritma

Servo kabiliyetli (pozisyon kontrollü) eğitim setiyle delme, kaynak vb. pek çok üretim süreci işlemleri için senaryo üretmek ve uygulamak mümkündür. Bu bölümde seçilen bir üretim süreci senaryosu Şekil 3.2’te verilmiştir. Senaryoda çalışma iki parçaya bölünebilir.

- Başlangıca pozisyonlama (Homing)
- Seçilen senaryonun gerçekleşmesi

Başlangıca pozisyonlama işlemi referans nokta bulma işlemi için gereklidir. Bundan dolayı ilk olarak sensörlerden alınan bilgiye göre eyleyici, disk, eyleyici vidalı

mil ve disk vidalı mil motorlarının başlangıç pozisyonlanması gerekmektedir. Seçilen senaryo ise başlangıç pozisyonlama işlemi bittiğinde devreye girmektedir.



Şekil 3.2. STM32F için algoritma

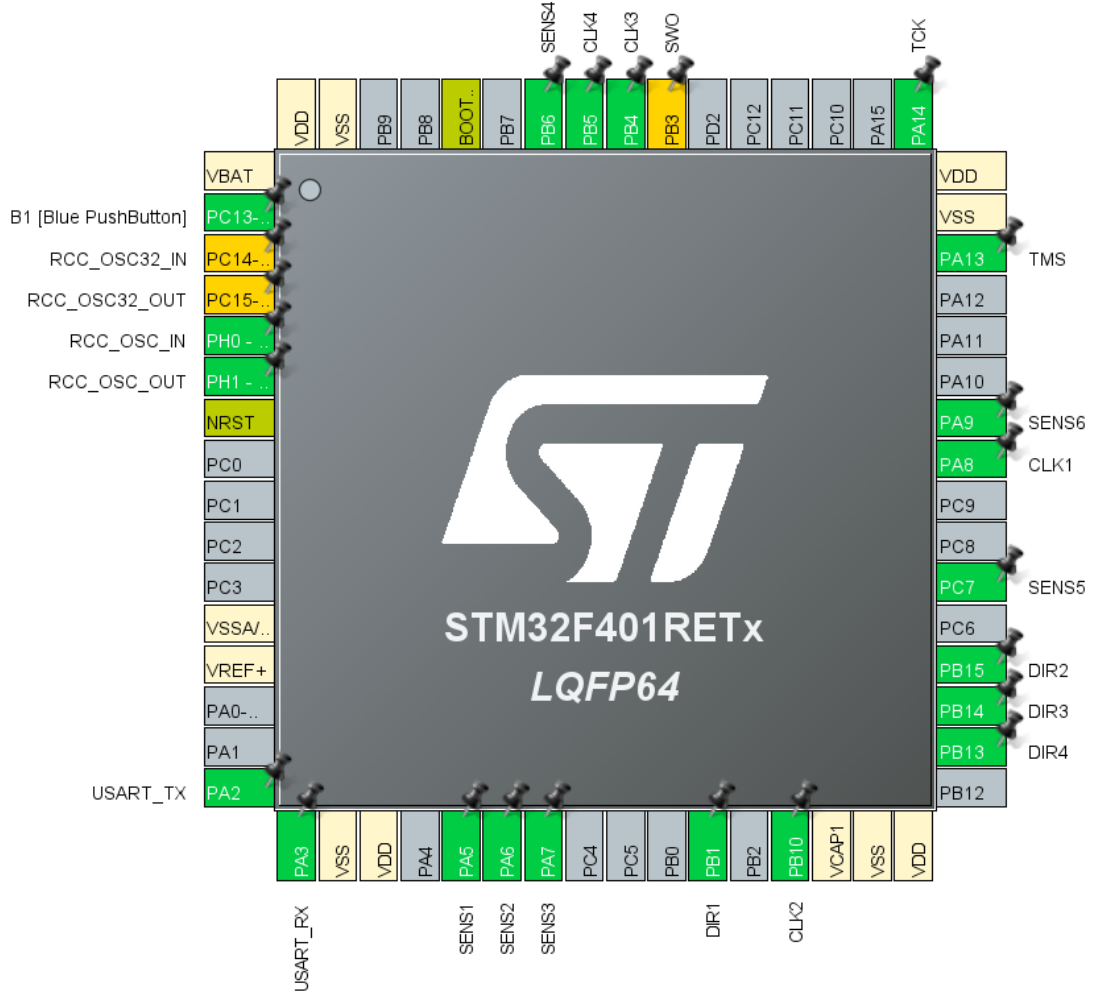
3.1.2. Kontrol Uygulaması

Eğitim setini denetlemek için STM32F401RE mikrodenetleyici kartı seçilmiştir. Bu mikrodenetleyicinin seçilmesinin en önemli nedenlerinden biri kontrol ve kumanda

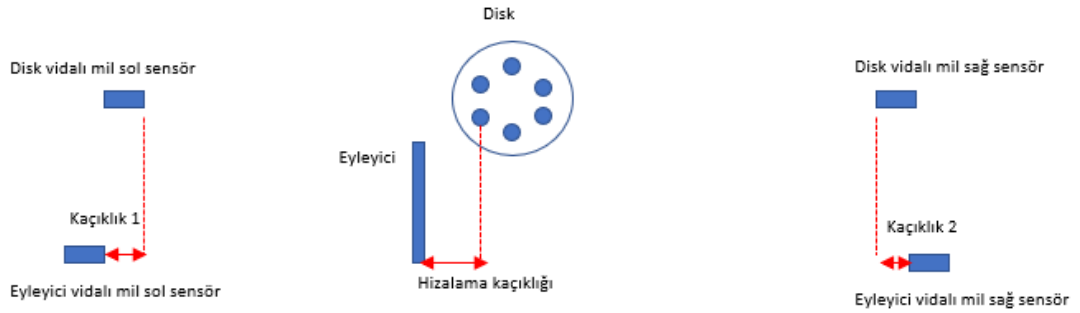
departmanında bu mikrodnetleyicinin sıklıkla kullanılmasıdır. Ayrıca istenilen hızı (84 MHz saat frekansı) sağladığından ve yeterli I/O birimi bulunduğundan tercih edilmiştir. Şekil 3.3’de mikrodnetleyicinin pinout ve konfigürasyonu görülmektedir. Görüldüğü gibi 6 adet sensör girişi ve 8 adet motor kontrol çıkışları bulunmaktadır. Motorların kontrolü için kullanılan kodlar C dilinde yazılmıştır.

Karmaşık (dört eksen) üretim süreci kontrolünü gerçekleştirme de yardımcı olan adım motorlarının denetimi PTO yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Adım motorlarının sayısal olarak verilen darbe uyarımları ile çalışmasından yararlanılarak bu kontrol sağlanmıştır. Ayrıca GPIO çıkışlarından PTO (Pulse Train Output) sinyali verebilmek için zamanlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan zamanlayıcı ile mikro saniyelik gecikme (delay) fonksiyonun oluşturulmuş ve bu oluşturulan mikro saniye gecikme motor sürücülere bağlı olan yön ve darbe (pulse) girişlerinin dolayısıyla mikrodnetleyici GPIO çıkışlarının setlenme ve resetlenme fonksiyonlarının arasına yerleştirilerek PTO sinyali üretilmiştir. Bu yapı while döngüsüne koyularak istenilen oranda darbe sinyali üretilmiştir. Böylece istenilen adım motorların pozisyonlama gerekli sinyalin verilebilmesi için bir yapı oluşturulmuştur.

Dört eksen eğitim setinin kontrolünde göz önünde bulundurulması gereken bazı detaylar mevcuttur. Kontrol edilen motorların istenilen senkronizasyonu sağlamaları için ne kadar uyarım verilmesi gerektiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için ise Şekil 3.4’ün anlaşılması lazımdır. Şekil 3.4’te görüldüğü gibi iki tip kaçıklık bulunmaktadır. Burada kaçıklık sensörlerin yerleşiminden kaynaklı ofset farkını ifade etmektedir. Hizalama kaçıklığı ise hizalamayı sağlamak için gerekli ofset miktarını temsil etmektedir. Hem birinci vidalı milin hem de ikinci vidalı milin lineer ray arabalarının göbekleri eşit olduğunda istenilen işlem noktasına denk gelememesinden kaynaklı hizalama kaçıklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iki ofset farkının toplamı tam hizalanma için gerekli olan darbe sayısını vermektedir. Bu iki ofset farkı toplamından yararlanarak tam hizalama durumu için sistemin ne kadar darbe ile uyarılması gerektiği bulunabilmektedir. Bunun haricinde dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise disk işlem noktalarına eyleyicinin hizalanma durumudur. Bunun içinse eyleyici ve işlem noktalarının hizalanması için gereken darbe uyarımının bilinmesi gerekmektedir. Bunun içinse çeşitli denemeler yapılarak bu uyarım sayısının belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.3. STM32F pinout ve konfigürasyon



Şekil 3.4. Kaçıklık ve hizalama kaçıklığı

Şekil 3.2’deki üretim süreci senaryosuna göre oluşturulmuş pseudo kod;

```
#define RxBufferSize 50
uint8_t RxBuffer[RxBufferSize];
int xmotion=0;
int angle=0;
```

```

int ymotion=0;
_Bool controlOK;
char* token;
char* token2;
char* token3;
char* token4;
int k;
uint16_t c=0; // Ofset farkı için kullanılmıştır. (Disk hizalama)
uint32_t d=8050; // Ofset farkı için kullanılmıştır. (Vidalı milleri hizalama)
uint16_t x; //Döngülerde kullanılan değişkenler
.... //Döngülerde kullanılan değişkenler
void HAL_UARTEx_RxEventCallback(...)//Haberleşme için kullanılan fonk.
void delay_us (...)// Mikro saniyelik gecikme fonksiyonu
void two_x_motion (uint16_t xm)
void homing(void)
void rotary_motion (... )
void y_motion (... ) { //PTO sinyalinin y eksenini hareket fonksiyonu
y=1600*w;
while(y>0){
    HAL_GPIO_WritePin(CLK1_GPIO_Port,CLK1_Pin,GPIO_PIN_SET);
    delay_us(500);
    HAL_GPIO_WritePin(CLK1_GPIO_Port,CLK1_Pin,GPIO_PIN_RESET);
    delay_us(500);
    y=y-1;
}
while(1){
    if(controlOK==1){ //Arayüzden veriler geldi mi kontrolü yapılıyor.
    token=strtok(...) // Veriler gönderilirken "." işaretine göre ayrılıyor.
    for (...;k<3;... ) // Üç ayrı veri olduğundan tarama yapılıyor.
    { if(k==0){
    token2=token;
    angle=atoi(...); // İlk veri olan açı verisi ayrıştırıldı.
    .... }} // Benzer şekilde ikinci ve üçüncü veriler ayrıştırılır ve döngü bitirilir.
    k=0; // Tekrar veri geldiğinde tarama yapılabilmesi için sıfırlanır.

```

```

controlOK=0; // Tekrar veri geldiğinde tarama yapılabilmesi için sıfırlanır.
homing(); //Referansa göre hizalama fonksiyonu çağrılır.
two_x_motion(xmotion); //İki x eksenini hizalama fonksiyonu çağrılır.
rotary_motion(angle); //Döner eksen fonksiyonu çağrılır.
y_motion(ymotion); //Y eksen fonksiyonu çağrılır
}

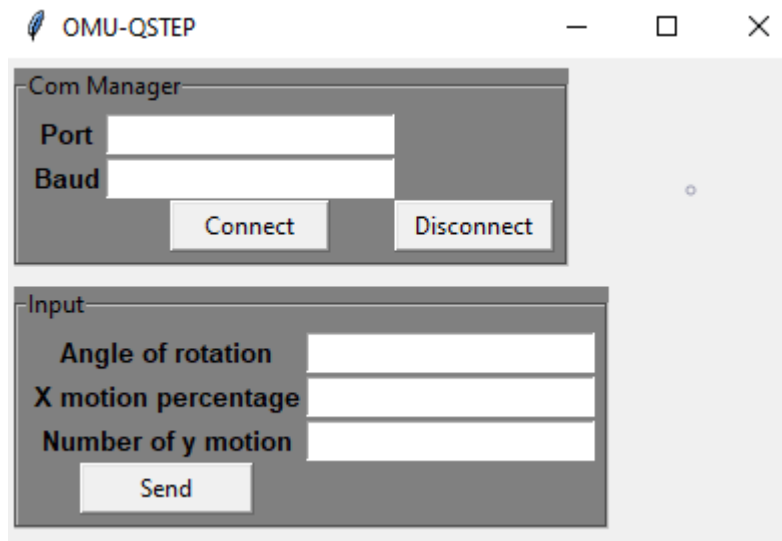
```

Pseudo koddaki *xmotion* koşulu x ekseninin (disk vidalı mil boyunun) yüzde kaçına kadar gidilmesi istendiği belirtilmelidir. Buna göre *two_x_motion* fonksiyonu iki vidalı milin istenilen yüzde de (%10, %20, %50) hizalanmasını sağlayacaktır.

Koddaki *angle* koşulu döner eksenin (diskin) hangi işlem bölgelerine eyleyici tarafından uygulama yapılacağı belirtilmelidir. Diğer bir deyişle disk ne kadar döndüğü belirtilmelidir. Buna göre *rotary_motion* fonksiyonu istenilen bölgenin (istenilen açı (90°, 180°, 270°, 360°) değerinde döndürülerek) işlenmesini sağlayacaktır. Koddaki *y_motion* fonksiyonu ise eyleyicinin işlem yapmasını sağlayan, *homing()* fonksiyonu ise referans noktasının bulunmasını sağlayan fonksiyondur.

3.1.3. STM32F İle Kontrol İçin Kullanıcı Arayüz Tasarımı

Eğitim setinin STM32F ile kontrolünün daha kolay kullanımı için basit bir arayüz açık kaynak kodlu Python dili kullanılarak yazılmıştır. Arayüzün oluşturulmasında kütüphane olarak tkinter kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 3.5’de oluşturulan arayüz gösterilmiştir.



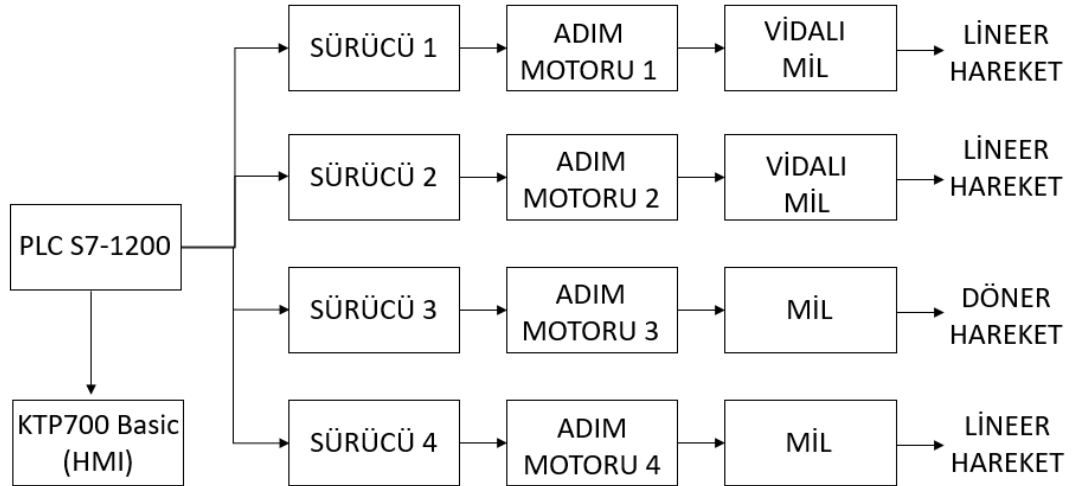
Şekil 3.5. STM32F ile kontrol için kullanıcı arayüzü

Şekil 3.5’de görülen COM Manager bloğunda STM32F ile bilgisayarın haberleştiği port ve iletişim hızı seçilmektedir. Input bloğunda ise diskin ne kadar dönmesi istendiği, vidalı millerin hangi yüzde de hizalanması istendiği ve eyleyicinin kaç kere işlem yapması istendiği bilgisi sıralı bir şekilde aralarında “.” işareti olacak şekilde mikrodnetleyiciye Send komutu ile gönderilmektedir. Böylece istenen açı ve yüzde de sistem hizalanmakta ve seçilen sayıda istenilen bölgeye işlemini yapmaktadır.

3.2. Eğitim Setinin PLC İle Denetlenmesi

Eğitim seti hem PLC hem de mikrodnetleyici ile kontrol edilebilecek şekilde yapılmıştır. Bu sayede farklı derslerde bu iki araçtan birini kullanarak öğrenciler kendi kodlarıyla sistemin kontrolünü harici olarak yapabilmektedir. Sistemde dört adet kontrol edilmesi gereken adım motoru bulunmaktadır.

Sistemin blok şeması Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Eğitim seti PLC S7 1200 serili PLC ile harici olarak kontrol edilmiştir. Programlama Siemens firmasının TIA PORTAL yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Sistemin blok şemasından görüldüğü gibi üç adet adım motoru lineer ve bir adet adım motoru döner hareketi sağlamaktadır. Ayrıca tüm motorlar PLC ile kontrol edilmektedir.

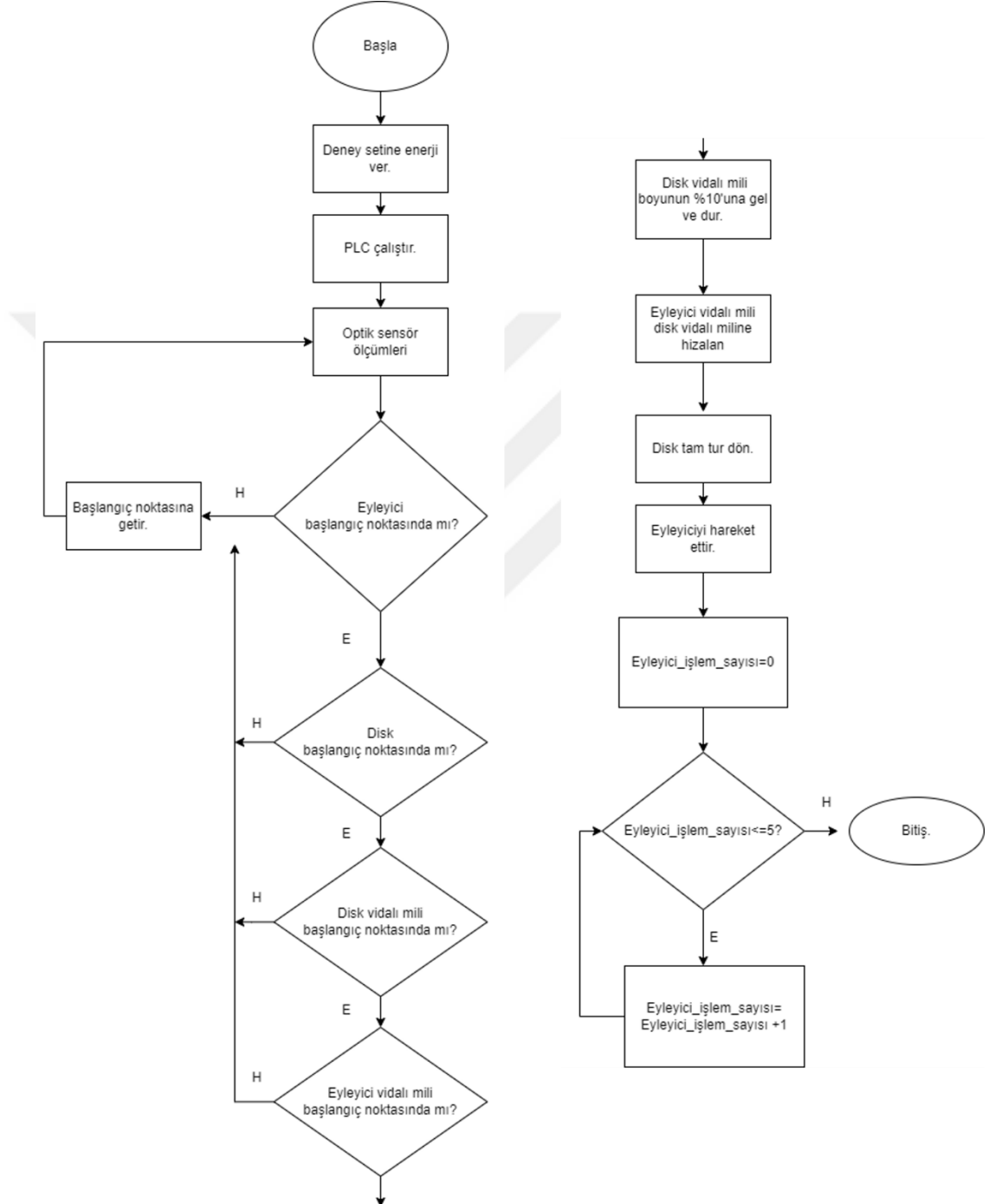


Şekil 3.6. PLC ile denetim için genel şeması

3.2.1. Algoritma

Kurulumu yapılan deney düzeneği üzerinde bulunan dört adım motoru endüstri de sıkça kullanılan PLC ile denetlenecektir. Adım motorları konum/pozisyon denetimi

ile iki farklı senaryoya göre kontrol edilecektir. İlk senaryo, dört adım motorun da teker teker ileri ve geri yönde olmak üzere farklı hızlarda çalıştırılmasıdır. İkinci senaryo ise Şekil 3.7'deki algorithmada gösterildiği gibi ilk olarak eğitim seti enerjilendirilecektir.



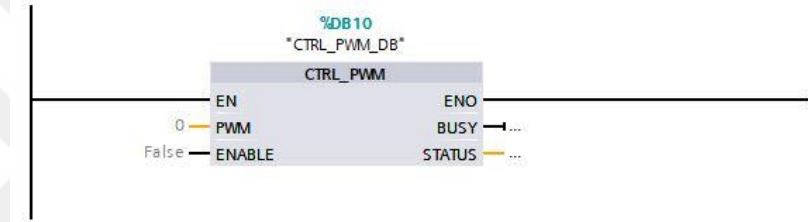
Şekil 3.7. Üretim süreci parçasını temsil eden konum/pozisyon denetim algoritması

Yapılan kontrollere göre motorlar başlangıç noktasına (eyleyici, disk, disk vidalı mil sol sensörü, eyleyici vidalı mil sol sensör lojik 1 durumuna) getirilecektir.

Başlangıç konumuna hizalanma sağlandıktan sonra, M1 motoru vidalı mili döndürerek, vidalı milin taşıdığı döner disk önceden belirlenmiş mesafeye konumlandıracaktır. M2 motoru eyleyici vidalı milini döndürerek, üzerindeki eyleyiciyi döner diskin tam karşısına hizalanmasını sağlayacaktır. Hizalanma işlemi tamamlandıktan sonra, M3 motoru diski tam tur döndürecek ve duracaktır. Son olarak M4 motoru eyleyiciye ileri geri hareketi yaptırarak, iş parçasını temsil eden geometriden 5 kez geçirerek duracak ve üretim sürecinin bir parçasını temsil eden konum denetimi sonlanacaktır.

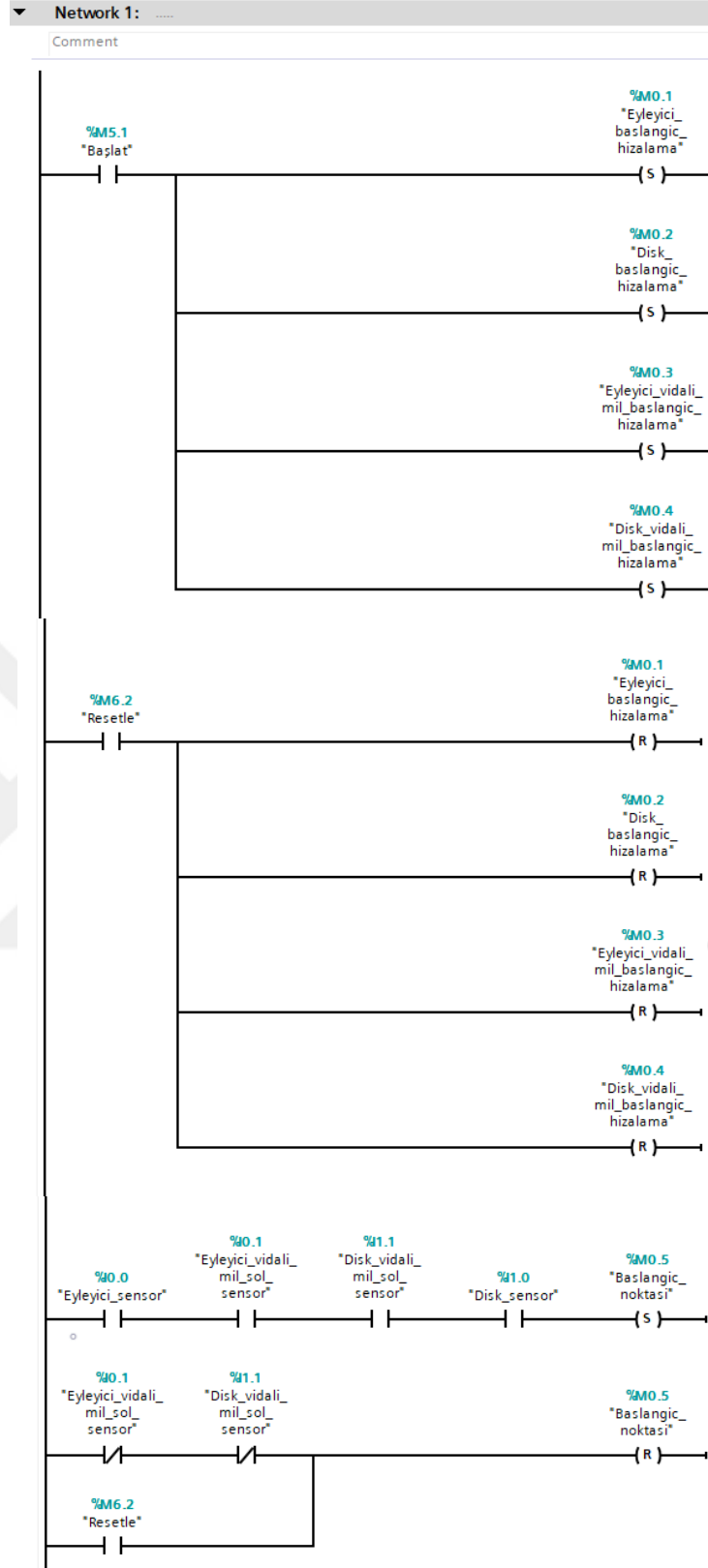
3.2.2. Kontrol Uygulaması

Sistem PLC ile kontrol edilirken TIA PORTAL’da bulunan Şekil 3.8’deki PWM (Pulse Width Modulation) bloğu kullanılmıştır.



Şekil 3.8. PWM bloğu

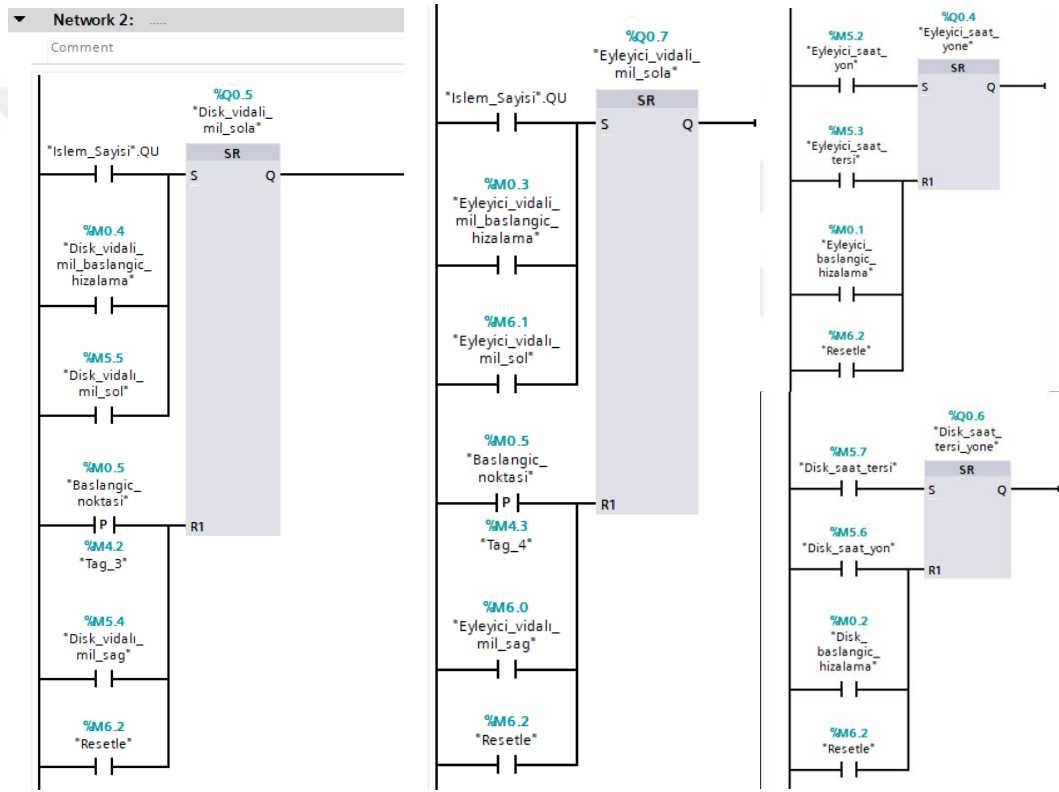
PWM bloğu aracılığıyla verilen darbeler ile sistemin konumu/pozisyonu açık çevrim olarak denetlenmiştir. Sistem genel olarak açık çevrim denetlense de sistemin başlangıçta nerede başlaması gerektiği, sistemin yazılımsal sınırları, eyleyici işlem sayısı (delme vb.) ve disk dönme sayısı gibi bilgiler optik sensörler aracılığıyla geri beslemeli olarak alınmıştır. Tasarlanan eğitim setiyle pek çok üretim süreci senaryosu öngörülüp kontrolü sağlanabilmektedir. Bu çalışmada Şekil 3.7’de gösterilen senaryo gerçekleşmiştir. Sistem PLC ile ilk kez kontrol edilmeye başladığında sistemin başlangıç konumuna getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca diske mekaniksel bir zarar verilmemesi için ilk olarak eyleyicinin başlangıç konumuna getirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.9’da bu durum için oluşturulmuş olan PLC merdiven diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.10’da ise oluşturulan senaryoya göre motor yönlerinin ne olması gerektiğine dair oluşturulmuş PLC blokları gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Başlangıç hizalama merdiven diyagramı

Belirlenen senaryoya göre ilk olarak disk vidalı mili, birinci vidalı mil boyunca ilerleyip duracaktır daha sonra eyleyici vidalı mili diske hizalanacak şekilde ikinci

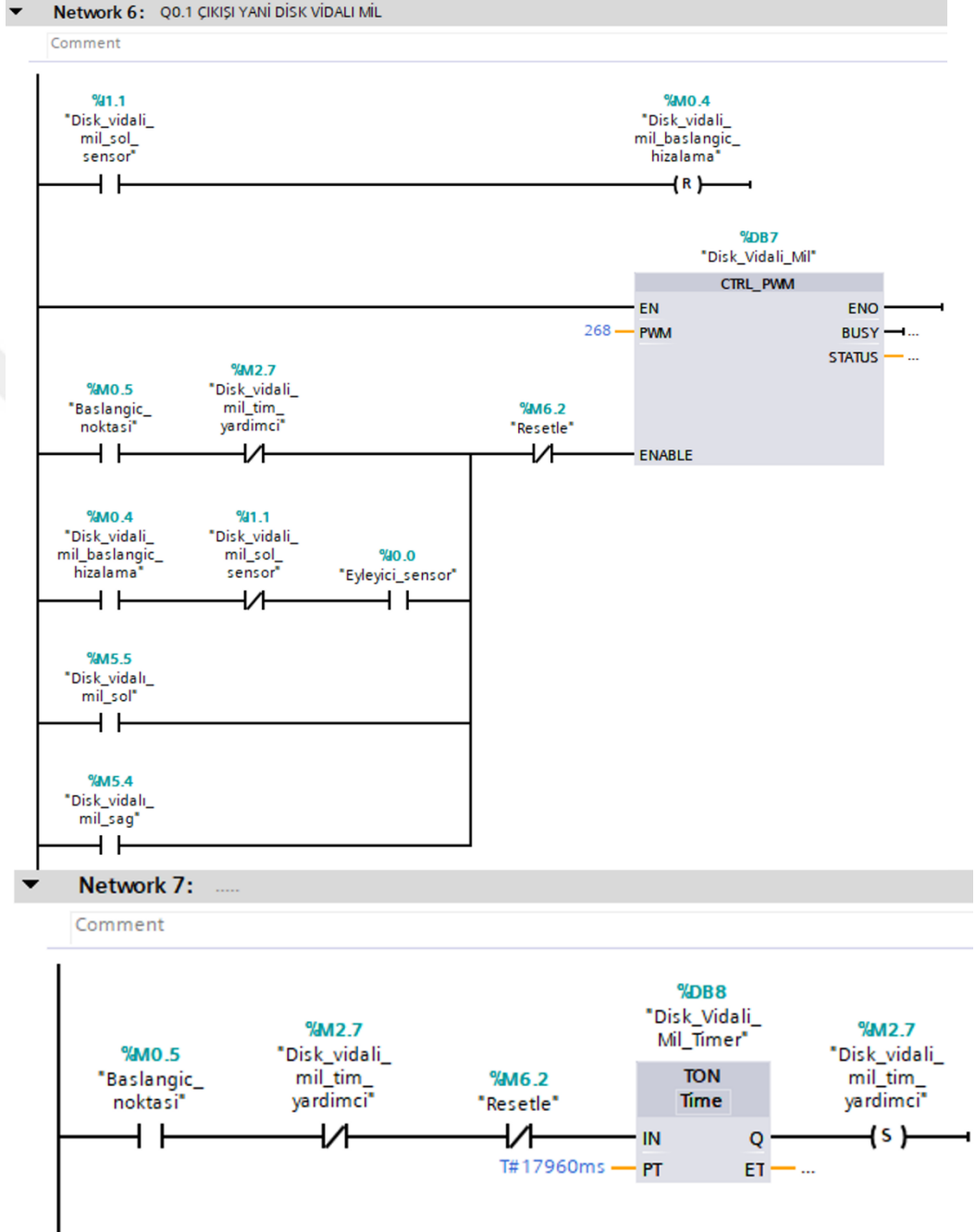
vidalı mil boyunca hareket edecek ve duracaktır. Bu hizalanma durumu için gerekli adım sayısının bilinmesi gereklidir. Bunun içinde sistemde ne kadar darbe verildiğinde hizalandığının önceden çıkarılması gereklidir. Bu nedenle çeşitli denemeler yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda disk vidalı milinin tam hizalama için eyleyici vidalı milinden N=8640 adım daha fazla darbe verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Disk vidalı mili PWM işaretinin periyodu 1.5 ms olarak belirlendiğinden bu adım sayısı, 12960 ms değerine denk gelmektedir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi Disk_Vidalı Mil_Timer ile sistemin hizalanması ve milde belirli bir mesafe ilerlemesi durumu için gerekli PWM darbelerinin verilmesi sağlanmıştır.



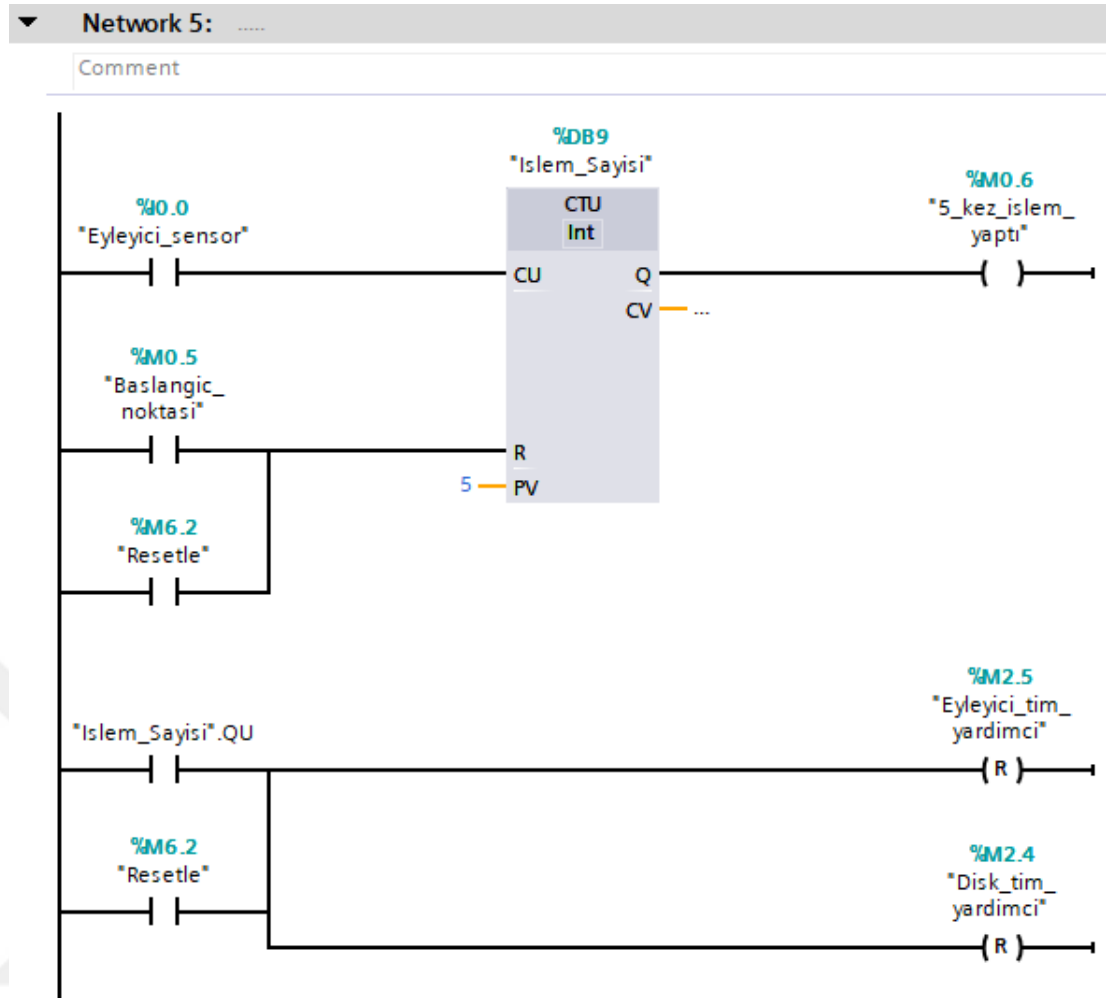
Şekil 3.10. Motor yönlerinin belirlenmesi

Disk vidalı mili hizalamasını tamamladıktan sonra eyleyici vidalı mili de benzer şekilde zamanlayıcı yardımıyla hizalanması sağlanır. Daha sonra disk motoruna tam tur dönecek şekilde PWM işareti uygulanır ve zamanlayıcı ile kontrolü sağlanır. En son olarak da eyleyici motor yardımıyla eyleyici diskin üzerindeki geometriden 5 kez geçirilir. Toplam geçiş ya da işlem sayısı eyleyici sensörü ve Şekil 3.12’deki sayıcı yardımıyla denetlenir. Ayrıca resetleme işlemi için bütün bloklardaki setlemeleri resetlemek için resetle gerekli olan kullanım durumuna göre açık kontakları ve kapalı kontakları kullanılmıştır Denetimi sağlamak için toplamda 11 network kullanılmış

olup önemli kısımlarına burada değinilmiştir. Değinilmeyen kısımlar benzer biçimde yukarıda bahsedildiği gibi gerçekleşmiştir. Kısaca Şekil 3.7'deki algoritmaya uygun olarak üretim sürecini temsil eden sistemin konum/pozisyon denetimi PLC ile bu şekilde gerçekleşmiştir.



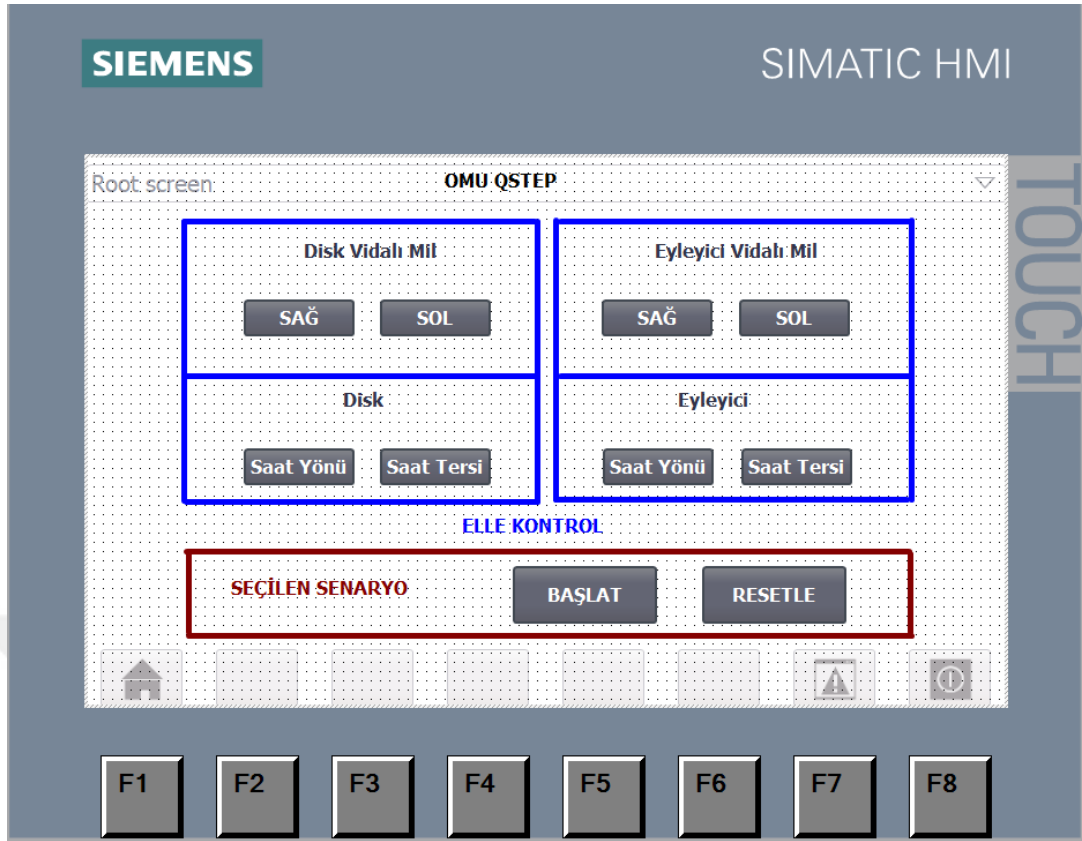
Şekil 3.11. Disk vidalı mili pozisyon ayarı için zamanlayıcı kullanımı



Şekil 3.12. Eyleyici işlem sayısı ayarı için sayıcı kullanımı

3.2.3. PLC İle Kontrol İçin Kullanıcı Arayüz Tasarımı

Eğitim setinin PLC ile kontrolünün daha kolay kullanımı için basit bir arayüz TIA Portal yazılımı ile oluşturulmuştur. Şekil 3.13’de oluşturulan arayüz gösterilmiştir. Şekil 3.13’de gösterilen arayüz iki bölüme ayrılmıştır. Bunlardan biri mavi renkli elle (manuel) kontrolün yapıldığı elle kontrol bölümü diğeri ise bordo renkli seçilen senaryo bölümüdür. Elle kontrolde eksenlerin hepsi yönüne bağlı olarak sürülmesi sağlanmaktadır. Seçilen senaryoda ise Şekil 3.7’de bulunan algoritma çalıştırılmaktadır. Eğer sistem çalışırken sistemin resetlenmesine ihtiyaç olursa resetleme butonu kullanılabilir. Tüm butonlar Properties->Events kısmındaki Press sekmesinde bulunan SetBit fonksiyonu ve Release sekmesinde bulunan ResetBit fonksiyonu seçilerek kullanılmıştır. Sadece PLC programında belirlenen yardımcı rölelerin adresleri için gerekli etiket seçimi yapılmıştır. Bu sayede merdiven diyagramı ve HMI programı birbiri ile bağlantılı hale getirilmiştir.

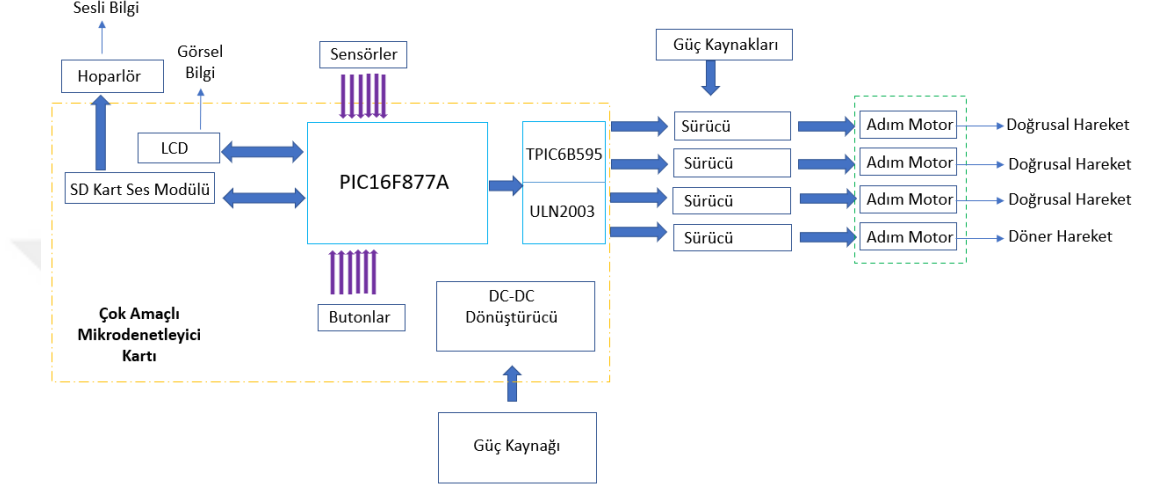


Şekil 3.13. PLC ile kontrol için kullanıcı arayüzü

3.3. Eğitim Setinde Kullanılan Çok Amaçlı Mikrodenetleyici (PIC) Kartı

Eğitim setini dahili olarak kontrol etmek için tasarlanmış olan çok amaçlı mikrodenetleyici kartı sistem ilk enerjilendirildiğinde tüm motorları referans noktasına getirecek şekilde assembly dili ile yazılmıştır. Yazılan kod ile sınır anahtarlarıyla sistemi durdurmayı ve durdurulan sistemin başlaması için ne yapılmasının gerektiğini sesli olarak (hoparlörlerden) ve yazılı olarak (LCD ekran üzerinden) bildirmeyi sağlamaktadır. Ayrıca üzerinde bulunan sağ sol butonları (bir motoru kontrol eden), yukarı aşağı butonları (bir motoru kontrol eden), ortadaki buton ise diğer iki motorun kontrolüne geçişi sağlamaktadır. Böylelikle kontrol edilmeyen diğer iki motor sağ, sol butonlarıyla (kullanılmayan bir motoru), yukarı aşağı butonlarıyla (kullanılmayan bir motor) sistemin elle (manuel) kontrolünü sağlamaktadır. Bu sayede sistemin daha kullanıcı dostu olması sağlanmıştır. Şekil 3.14'te PIC ile sistemin denetiminin nasıl yapıldığına dair bir şema gösterilmiştir. Görüldüğü gibi butonlardan ve sensörlerden gelen bilgiye göre motorlar TPIC6B595 kaydırmalı kaydedici (shift register) ya da ULN2003 motor sürücü entegre devresi üzerinden sürülmektedir. Kaydırmalı kaydedicinin ve motor sürücü entegre devresinin

kullanılmasının amacı sistem iki yerden aynı anda kontrol edildiğinde kontrolcülere zarar gelmemesini ve bu durumda sistemin PIC üzerinden kontrol edilmesini sağlamaktır. Ayrıca TPIC6B595 kaydırmalı kaydedici PIC16F877A mikrodeneleyicisinin çıkış pin sayılarının yeterli olmamasından kaynaklı kullanılmıştır. Bu entegre sayesinde seri olarak iletilen bilgi paralel olarak motor sürücü girişlerine uygulanabilmektedir.



Şekil 3.14. PIC ile sistemin denetim için genel şema

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Eğitim seti Kontrol ve Kumanda bölümü derslerinde kullanılması için tasarlanmıştır. Bu eğitim setinde adım motorlarının kullanılmasının temel sebebi adım motorlarının servo gibi motorlara göre daha ekonomik olmasıdır. Tasarlanan eğitim setinin kontrolü PLC ve mikrodnetleyici ile yapılabilmektedir. Bu eğitim seti PLC ve ARM tabanlı işlemci olan STM32F401RE işlemcisi vasıtasıyla konum/pozisyon denetimi ile denetlenebilecek şekilde tasarlanmış ve çalıştırılmıştır.

Set tasarlanıp kurulduktan sonraki kontrol aşamasında sistemde bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. İlk karşılaşılan elektriksel sorun tercih edilen optik sensörlerin çıkışları PLC'nin algılayabileceği 24V ve mikrodnetleyicinin algılayabileceği 5V seviyesine ulaşamamıştır. Bu sebeple sensörlerin gerilim çıkışı ilk olarak optokuplör kullanılarak elektriksel olarak yalıtılmıştır. Daha sonra güç kaynağından alınan 12V DC gerilim DC-DC dönüştürücü ile 24V DC gerilim değerine yükseltilmiş ve PNP transistörün emiter ucuna verilmiştir. Bu şekilde sensörden gelen düşük gerilim çıkışı elektriksel olarak yalıtılmış bir biçimde 24V gerilim çıkışına dönüştürülmüştür. Böylelikle istenilen gerilim değerinde sensör gerilim çıkışının alınması sağlanmıştır. 5V gerilimi içinde benzer bir devre yapılmış ve 3.3V'lük gerilim çıkışları 5V'lük gerilim çıkışının düşürülmesiyle elde edilmiştir. İkinci sorun; disk sürücüsünün güç kablosu ve disk optik sensörü aynı kablo kanalından geçtiğinden dolayı istenmeyen bir gerilim indüklenmesi optik sensörde oluşmuştur. Bu sorunda optik sensörün gerilim çıkışının yükseltilmesinde kullanılan kartta bulunan transistörün emitör direnci yerine 0.7V'lük eşik gerilimine sahip bir diyot konulmuştur. Bu sayede gerilim indüklenmesinden kaynaklı anlık tepeler kaybolmuştur. Üçüncü olarak ise olarak STM ile kontrolde sensör çıkışları 3.3V gerilimine düşürüldüğünde sensörlerin kararsız çalıştığı gözlemlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda sensör kablolarının blendajsız olmasından kaynaklı sensör çıkış gerilimde istenilmeyen gürültülerden kararsız çıkış verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle sensör kabloları için blendajlı kablo kullanılmıştır. Dördüncü olarak eğitim seti hem mikrodnetleyici ile hem de PLC ile aynı anda kontrol edilmesi için NPN olarak tasarlanmıştır. S71200 serili PLC'lerin çıkışları ise PNP olarak çalışmaktadır. Bu yüzden PLC çıkışları PNP'den NPN'e dönüştürülmüştür. Beşinci olarak ise mikrodnetleyicinin çıkışı 3.3 V olduğundan ve kullanılan motor sürücülerin minimum 5 V değerini kabul etmesi nedeni ve sürücünün ortak ucuna 24V gerilimi bağlandığından dolayısıyla bu ortak uçtaki gerilimin

bağlantısının sürekli değiştirilmesiyle uğraşılması için 24V sürücü girişine giden NPN giriş devresi kullanılarak bu sorun çözülmüştür. Altıncı olarak ise ilk tasarımda kullanılan vidalı milleri hareket ettiren adım motorları için Nema23 adım motorları kullanılmıştır fakat eyleyici ve disk vidalı milleri için daha yüksek tork değerine sahip adım motorlarının gerekliliği denemelerde görülmüştür. Bu sebeple Nema23 motorları, Nema34 adım motorları ile değiştirilmiştir. Yedinci olarak Nema34 adım motorlarını sürmek içinde microstep sürücü daha fazla güç aktaran CWD556 sürücüsü ile değiştirilmiştir. Sekizinci olarak Nema34 motorları kendi flanşlarına monte edilip, kendi flanşları da özel olarak tasarlanıp imal ettirilen ve gergi ayarında kullanılan ikinci bir flanş (mavi renkli) ile Şekil 2.23.(b)'deki gibi MDF tabana sabitlenmiştir. Dokuzuncu olarak önceden kullanılan kayış kasnak yapısı mekaniksel olarak kayışın kaçma veya gezinmesine sebep olduğundan Şekil 2.23.(a) ve Şekil 2.23.(b)'de görüldüğü gibi daha geniş kayış ve kayış tahditli kasnaklarla değişimi sağlanmıştır.

Adım motorları ve sürücüleri, güç kaynakları, optik sensörler, sınır anahtarları, vidalı miller, lineer kızak arabaları, PLC, mikrodenetleyiciden oluşan ve kompleks üretim sürecini temsil eden servo kabiliyetli (konum/pozisyon denetimli) elektro-mekanik eğitim seti nihai tasarımına kavuşturulup, imal edilmiştir. Kısaca deney seti karmaşık üretim süreçlerini (pozisyonlama, delme, vidalama, kaynak vb. iş parçalarını) temsil edilecek şekilde oluşturuldu. Daha sonra öngörülen üretim süreci istekleri ve kısıtlarına göre algoritma akış şeması biçimine getirildi ve detaylandırıldı. Akış şemasına göre PLC merdiven diyagramı, C kodları yazıldı ve arayüz programları oluşturuldu, deneme çalışmaları ile oluşturulan program parça parça test edildi ve ortaya çıkan hatalar çözümlenerek düzeltildi. Bu şekilde, çok motorlu/çok eksenli eğitim setinin (üretim planlamasına uygun olarak) konum/pozisyon denetimi hem sıralı hem de eş zamanlı olarak başarı ile gerçekleştirildi. PLC ve mikrodenetleyici denetimli, adım motor servo seti ile üretim süreçlerinde konum/pozisyon denetiminin nasıl gerçekleştirileceği bilgisinin öğrencilere aktarılması bu şekilde mümkün hale gelmiştir.

Eğitim seti sayesinde öğrencilerin farklı senaryoları kendilerinin öngörüp, algoritmasını çıkarmaları, PLC ve mikrodenetleyiciyi programlamaları, denemeleri ve hataları düzeltip çalışır hale getirmeleri hedeflenmektedir. Eğitim seti ile öğrencilerin servo kabiliyetli karmaşık üretim süreçleri hakkında temel kabiliyetleri kazanacağı öngörülmektedir.

Yukarıdakilere ilave gelecek çalışması olarak; adım motorları açık çevrimle kontrol edilebilen bir motordur ancak bu motorlar yüksek torklu uygulamalarda adım kaçırabilmektedirler. Bu sebeple yüksek tork ve hızın isteneceği durumlarda geri besleme gerekmektedir. Bu nedenle vidalı milleri süren adım motorlarına enkoder eklenerek sistem gelecek çalışmada geri beslemeli hale getirilebilir. Mekaniksel iyileştirme olarak ise hali hazırda kullanımda olan vidalı milin, diş aralığı dardır, daha seyrek diş aralığı olan bir mille değişimi sağlanabilir. Bu değişim sistemin daha çevik çalışmasına yardımcı olabilir. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda adım motor seti uzaktan erişimli hale getirilerek uzaktan laboratuvar uygulamasında kullanılabilir. Eğitim seti internet üzerinden bağlantılı hale getirilip bir arayüz vasıtasıyla öğrenciler setin kontrolünü uzaktan erişimli olarak ulaşılabileceği, eğitmenlerin öğrencilerin çalışma sürelerini ve çalışma sonuçlarını gözlemleyebileceği hale getirilebilir. Böylece IoT ekosistemini de kapsayacak şekilde bir eğitim setinin oluşturulması sağlanabilir. Böylece setin takip edilebilirliği (eğitmenler açısından) sağlanmasının yanı sıra öğreticiliği öğrencilerin mühendislik yeteneklerine katkısının daha da artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Advanced Micro Systems Inc. (2022.). *Stepper motor system basics*. Erişim:6 Ocak 2023, www.stepcontrol.com
- Antipin, A., Frizen, V., Sannikov, P., ve Volhin, M. S. (2018). "Application of the drive systems through the stepper motors in the process equipment, manipulators and pushers without feedback". *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2018 - Proceedings*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIELA.2018.8447169>
- Autonics. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, *Technical description*.
- Awad, H., Moawad, S., ve Atalla, A. (2019). "Experimental comparison between microcontrollers and programmable logic controllers in sun tracking applications". *2018 20th International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2018 - Proceedings*, 58–63. <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2018.8635117>
- Balakrishnan, B., ve Woods, P. C. (2013). A comparative study on real lab and simulation lab in communication engineering from students' perspectives. *European Journal of Engineering Education*, 38(2), 159–171. <https://doi.org/10.1080/03043797.2012.755499>
- Boud, D., Dunn, J., ve Hegarty-Hazel, E. (1986). *Teaching in laboratories*. Society for Research into Higher Education. <https://books.google.com.tr/books?id=LdsPBAAACAAJ>
- Chevalier, A., Dekemele, K., Juchem, J., ve Loccufier, M. (2021). Student feedback on educational innovation in control engineering: active learning in practice. *IEEE Transactions on Education*, 64(4), 432–437. <https://doi.org/10.1109/TE.2021.3077278>
- Chu, R. H., Lu, D. D. C., ve Sathiakumar, S. (2008). Project-based lab teaching for power electronics and drives. *IEEE Transactions on Education*, 51(1), 108–113. <https://doi.org/10.1109/TE.2007.906607>
- Clara Davies. (2008). *Learning and teaching in laboratories*. Higher Education Academic Engineering Subject Centre, 1–26.
- Coller, B. D. (2008). An experiment in hands-on learning in engineering mechanics: statics. *International Journal Of Engineering Education*, 24(3), 545-557 WE-Science Citation Index Expanded (SCI).
- Condit, R., Inc., M. T., ve W. Jones, D. (2004). Stepping motors fundamentals. In *Microchip Technology* (Vol. AN907).
- De Vries, E., Wortche, H., ve IEEE. (2020). "Remote labs didactics". In *2020 IEEE Frontiers In Education Conference (FIE 2020)* (Issue IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)).
- ECP Systems. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, <http://www.ecpsystems.com/index.htm>
- FESTO.(2022.). Erişim:6 Ocak 2023, https://www.festo.com/us/en/e/technical-education/learning-systems/electric-power-technology/motor-controls-and-drives-id_32896/
- Fukumoto, H., Yamaguchi, T., Ishibashi, M., ve Furukawa, T. (2021). Developing a remote laboratory system of stepper motor for learning support. *IEEE Transactions on Education*, 64(3), 292–298. <https://doi.org/10.1109/TE.2020.3042595>
- Gunasekaran, M., ve Potluri, R. (2012). Low-cost undergraduate control systems experiments using microcontroller-based control of a dc motor. *IEEE Transactions on Education*, 55(4), 508–516. <https://doi.org/10.1109/te.2012.2192441>
- Hughes, F., ve Hughes, M. S. (1963). *A handbook for teaching and learning in schools*.

Enhancing Academic Practice Third edition.

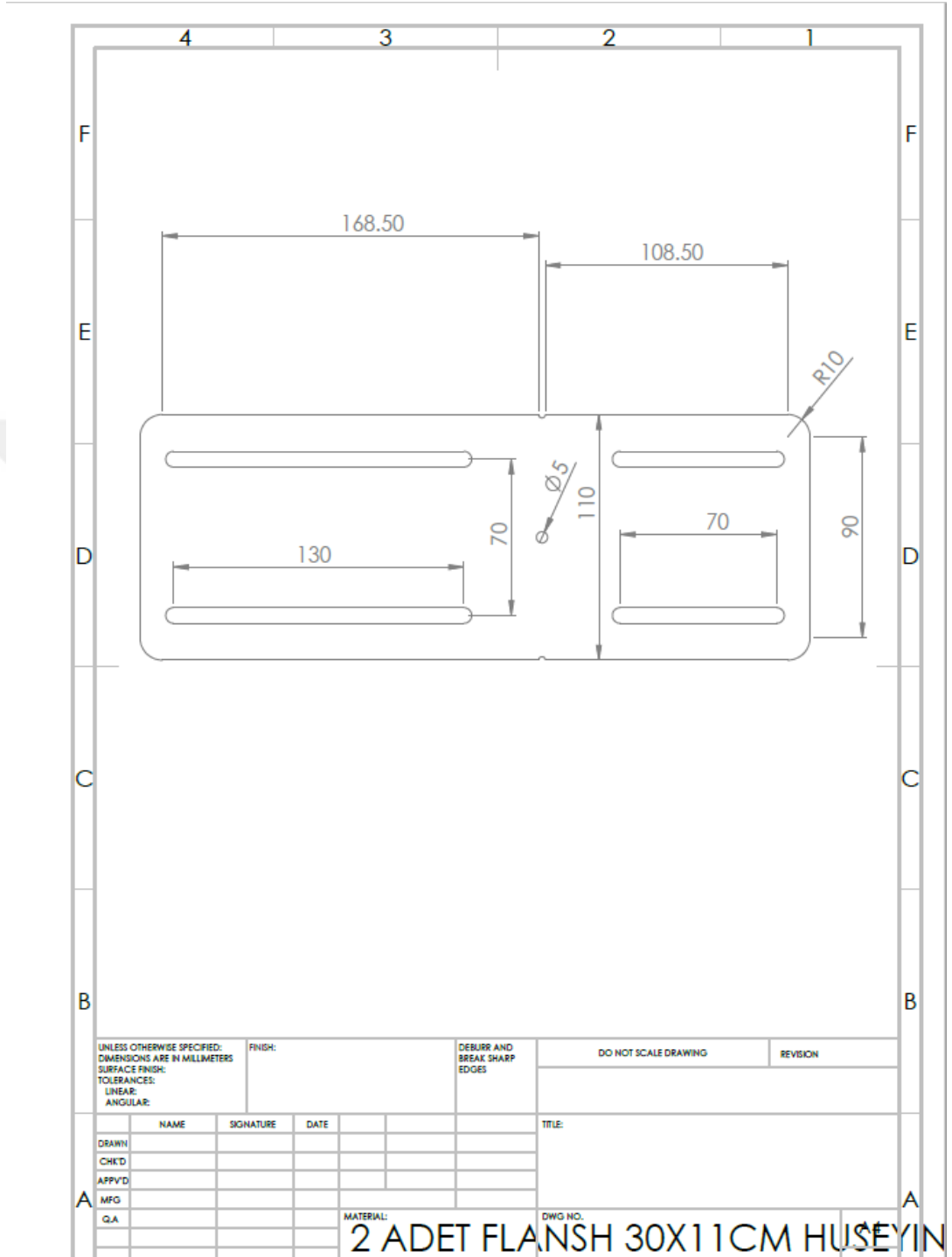
- INTECO. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, <https://www.inteco.com.pl/products/modular-servo/>
- Irmak, E., Colak, I., Kabalci, E., ve Kose, A. (2012). "Implementation of an interactive remote laboratory platform for stepper motor experiments". *15th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, EPE-PEMC 2012 ECCE Europe*, DS3e.5-1-DS3e.5-5. <https://doi.org/10.1109/EPEPEMC.2012.6397359>
- Josef Cernohorsky, A. R. (2015). "Remote measurement in electrical engineering laboratories". *2015 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*, 21–23.
- Kenjo, T. (1984). *Stepping motors and their microprocessor controls*. Oxford Science Publications.
- KentRidge Instrument. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, <http://www.kri.com.sg/>
- Larson, N. G. (1979). *Stepping motor control system*.
- Mazo, M., Ureña, J., Rodríguez, F. J., García, J. J., Lázaro, J. L., Santiso, E., Espinosa, F., García, R., Revenga, P., García, J. C., Bueno, E., ve Mateos, R. (1998). Teaching equipment for training in the control of DC, brushless, and stepper servomotors. *IEEE Transactions on Education*, 41(2), 146–158. <https://doi.org/10.1109/13.669725>
- Moallem, M. (2004). A laboratory testbed for embedded computer control. *IEEE Transactions on Education*, 47(3), 340–347. <https://doi.org/10.1109/TE.2004.825054>
- Oravec, J., Kalúz, M., Bakárač, P., ve Bakošová, M. (2016). "Improvements of educational process of automation and optimization using 2D plotter". *IFAC-PapersOnLine*, 49(6), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.146>
- Orientalmotor. (2022.). *Unipolar / bipolar connections for 2-phase stepper motors*. Erişim:6 Ocak 2023, <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/unipolar-bipolar-connections.html>
- Pan, T. T., Fan, P. L., Chiang, H. K., Chang, R. S., ve Jiang, J. A. (2004). Mechatronic experiments course design: A myoelectric controlled partial-hand prosthesis project. *IEEE Transactions on Education*, 47(3), 348–355. <https://doi.org/10.1109/TE.2004.825528>
- Peng, T., Qian, J., Zi, B., Liu, J., ve Wang, X. (2016). "Mechanical design and control system of an omni-directional mobile robot for material conveying". *Procedia CIRP*, 56, 412–415. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.068>
- Petroni, A., Bigliardi, B., Dormio I, A., Filippelli, S., ve Galati, F. (2019). "Virtual Labs in Education"., *12th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2019)* (pp. 7277–7281).
- Quanser. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, https://www.quanser.com/products_category/rotary-motion-platform//
- Rata, M., ve Rata, G. (2015). "Application with a XY-plotter controlled by PLC used in student laboratory works". *The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, 117–120.
- Srivastava, S., Sukumar, V., Bhasin, P. S., ve Kumar, D. A. (2011). A laboratory testbed for embedded fuzzy control. *IEEE Transactions on Education*, 54(1), 14–23. <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2041004>
- Tsai, M. C., Chou, C. C., ve Hsieh, M. F. (1997). Development of a real-time servo control test bench. *IEEE Transactions on Education*, 40(4), 242–252. <https://doi.org/10.1109/13.650836>

- Ulus Otomasyon. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, <http://www.ulusotomasyon.com/egitim-setleri-deney-setleri>
- Wang, S., Zhang, F., Tang, Q., Zhang, X., ve Zhao, R. (2022). A take-home motor control teaching experiment platform for control engineering-related courses. *IEEE Transactions on Education*, 65(2), 115–123. <https://doi.org/10.1109/TE.2021.3094981>
- Yedamale, P., Chattopadhyay, S., ve Inc, M. T. (2002). Stepper Motor Microstepping with PIC18C452. In *MICROCHIP AN822*. <https://doi.org/DS00822A>
- Yıldırım Elektronik. (2022.). Erişim:6 Ocak 2023, <https://www.yildirimelektronik.com/urunler/1/teknik-egitim-setleri?m=kat>

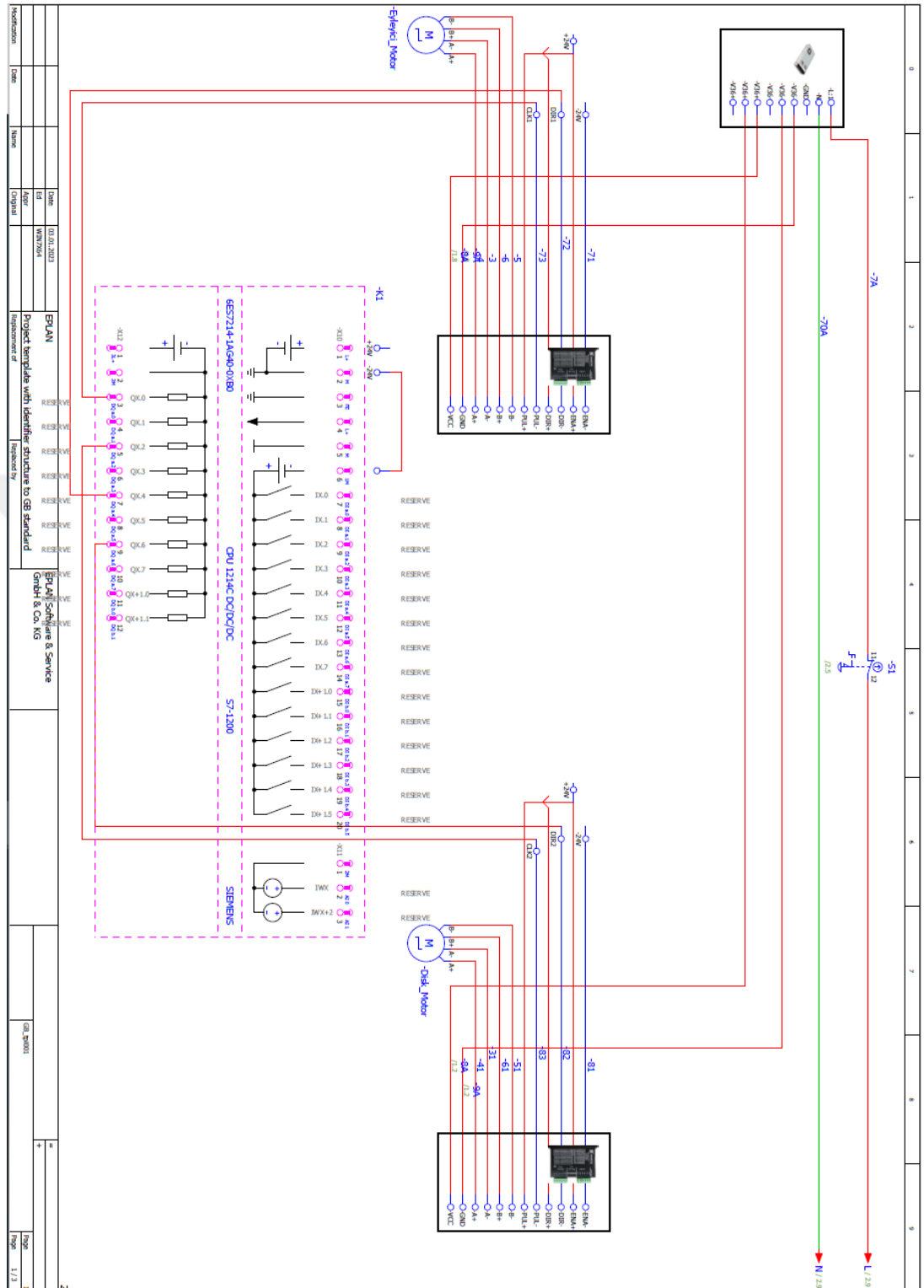


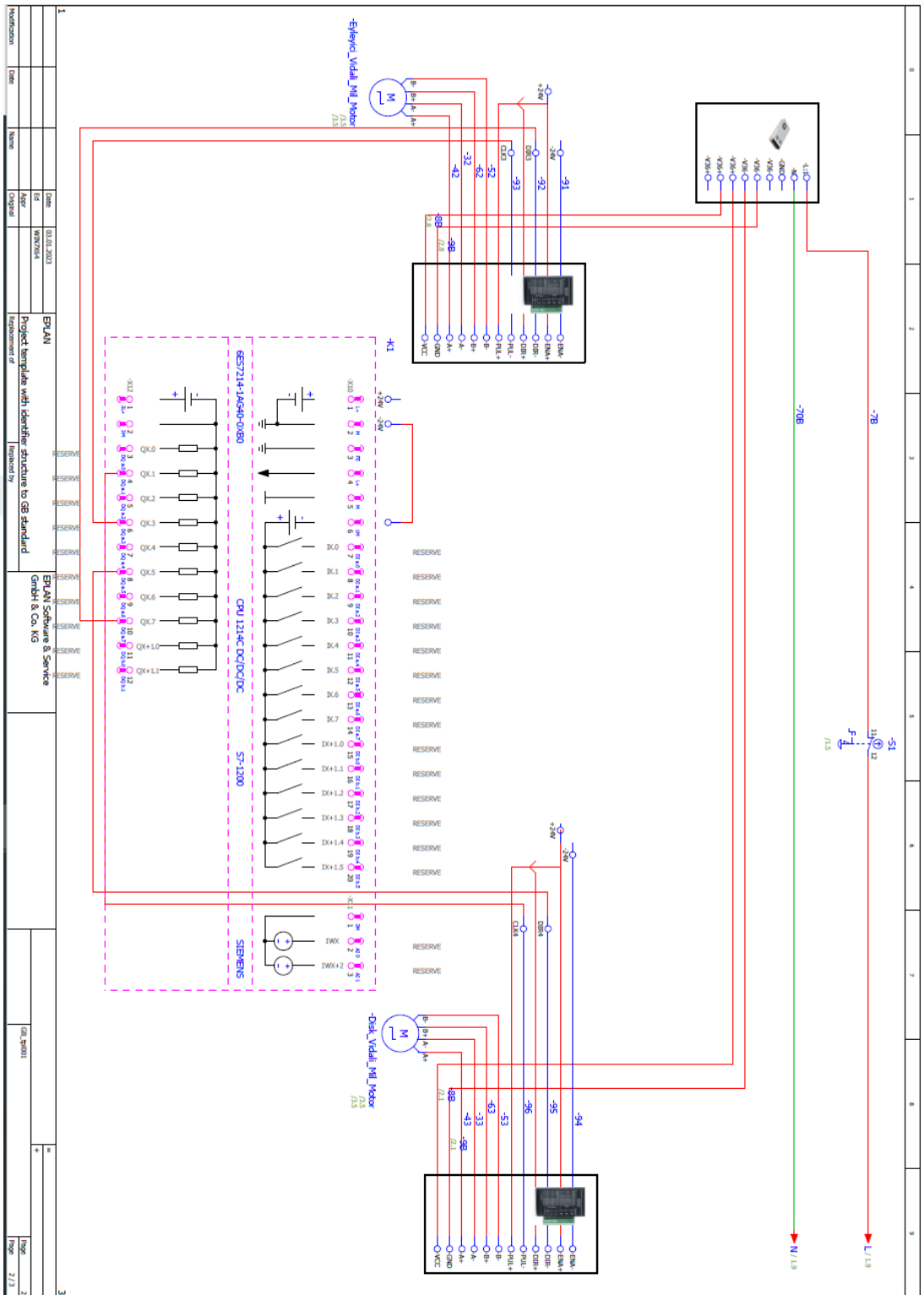
EKLER

Ek 1. Flanşların Teknik Çizimi



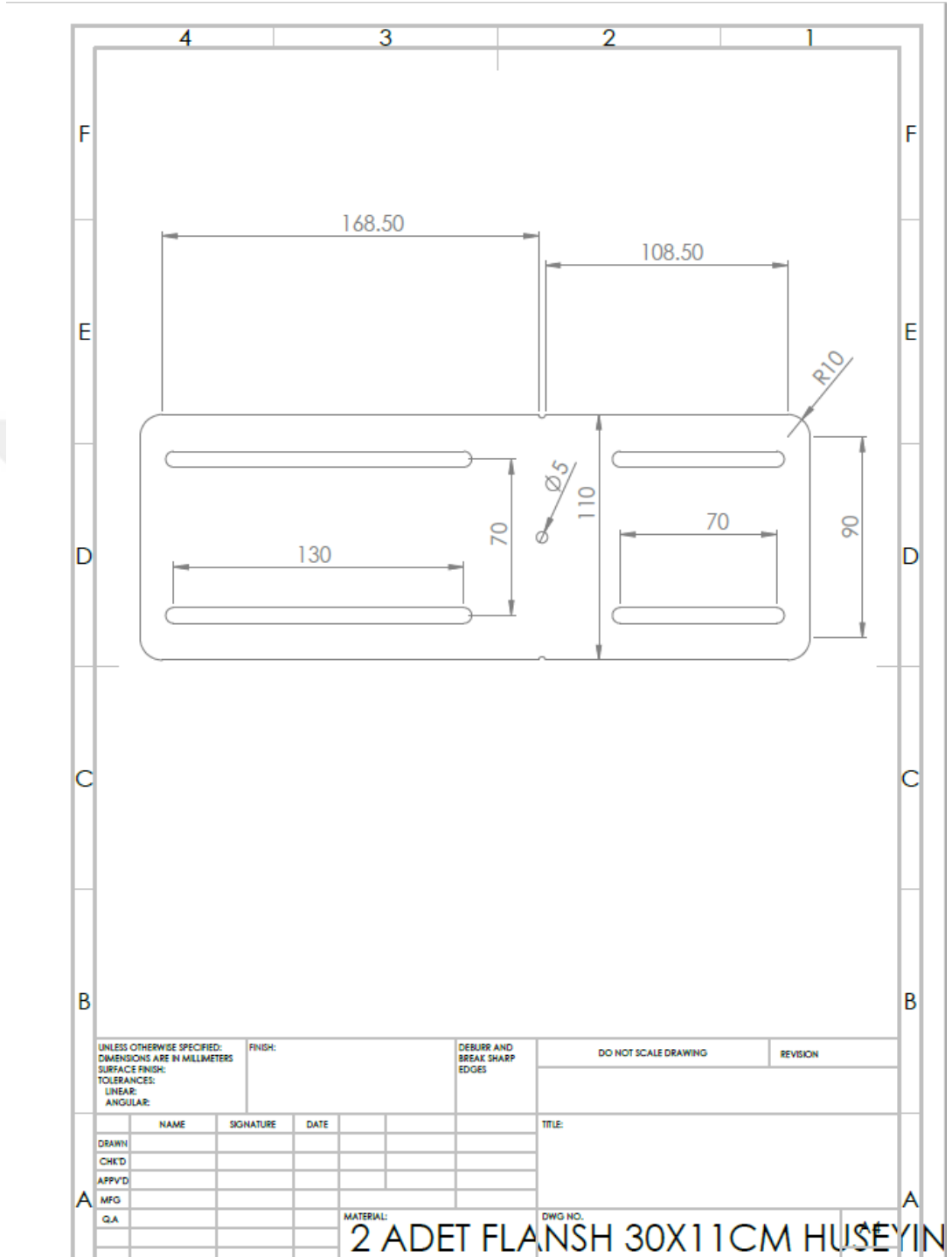
Ek 2. PLC E-Plan Projesi



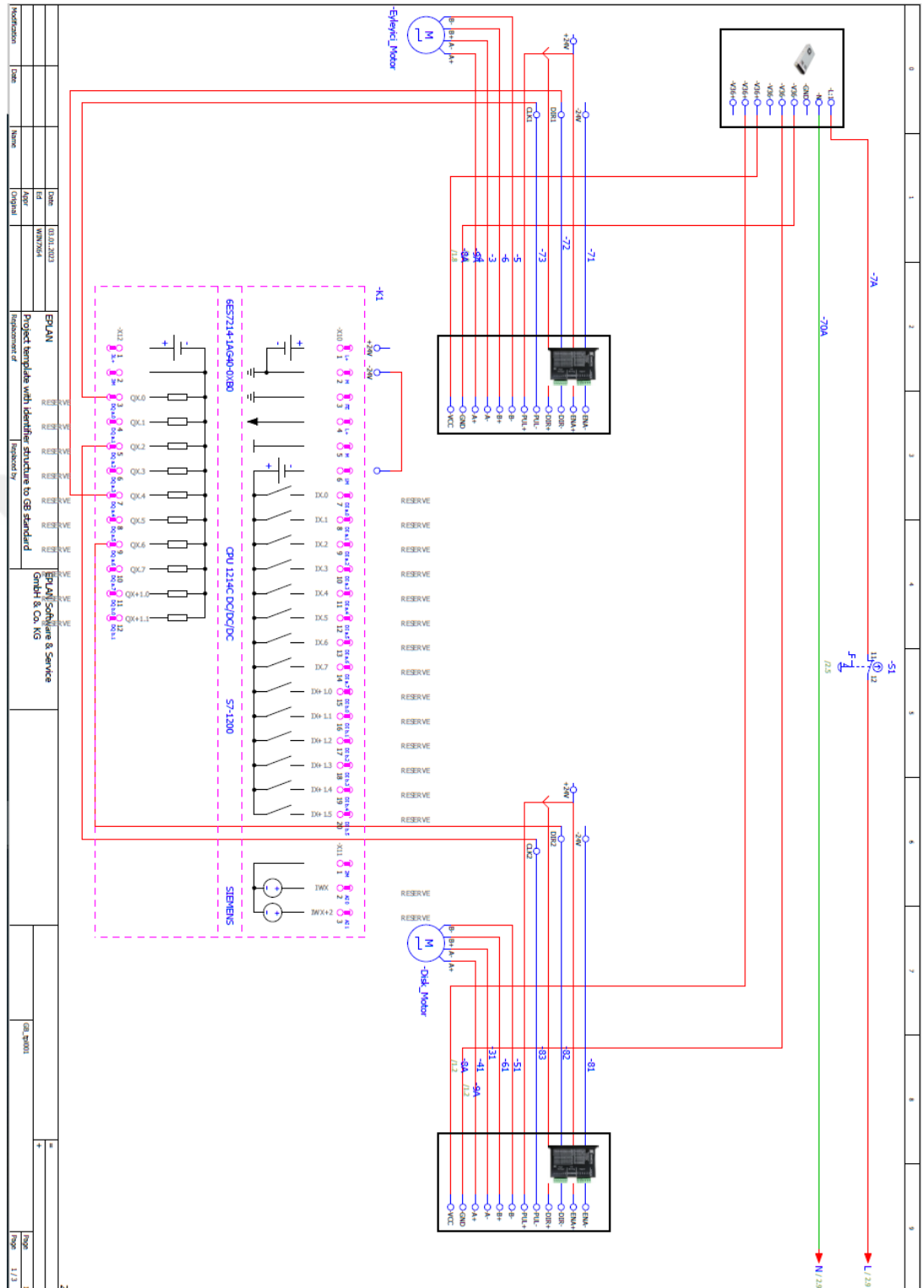


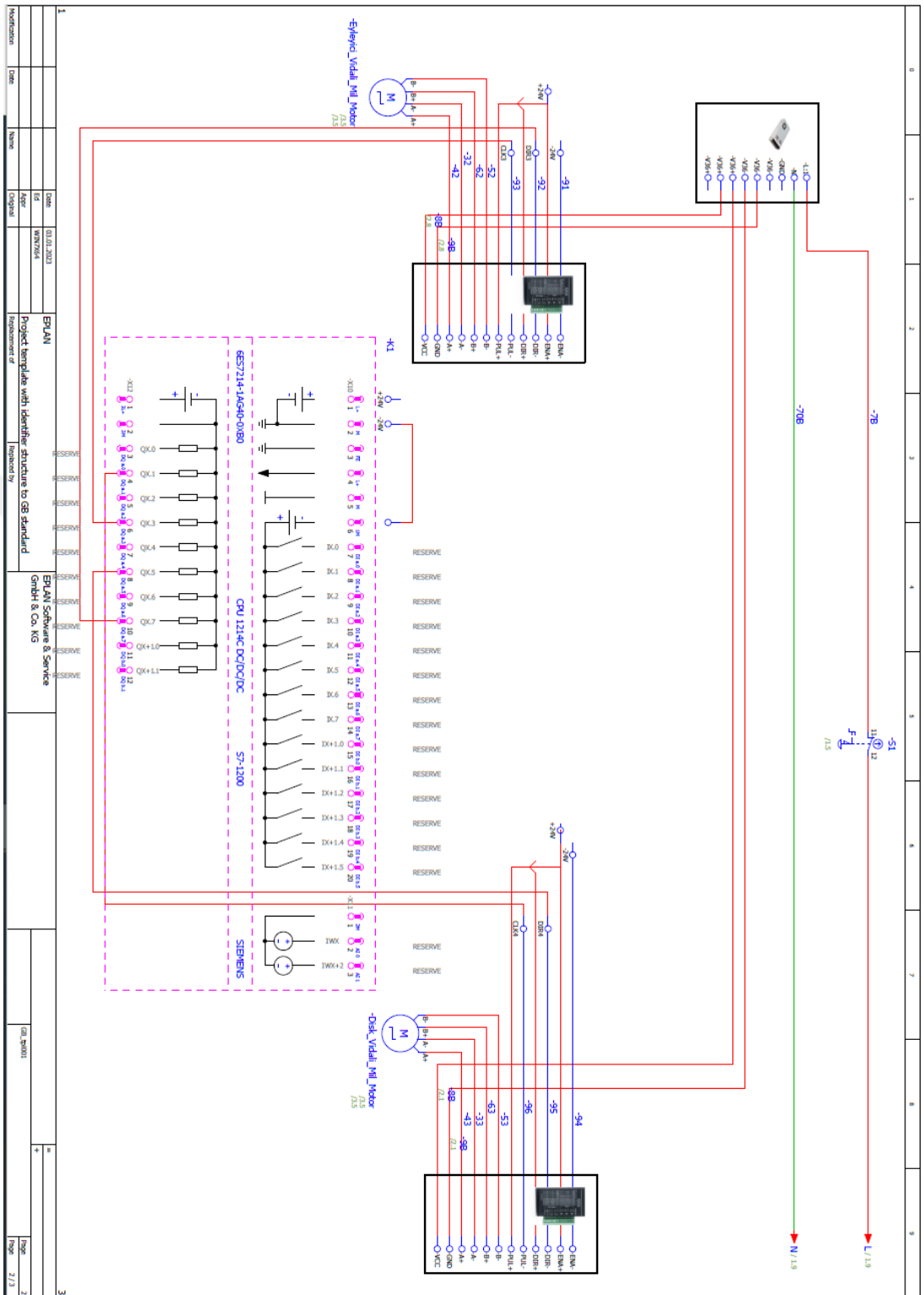
EKLER

Ek 1. Flanşların Teknik Çizimi

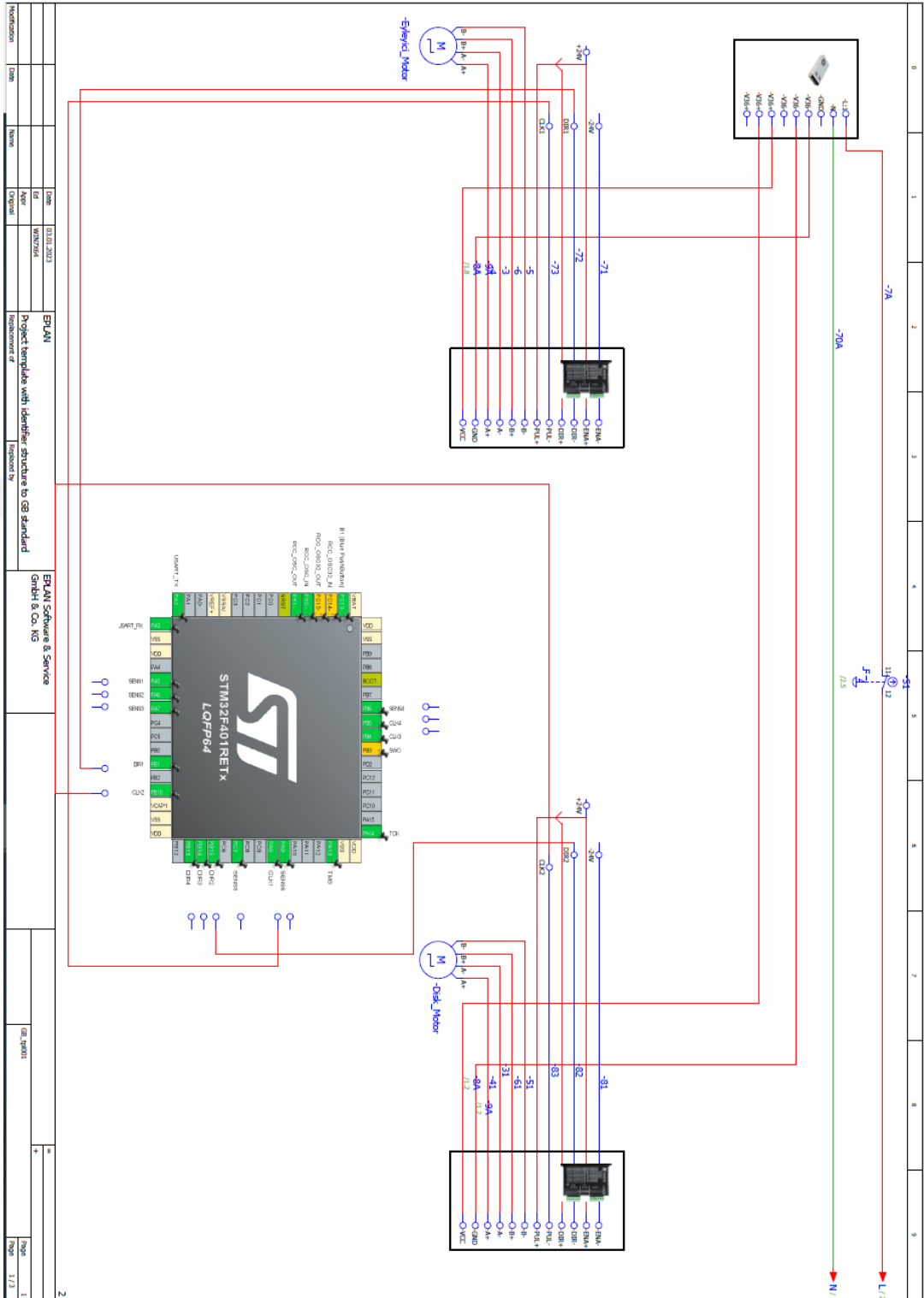


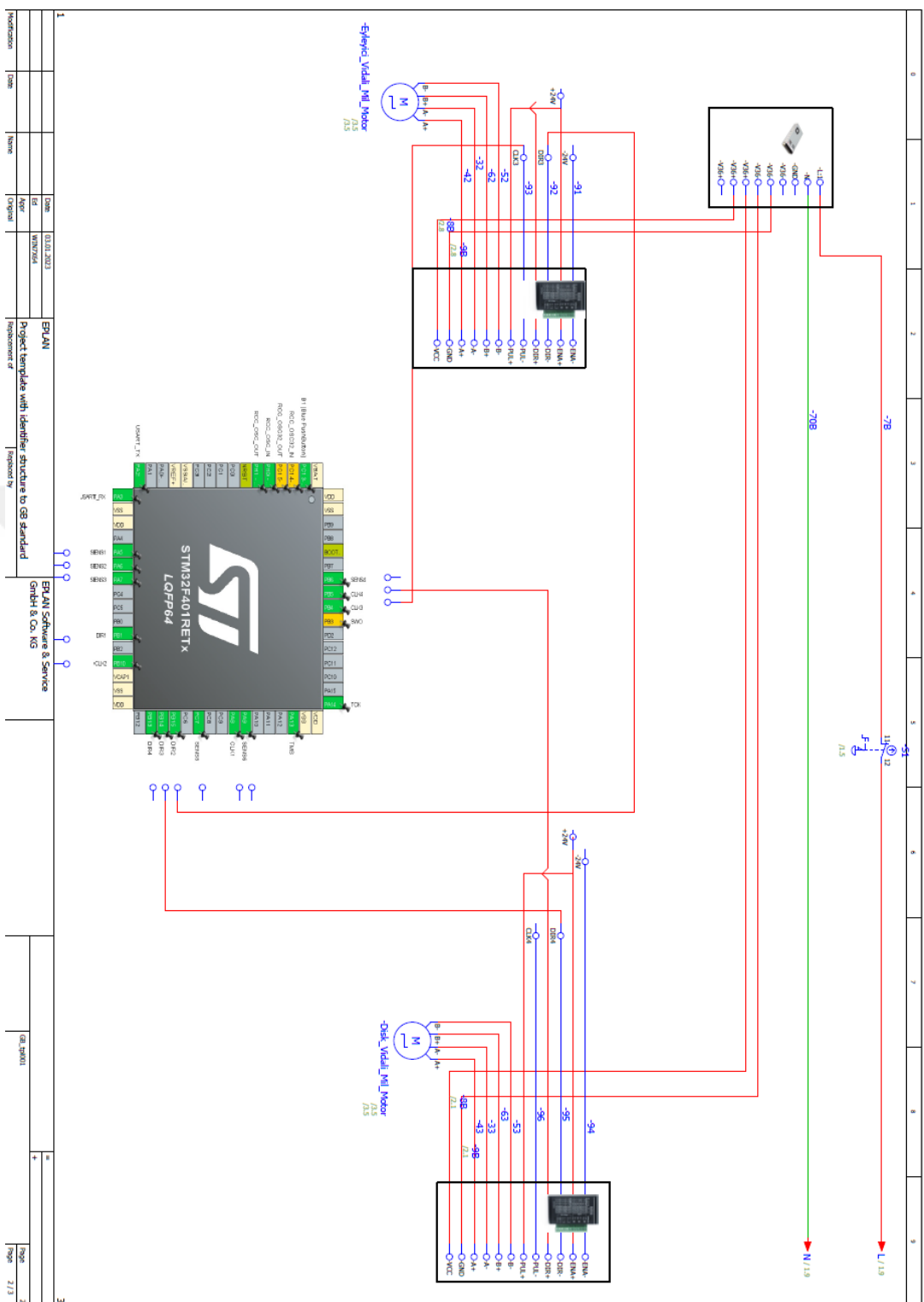
Ek 2. PLC E-Plan Projesi





Ek 3. STM32F E-Plan Projesi







ÖZ GEÇMİŞ

Burcu KESKİN, ilköğretim eğitimini Borçka Atatürk İlköğretim Okulu'nda (2010), lise eğitimini Artvin Anadolu Öğretmen Lisesi'nde (2014) tamamladı. Lisans eğitimi aldığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldu. Ayrıca lisans eğitiminde yapmış olduğu ÇAP programı ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde başlamıştır. Daha sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nde Araştırma Görevlisi kadrosunu kazanmış ve yatay geçişle Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yapmıştır. Halen burada görev yapmakta ve yüksek lisans öğrencisi olarak eğitimine devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:

ORCID ID: 0000-0003-1186-1220

Tezden Çıkan Yayınlar:

KESKİN, B., ve EMİNOĞLU, İ. (2023). Dört Eksen Adım Motor Konum Denetimli Üretim Süreci Tasarımı: Deney Seti Donanımı, Yazılımı ve Uygulaması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. (Kabul edildi.)

KESKİN, B., ÇELİK, M.S., ve EMİNOĞLU, İ. (2022). Four-Axis Stepper Motor Training Set: STM32 Microcontroller, Algorithm and Teaching Considerations. Presented at the 2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things (ICAIoT), Istanbul.

Tez Dışı Yayınlar:

KESKİN, B., ve EMİNOĞLU, İ. (2022). Optimally Tuned PI Controller Design for V/f Control of Induction Motor. 2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Ankara.

KESKİN, B., AVCI, T.N., DINÇER, K. ve ALTAŞ, İ.H. (2018). A Power Managament Application for Smart Grids. 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), Adana.