



Teknoloji Fakültesi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Uçar Markalama Sistemi Hareketli Ürünlere Senkron Markalama Uygulaması

Berke BAYDAR

LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Mühendislik Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

İSTANBUL, 2025

MARMARA UNIVERSITY FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS
ENGINEERING

Flying Marking System
A Synchronous Marking Application on Moving Products

UNDERGRADUATE THESIS
Department of Electrical and Electronics Engineering
Engineering Program

Thesis Supervisor
Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

İSTANBUL, 2025

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü öğrencisi Berke BAYDAR, “Uçar Markalama” başlıklı bitirme projesi çalışması 08/07/2025 tarihinde sunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimiz süresince bilgi birikimi, akademik rehberliği ve değerli katkılarıyla bizlere her zaman yol gösteren, tez çalışmamızın tüm aşamalarında

desteklerini esirgemeyen çok kıymetli danışmanımız Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA'ya en içten teşekkürlerimizi sunarız.

"Uçan Markalama" başlıklı tez çalışmamızın şekillenmesinde ve bilimsel bir temele oturtulmasında kendisinin yönlendirmeleri bizler için son derece değerli olmuştur.

Haziran 2025

Berke BAYDAR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	2
ÖZET	6
ABSTRACT	7
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	8
ŞEKİL LİSTESİ	9
GİRİŞ 1.0	10
1.1 Projenin Amacı ve Önemi	10
1.2 Yöntem ve Yaklaşım.....	10
1.3 Raporun Organizasyonu	10
2.0 LİTERATÜR TARAMASI.....	11
2.1 Otomatik Markalama Sistemleri	11
2.2 Uçar Makas ve Senkron Hareket Sistemleri	11
2.3 PLC Tabanlı Kontrol Sistemleri	12
2.4 Servo Motorlar ve Encoder Kullanımı	13
2.5 Benzer Projelerin İncelenmesi.....	13
3.0 SİSTEM TASARIMI.....	15
3.1 Genel Sistem Mimarisi.....	15
3.2 Mekanik Tasarım	15
3.2.1 Lineer Hareket Mekanizması	16
3.2.2 Markalama Ünitesi	16
3.3 Elektronik Donanım	16
3.3.1 Kullanılan PLC (GLC-296T)	17
3.3.2 Kullanılan Servo Motor ve Sürücü Sistem.....	17
3.3.3 Encoder ve Geri Besleme Sistemi	18
3.4 Haberleşme ve Sinyal Yapısı	19
3.4.1 Pulse-DIR Sinyali.....	19
3.4.2 HSC Kullanımı	20
3.5. PLC Seçim Aşamaları	20
4.0 YAZILIM VE KONTROL ALGORİTMASI	22
4.1 Ladder Tasarımı.....	22
5.0 UYGULAMA VE TESTLER	27
5.1. Elektriksel Montaj	27

5.1.1 X4 Konnektörü Bağlantıları	27
5.1.2 X2 Konnektörü Bağlantıları	29
5.1.3 PLC Bağlantıları.....	30
5.1.4 Encoder Bağlantıları.....	32
5.1.5 Selenoid Aktüatör Entegresi.....	34
5.1.6 Optik Sensör Bağlantısı.....	35
5.1.7 Limit Switch Montajı	37
5.2 Mekanik Tasarım ve Üretim Süreci.....	37
6.0 SONUÇ	44
7.0 KAYNAKLAR	45

ÖZET

Bu projede, üretim hattında hareket halindeki ürünlerin durdurulmasına gerek kalmadan markalanmasını sağlayan senkronize bir otomasyon sistemi geliştirilmiştir. “Uçar Markalama” prensibine dayalı sistemde, ürün pozisyonu encoder ile izlenmekte, bu bilgiye bağlı olarak servo motor kontrol edilmektedir. Geliştirilen sistemde, ürünle eş zamanlı olarak hareket eden bir taşıyıcı, markalama işlemini hareket halinde gerçekleştirerek üretim sürecinde zaman kaybını en aza indirmeyi hedeflemiştir.

Sistemin temelinde, ürün konumunun incremental encoder ile gerçek zamanlı izlenmesi ve bu bilgiye bağlı olarak servo motorun kontrol edilmesi yatmaktadır. Başlangıçta sistemin kontrolü için Schneider ve ardından Siemens S7-1200 PLC modelleri denenmiş; ancak haberleşme yetersizlikleri ve pulse-direction desteğinin olmayışı gibi teknik sınırlamalar nedeniyle bu modeller sistem gereksinimlerini karşılayamamıştır. Sonuç olarak, proje boyunca PLC, servo motor, sürücü bileşenleri GMT firmasından temin edilerek aynı ekosistem içinde uyumlu şekilde yapılandırılmıştır.

Sistem kontrolü, GLC-296T model PLC üzerinde Ladder programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve yazılım, GMT Suite arayüzü ile yapılandırılmıştır. Donanım tarafında ise GSM80F-0750W-20B-30D-KLY servo motor, GSS3-2RS sürücü ve OPKON PRI 50 encoder kullanılmıştır. Tüm bileşenler, senkron hareketi ve kararlı markalama işlemini gerçekleştirmek üzere entegre edilmiştir.

Yapılan testler sonucunda sistemin, ürünle senkron hareket ederek doğru pozisyonda markalama yaptığı, hata durumlarında güvenli moda geçebildiği ve tekrar eden döngülerde kararlı çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu proje sayesinde, hem PLC tabanlı senkron hareket kontrolü hem de uçan sistem mantığı başarıyla uygulanmış ve mühendislik açısından değerli bir prototip ortaya konulmuştur.

ABSTRACT

In this project, a synchronized automation system was designed and implemented to enable marking on products moving along a production line without the need to stop them. Based on the flying marking principle, the system aims to perform marking in parallel with the product's motion, thereby improving operational efficiency and reducing time losses.

At the core of the system lies real-time position tracking via an incremental encoder, and motion control executed by a servo motor synchronized with the encoder feedback. Initially, Schneider and later Siemens S7-1200 PLC models were tested; however, due to communication limitations and lack of pulse-direction output support, these models failed to meet the system's requirements. Ultimately, all control components including PLC, servo motor, driver, and encoder were sourced from GMT to ensure complete ecosystem compatibility.

The control algorithm was developed using Ladder Logic on the GLC-296T PLC, and implemented via the GMT Suite software. Hardware components included the GSM80F-0750W-20B-30D-KLY servo motor, GSS3-2RS driver, and OPKON PRI 50 encoder, all integrated to achieve synchronized motion and precise marking.

Test results showed that the system successfully performed synchronized movement with the product, executed marking at the correct position, and responded appropriately under fault conditions. The developed prototype has proven to be a valuable application of PLC-based synchronized motion control and offers a solid foundation for industrial flying marking systems.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Kısaltma / Sembol Açıklama

PLC	Programmable Logic Controller- Programlanabilir Lojik Kontrolör
HSC	High-Speed Counter – Yüksek Hızlı Sayıcı
FBD	Function Block Diagram
PULSE-DIR	Pulse, Direction – Darbe,Yön
Incremental	Artırımlı
LD	Ladder Diagram – PLC programlama dili
HSO	High-Speed Output- Yüksek Hızlı Çıkış

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Uçar Makas Sistemi Blok Diyagramı [1]	12
Şekil 2 Görüntü işleme yöntemi kullanılarak ürün takibi	14
Şekil 3 GLC-296T Giriş-Çıkış Portları ve Özellikleri [4].....	17
Şekil 4 Ladder Diyagram 1	22
Şekil 5 Ladder Diyagram 2	23
Şekil 6 Ladder Diyagram 3	24
Şekil 7 Ladder Diyagram 4	25
Şekil 8 Ladder Diyagram 5	26
Şekil 9 Servo Sürücü I/O Arayüzü-X4 Konnektörü.....	27
Şekil 10 X4 Konnektör Pinlerinin Montajı	28
Şekil 11 DIN1, DIN5, DIN5, DIN6, DIN7; PUL-, DIR- Bağlantılarının Montajı	29
Şekil 12 U, V, W hatlarının X2 Konnektörüne Bağlantısı.....	30
Şekil 13 Servo Sürücü ve PLC Kablo Bağlantıları	32
Şekil 14 Encoderin Konveyöre Montajlanması	33
Şekil 15 Selenoid Aktüatör Entegre Edilmesi	34
Şekil 16 NPN Çıkışlı Modellerde Sinyal Davranışı [8]	35
Şekil 17 Optik Sensörün PLC'ye Röle Yardımıyla Bağlantısı	36
Şekil 18 Konveyöre Optik Sensör Entegre Edilmesi	36
Şekil 19 Mil Rulman Ara Parçası	38
Şekil 20 Tabla	39
Şekil 21 Mil-Servo Motor Ara Bağlantı Parçası	40
Şekil 22 Mil-Servo Motor Ara Bağlantı Parçasının Servo Motora Montelenmesi	40
Şekil 23 Servo Motor Yatağı	41
Şekil 24 Mekanik Yatak	42
Şekil 25 Konveyör ve Servo Motorun Senkron Hareketi	43

GİRİŞ 1.0

Günümüz üretim hatlarında verimlilik, süreklilik ve hız temel öncelikler arasında yer almaktadır. Özellikle ürün üzerine tarih, barkod veya seri numarası gibi bilgilerin işlenmesi gereken uygulamalarda, sistemin duraksamadan çalışabilmesi büyük önem taşır. Geleneksel markalama sistemlerinde ürünün hareketi sırasında işlem yapılamadığı için üretim akışı kesintiye uğrar ve bu durum zaman kaybına, enerji israfına ve düşük verimliliğe yol açar.

Bu ihtiyaca yanıt olarak geliştirilen uçan sistem yapıları, ürünle birlikte senkron hareket eden bir mekanizma kullanarak hareket halindeki ürünlere durmaksızın işlem yapılmasına olanak tanır. Bu proje, tam da bu ihtiyaca karşılık gelen bir mühendislik uygulaması olarak, hareket halindeki ürünlere senkronize biçimde markalama yapabilen bir sistemin tasarımını ve gerçekleştirilmesini konu almaktadır.

1.1 Projenin Amacı ve Önemi

Bu projenin temel amacı, üretim hattında hareket eden ürünlerin durdurulmasına gerek kalmadan markalanmasını sağlayacak bir otomasyon sistemi geliştirmektir. Sistem; encoder yardımıyla ürün konumunu gerçek zamanlı izleyen, bu bilgiye göre servo motoru kontrol ederek markalama kafasını ürünle eş zamanlı hareket ettiren bir yapıya sahiptir. Böylece üretim hattındaki kesintiler önlenmekte ve iş süreci optimize edilmektedir.

Proje, yalnızca teknik bir uygulama değil; aynı zamanda gerçek zamanlı kontrol, senkron hareket yönetimi, PLC programlama ve endüstriyel haberleşme gibi konularda uygulamalı mühendislik deneyimi sunmaktadır.

1.2 Yöntem ve Yaklaşım

Başlangıçta, Schneider ve Siemens S7-1200 gibi yaygın kullanılan PLC modelleri denenmiş ancak çeşitli teknik sınırlamalar nedeniyle uygun bulunmamıştır. Siemens modelinin röle çıkışlı olması, pulse-direction sinyali verememesi ve analog çıkış desteğinin olmaması nedeniyle sistem servo sürücüsüyle sağlıklı haberleşememiştir. Bu gerekçelerle PLC, servo motor, sürücü ve encoder bileşenlerinin tamamı aynı sistem ekosistemine ait olacak şekilde GMT firmasından temin edilmiştir.

1.3 Raporun Organizasyonu

Bu rapor, geliştirilen "Uçar Markalama Sistemi"nin tüm tasarım, uygulama ve test süreçlerini sistematik bir şekilde sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Raporun ikinci bölümünde literatürde yer alan benzer sistemler, kullanılan teknolojiler ve temel kavramlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde sistemin mekanik, elektronik ve yazılımsal bileşenleri ayrıntılı olarak açıklanmış; donanım seçimi ve haberleşme yapısı ele alınmıştır.

Dördüncü bölüm, sistemin kontrol algoritması ve PLC yazılım yapısını içermektedir. Beşinci bölümde ise test süreçleri, karşılaşılan sorunlar, çözüm yöntemleri ve sistemin performansı değerlendirilmiştir. Son bölüm olan altıncı bölümde genel sonuçlara ve proje sürecindeki kazanımlara yer verilmiştir.

2.0 LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, geliştirilen sistemin temelini oluşturan kavramlar, teknolojiler ve benzer uygulamalar incelenecektir. Literatür taraması; sistemin mühendislik temellerinin sağlamaştırılması, doğru donanım ve yazılım yapılarına yönelme ve tasarım kararlarının gerekçelendirilmesi açısından önemlidir.

Markalama sistemleri, endüstriyel üretim hatlarında ürün bilgisi, tarih, barkod veya seri numarası gibi verilerin ürüne kazandırılması amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle hareketli hatlarda, ürünlerin durdurulmadan markalanması ihtiyacı doğmuş; bu gereksinim uçan sistem olarak adlandırılan, senkron hareket prensibine dayalı sistemlerin geliştirilmesini teşvik etmiştir.

Bu doğrultuda; uçan makas sistemleri, PLC tabanlı kontrol yapıları, servo motor ve encoder tabanlı geri besleme sistemleri ile ilgili literatür incelenmiş; benzer projelerden elde edilen deneyimlerle bu projeye uygun yapıların nasıl oluşturulacağına dair fikirler geliştirilmiştir.

Aşağıdaki alt başlıklarda; sistemde kullanılan her teknolojik bileşenin kuramsal temeli, uygulama örnekleri ve teknik avantajları detaylandırılmıştır.

2.1 Otomatik Markalama Sistemleri

Sanayi üretim hatlarında ürünlere tarih, barkod, seri numarası veya ürün bilgisi gibi verilerin işlenmesi için çeşitli markalama sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler; mürekkep püskürtmeli, lazer, mekanik kazıma veya sıcak baskı gibi yöntemlerle çalışabilir. Otomatik markalama sistemleri, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan belirli kriterlere göre işlem yapan, genellikle üretim hattına entegre edilen kontrol sistemleri tarafından yönlendirilen yapılardır.

Bu sistemlerde temel amaç; ürünün doğru pozisyonunda, doğru içerikle ve doğru zamanda markalama yapmaktır. Özellikle hareketli hatlarda bu işlem daha karmaşık hale gelmekte; ürünün konum bilgisi ile senkronize çalışan bir sistem gerektirmektedir. Bu sayede üretim hattı duraksamadan çalışır, zaman ve maliyet açısından verimlilik sağlanır.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan bu sistemlerde, genellikle HSC, encoder, servo motor ve kontrol ünitesi gibi bileşenler bir arada kullanılır. Literatürde farklı uygulamalar ve çözümler yer alsa da bu projede odak noktası, uçar markalama prensibiyle hareketli ürünle aynı hızda hareket eden bir sistem geliştirmek olmuştur.

2.2 Uçar Makas ve Senkron Hareket Sistemleri

Uçar makas sistemleri özellikle sac, çelik, alüminyum gibi sürekli akan üretim hatlarında malzemenin kesilmesi amacıyla geliştirilen bir senkron hareket teknolojisidir. Bu sistemlerde, kesme işlemini gerçekleştiren mekanizma, hareket halindeki malzemenin hızına eş zamanlı olarak hızlanır, kesim işlemini yapar ve ardından başlangıç pozisyonuna geri döner. Böylece üretim hattının duraksamasına gerek kalmaz, verimlilik ve süreklilik sağlanır.[1]

Uçar sistemlerin temel mantığı, hedef nesnenin hareket parametrelerinin (hız, pozisyon) gerçek zamanlı izlenmesi ve bu bilgilere göre bir eyleyicinin aynı hızda ve uygun pozisyonda çalıştırılmasıdır. PLC, servo motor ve encoder üçlüsü bu senkronizasyonun temel bileşenlerini oluşturur.

Bu projede geliştirilen Uçar Markalama Sistemi, uçar makas prensibine benzer şekilde çalışmaktadır. Markalama mekanizması, hareketli ürüne eşlik edecek şekilde servo motor yardımıyla hızlandırılmakta ve ürünle aynı hızda ilerleyerek markalama işlemi gerçekleştirmektedir. Ardından sistem tekrar başlangıç noktasına dönerek bir sonraki ürün için hazır hale gelmektedir. Şekil 1’de uçar makas sisteminin blok diyagramına yer verilmiştir.

Şekil 1 Uçar Makas Sistemi Blok Diyagramı [1]

Bu yaklaşım, üretim sürecinde duraklamaya gerek bırakmadan markalama işlemi yapmayı mümkün kılarken, sistemin kontrolünde gerçek zamanlı pozisyon izleme ve hassas motor sürüş teknikleri gibi ileri kontrol yöntemlerinin kullanımını da zorunlu kılmaktadır.

2.3 PLC Tabanlı Kontrol Sistemleri

PLC endüstriyel otomasyon sistemlerinde en çok tercih edilen kontrol birimlerindendir. Yüksek güvenilirlik, modüler yapı, geniş giriş/çıkış seçenekleri ve gerçek zamanlı kontrol gibi avantajları sayesinde birçok otomasyon sürecinde merkezi kontrol elemanı olarak kullanılır. Özellikle hareket kontrolü, senkronizasyon ve güvenlik gerektiren sistemlerde PLC'ler ön plandadır.

Bu projede GLC-296T model PLC kullanılarak sistemin kontrol altyapısı oluşturulmuştur. GLC-296T, kompakt yapısı ve genişleyebilir modülleri ile orta düzey karmaşıklıkta otomasyon sistemleri için uygundur. Aynı zamanda HSC özelliği ile encoder gibi pozisyon algılayıcılarından gelen hızlı darbe sinyallerini yorumlayabilir. Bu özellik, senkron hareket gerektiren uçar sistemler için özellikle önemlidir.

PLC tabanlı sistemlerde ladder diagram, FBD gibi görsel programlama teknikleri kullanılarak kontrol algoritmaları oluşturulur. Bu projede kullanılan yapı, ürünün encoder ile konumunun

algılanması ve bu bilgiye göre servo motorun hız ve pozisyonunun kontrol edilmesi üzerine kurulmuştur.

PLC ile servo sürücü arasındaki haberleşmede dijital çıkışlar (PULSE-DIR) ve HSC girişleri birlikte kullanılarak, senkron hareket kontrolü sağlanmıştır. Bu kontrol yapısı sayesinde ürünle aynı hızda hareket eden markalama ünitesi zamanında müdahale edebilmekte, sistem gerçek zamanlı ve hassas çalışabilmektedir.

2.4 Servo Motorlar ve Encoder Kullanımı

Servo motorlar, hassas konum, hız ve ivme kontrolü gerektiren uygulamalarda kullanılan, geri besleme sistemine sahip motorlardır. İçerdikleri pozisyon sensörü sayesinde, hedef pozisyonla mevcut pozisyon arasında fark sürekli olarak ölçülür ve bu farkı sıfırlamak üzere motor kendini ayarlar. Bu kapalı çevrim kontrol yapısı sayesinde yüksek hassasiyet ve kararlılık elde edilir.

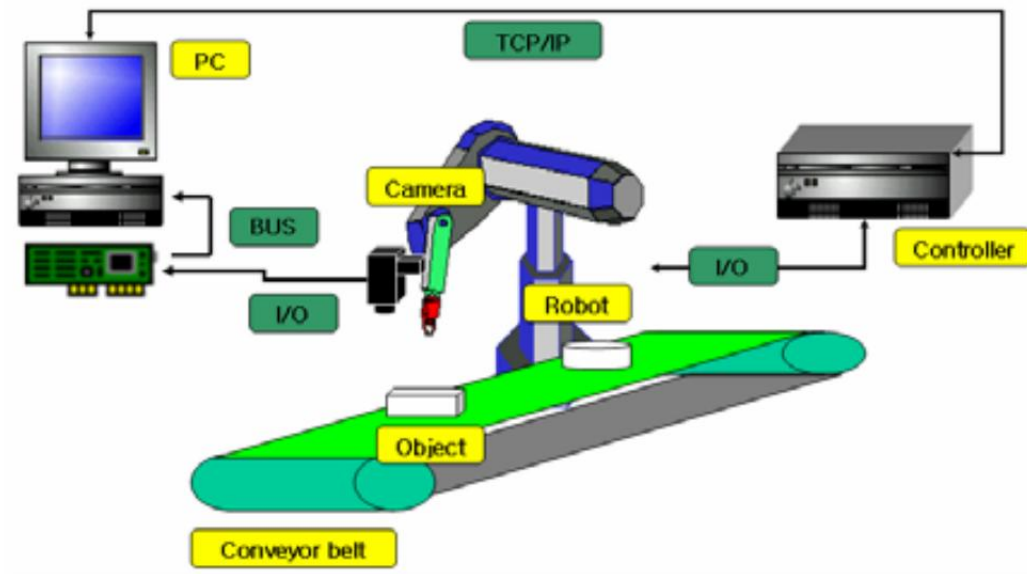
Projede kullanılan servo motor, markalama mekanizmasının hareketini sağlamak ve ürünle eşzamanlı olarak konum değiştirerek işlemin doğru yerde yapılmasına olanak tanımaktadır. Sistemde servo motorun doğru pozisyonunda ve doğru hızda çalışabilmesi hem PLC'den gelen kontrol sinyallerine hem de encoder'dan gelen pozisyon bilgisine bağlıdır.

Encoder ise hem ürün konumunun hem de markalama mekanizmasının hareketinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Ürün konumu, sisteme entegre edilen pulse/direction çıkışlı bir encoder ile algılanmakta; bu sinyaller PLC'nin HSC girişleri ile işlenmektedir. Encoder sayesinde ürünün hızı ve konumu anlık olarak takip edilmekte ve bu bilgiye göre servo motorun hareketi senkronize edilmektedir.

2.5 Benzer Projelerin İncelenmesi

Literatürde yer alan birçok projede, ürün pozisyonunun takibi için encoder kullanımı yaygındır. Bu projelerde genellikle HSC destekli PLC'ler tercih edilmekte, kontrol algoritmaları ise ürünün hareketini takip eden servo motor sistemleri ile birleştirilmektedir. Benzer şekilde, hareketli hatlarda etiketleme yapan sistemlerde de ürün algılandığında belirli bir mesafede tetikleme yapılması veya ürünle hareket eden bir mekanizma kullanılması yaygın çözümler arasındadır.[2]

Ayrıca akademik projelerde geliştirilen bazı sistemlerde, ürün takibini görüntü işleme yöntemleri ile gerçekleştiren yaklaşımlar da mevcuttur. Ancak bu yöntem, maliyet ve sistem karmaşıklığı açısından orta ölçekli uygulamalar için uygun olmayabilir. Bu bağlamda, bu projede tercih edilen encoder + servo motor + PLC üçlüsü, hem maliyet-etkin hem de endüstriyel uygulamaya uygun bir çözüm sunmaktadır. Şekil 2'de görüntü işleme ile ürün takibi sisteminin blok diyagramı verilmiştir.[3]



Şekil 2 Görüntü işleme yöntemi kullanılarak ürün takibi

Sonuç olarak, mevcut literatürdeki birçok sistemle ortak prensiplere dayanan bu proje, "uçan markalama" yaklaşımını uygulayarak ürünle hareket eden mekanizma üzerinde yoğunlaşmış ve benzer projelere kıyasla donanım entegrasyonu ve sinyal haberleşmesi bakımından sadeleştirilmiş, uygulanabilir bir sistem ortaya koymuştur.

3.0 SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde geliştirilen “Uçar Markalama Sistemi”nin teknik altyapısı; mekanik yapı, elektronik donanım ve kontrol sistemi olmak üzere üç ana başlık altında detaylı olarak ele alınmaktadır. Tasarım süreci, sistemin gereksinimlerinin belirlenmesi ile başlamış, ardından donanım bileşenlerinin seçimi, mekanik düzeneklerin kurulumu ve kontrol algoritmalarının geliştirilmesiyle devam etmiştir.

Proje boyunca hedeflenen sistem; hareketli bir üretim hattı üzerinde ilerleyen ürünlerin konumunu anlık olarak algılayan ve bu harekete senkronize şekilde markalama işlemini gerçekleştiren bir yapıya sahiptir. Bu doğrultuda; encoder ile pozisyon bilgisi alınmış, PLC ile bu veri işlenmiş ve servo motor aracılığıyla markalama mekanizması kontrol edilmiştir. Ayrıca, güç yönetimi, sinyal haberleşmesi ve fiziksel entegrasyon gibi alt sistemler de ele alınmıştır.

Sistem tasarımında yalnızca teorik uygunluk değil, uygulama sürecinde yaşanabilecek problemler de göz önünde bulundurulmuştur. PLC seçiminde karşılaşılan uyumsuzluklar, haberleşme problemleri ve tedarik süreçlerinde yaşanan gecikmeler ve maliyet sistem tasarımını doğrudan etkilemiş ve bazı kararların tekrar gözden geçirilmesine neden olmuştur. Bu nedenle bu bölümde, sadece tasarımın nihai hali değil, aynı zamanda yaşanan karar süreçleri ve problem çözüm yaklaşımları da detaylı olarak paylaşılmaktadır.

3.1 Genel Sistem Mimarisi

Geliştirilen sistem, hareketli bir üretim hattı üzerinde konumlanan ürünlerin pozisyonunu gerçek zamanlı olarak takip ederek, bu ürünlerle senkron biçimde hareket eden bir markalama ünitesiyle işaretleme işlemini gerçekleştirmektedir. Sistem üç ana bileşenden oluşur: mekanik hareket sistemi, elektronik kontrol birimi ve yazılım tabanlı PLC programı.

Mekanik sistem, lineer eksen boyunca ileri-geri hareket edebilen taşıyıcı bir platformdan oluşur. Bu platform üzerine entegre edilen markalama ünitesi, servo sistem aracılığıyla konumlandırılır ve ürünle eşzamanlı olarak hareket eder. Elektronik kontrol biriminde GLC-296T model PLC, pulse-direction çıkışlı OPKON PRI 50 model encoder, GSS3-2RS servo sürücü ve 750W’lık AC servo motor bulunmaktadır. Encoder’dan alınan sinyaller, HSC girişi üzerinden PLC’ye aktarılır. PLC bu verileri işleyerek servo sürücüye PULSE-DIR bağlantısı üzerinden pulse göndererek servo motorun sistemi uygun konum ve hızda kontrol edebilmesini sağlar.

Yazılım tarafında, ürün takibi, senkron hareket kontrolü ve markalama zamanlaması Ladder dili ile GMT Suite ortamında programlanmıştır. Gerçek zamanlı kontrol için HSC blokları ve HSO tetikleme kullanılmıştır.

3.2 Mekanik Tasarım

Mekanik yapı, doğrusal vidalı mil üzerinde hareket eden bir taşıyıcı platforma dayalıdır. Bu platform, markalama ünitesini taşımakta ve ürünle senkron bir şekilde ilerleyerek işlem gerçekleştirmektedir. Sistem, düşük sürtünmeli ve yüksek hassasiyetli lineer eksen vidalı milden oluşmaktadır. Bu yapı sayesinde yüksek konumlama hassasiyeti ve kararlı hareket elde edilmiştir.

3.2.1 Lineer Hareket Mekanizması

Sistem, markalama ünitesinin ürünle senkron bir şekilde hareket etmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu yapı, sistemin uçar prensibine uygun olarak hareket eden kısmını oluşturur. Vidalı mil üzerinde ileri-geri doğrusal hareket edebilen taşıyıcı bir platform, platformun üzerinde ürün ile aynı hızda ilerleyerek markalama işlemi yapılmasına imkân tanır. İşlem tamamlandıktan sonra sistem başlangıç konumuna dönerek bir sonraki ürün için hazır hale gelir.

Taşıyıcı platform 2 adet indüksiyonlu lineer mil ile desteklenmiştir. Lineer hareket mekanizması üzerindeki yük indüksiyonlu lineer miller tarafından taşınır. Bu sayede sistem titreşimsiz bir şekilde hareket edebilmektedir.

Taşıyıcı platform, markalama mekanizmasını üzerinde sabit şekilde taşımaktadır. Platformun ileri ve geri hareketi, servo motor ile tahriklenen vidalı mil tarafından sağlanmaktadır. Bu yapı sayesinde sistem, belirlenen hızlarda yüksek doğrulukla hareket edebilmekte ve istenilen pozisyonda durabilmektedir.

Servo motor ve vidalı mil ara bağlantısı için flanş tasarlanmıştır ve bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak bu sistem, üretim hattındaki ürünle aynı hızda hareket ederek “hareketli markalama” ihtiyacını karşılayacak şekilde hem yapısal olarak sağlam hem de dinamik olarak dengeli bir şekilde tasarlanmıştır.

3.2.2 Markalama Ünitesi

Markalama ünitesi, sistemin ürün ile fiziksel etkileşime giren ve asıl işlem olan işaretlemeyi gerçekleştiren bileşendir. Bu bileşen, taşıyıcı platform üzerine sabitlenmiş olup, servo motorla birlikte vidalı mil üzerinde hareket ederken, belirlenen pozisyonda ürüne müdahale eder. Prototip sürecinde sistemin genel davranışını gözlemleyebilmek adına, markalama işlemi sembolik olarak da uygulanabilmektedir.

Markalama ünitesi, sisteme modüler bir şekilde entegre edilmiştir. Bu sayede farklı uygulamalara göre değiştirilebilir yapıdadır. Örneğin istenirse yazıcı tipi bir kafayla, mürekkep püskürtme sistemi ya da sıcak baskı kafası gibi farklı donanımlar da platforma kolayca entegre edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu modülerlik, sistemin hem prototip düzeyinde denenmesini hem de ileri seviye geliştirmelere açık olmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, sistemde markalama ünitesinin çalışmasını tetikleyen sinyal doğrudan PLC tarafından verilmektedir. Bu sinyal, ürünün doğru konuma geldiği anda aktif hale gelir ve markalama işlemini başlatır. Bu yapı sayesinde ürün ile etkileşim zamanlaması hassas şekilde kontrol edilir ve işlem tekrarlanabilirliği sağlanır.

3.3 Elektronik Donanım

Sistemin düzgün ve senkron bir şekilde çalışabilmesi için seçilen elektronik donanım bileşenleri, mekanik yapının kontrol edilmesini ve geri besleme mekanizmalarının işletilmesini sağlayan kritik parçalardır. Bu bileşenler, sistemin kararlılığı, doğruluğu ve çevresel koşullara karşı dayanıklılığı açısından belirleyici öneme sahiptir.

Bu projede kullanılan elektronik donanımlar; PLC, servo motor, servo sürücü, encoder, güç kaynakları, sinyal kabloları ve sınır algılama elemanlarından oluşmaktadır. Donanım seçimi yapılırken; kullanılacak bileşenlerin birbiriyle tam uyumlu olması, haberleşme protokollerinin desteklenmesi ve tedarik kolaylığı ve maliyet göz önünde bulundurulmuştur.

PULSE-DIR sinyali çıkışı verebilen ve encoder'dan gelen sinyalleri HSC girişleriyle okuyabilen GLC-296T model PLC tercih edilmiştir. Aynı şekilde servo motor, sürücü ve encoder bileşenleri de GMT firmasından temin edilerek tek bir sistem ekosistemi oluşturulmuştur.

3.3.1 Kullanılan PLC (GLC-296T)

GLC-296T PLC, HSC girişleri ve HSO sayesinde, özellikle PULSE-DIR sinyali ile çalışan servo sistemlerle doğrudan uyumlu olacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu özellik, projede kullanılan OPKON PRI 50 model incremental encoderden gelen pulse sinyallerinin doğru ve kayıpsız şekilde işlenmesine olanak tanımaktadır. Encoder sinyalleri bu HSC girişlerinde değerlendirilerek, ürünün pozisyonu anlık olarak takip edilmekte ve sistemin kontrol döngüsünün temeli oluşturulmaktadır.

Programlama işlemleri, GLC serisi PLC'ler için geliştirilen yazılım ortamı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sistem, pozisyon temelli senkron hareket kontrolüne göre yapılandırılmış; PLC'den çıkan PULSE-DIR sinyalleri, servo sürücüye gönderilerek servo motorun hız ve yönü hassas bir şekilde kontrol edilmiştir.

GLC-296T PLC, GMT firması üzerinden temin edilmiştir. Aynı firmadan servo motor ve sürücü de tedarik edilerek, tüm bileşenlerin aynı ekosistem içerisinde ve uyumlu çalışması sağlanmıştır. Bu yaklaşım, donanımlar arası haberleşme problemlerini ortadan kaldırmış, entegrasyon sürecini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır.

Sonuç olarak GLC-296T, sistemin ihtiyaç duyduğu gerçek zamanlı kontrol, yüksek çözünürlüklü konum takibi ve senkron hareket gereksinimlerini karşılayan, sistemin stabil ve güvenilir çalışmasına olanak tanıyan uygun bir kontrolör olmuştur.

GLC-296T	9 Dijital (PNP/NPN) giriş (3 kanal 50 kHz sayı cı), 6 transistör çıkışı (3 kanal 100 kHz), analog giriş, analog çıkış, RS232, RS485, USB ports
----------	---

Şekil 3 GLC-296T Giriş-Çıkış Portları ve Özellikleri [4]

3.3.2 Kullanılan Servo Motor ve Sürücü Sistem

Sistemin hareketli kısmı olan markalama ünitesinin ray üzerinde hassas ve senkronize şekilde hareket etmesini sağlamak amacıyla, AC servo motor ve sürücü kullanılmıştır. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar sonucunda, GSM80F-0750W-20B-30D-KLY model AC servo motor tercih edilmiştir. Bu motor, 750 Watt gücünde olup sistemin ihtiyaç duyduğu ivmelenme ve hızlanma değerlerini karşılayabilecek düzeydedir.

Servo motor, taşıyıcı platformun hızlı ve düzgün şekilde ileri-geri hareket etmesini sağlamakta, aynı zamanda ürünle eşzamanlı konumlanarak markalama işleminin doğru pozisyonda gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Sistemde, hareketin hızlı başlatılıp durdurulması gerektiği için yüksek dinamik tepki süresine sahip bir motor tercih edilmiştir. Gerekli tork değerleri motor datasheet'lerinden ve mekanik yük analizlerinden yola çıkılarak doğrulanmıştır.

Bu motoru süren kontrol birimi olarak GSS3-2RS model servo sürücü kullanılmıştır. Bu sürücü, pulse-direction sinyalleri ile çalışabilmekte ve GLC-296T PLC'den doğrudan gelen sinyallerle tam uyum içinde hareket etmektedir. Sürücü ile PLC arasındaki haberleşme dijital çıkışlar üzerinden gerçekleştirilmiş, analog sinyallere ihtiyaç kalmamıştır. Ayrıca sürücü üzerinde yer alan parametre ayarları sayesinde hız, ivme ve frenleme süresi gibi değerler sistem gereksinimlerine göre yapılandırılmıştır.

Sürücü ve motor birlikte GMT firması üzerinden temin edilmiştir. Bu karar, sistemin tüm bileşenlerinin aynı üretici ekosistemi içinde yer almasını sağlamış ve haberleşme uyumsuzluklarının önüne geçilmiştir. Aynı üreticiye ait ürünlerin birlikte kullanılması sayesinde teknik destek, kablolama uyumu ve sistem güvenilirliği bakımından önemli avantajlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak servo motor ve sürücü seçimi, sistemin hareket hassasiyetini, senkronizasyon kalitesini ve genel tepkiselliğini doğrudan etkileyen kritik bir aşama olmuştur. Bu yapı sayesinde, ürünün konumu ile hareketli markalama ünitesinin pozisyonu milimetrik düzeyde uyumlu hale getirilmiştir.[5]

3.3.3 Encoder ve Geri Besleme Sistemi

Projenin en önemli geri besleme bileşenlerinden biri olan encoder, ürünün pozisyonunun anlık olarak takip edilmesini ve markalama ünitesinin bu pozisyona senkron şekilde hareket ettirilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla sistemde OPKON marka PRI 50 model incremental encoder kullanılmıştır. Encoder, ürünle dönen bir aktarma elemanına bağlanarak sistemin referans hız ve pozisyon bilgisini oluşturmaktadır.

PRI 50 model encoder, PULSE-DIR çıkış formatında çalışmakta olup, GLC-296T PLC'nin HSC girişlerine doğrudan bağlanmıştır. Pulse-DIR çıkış yapısı sayesinde hem ürünün hareket yönü hem de pozisyon değişimi hassas bir şekilde tespit edilebilmekte; PLC tarafından sürekli olarak izlenmektedir. Bu sinyaller, markalama mekanizmasının ne zaman ve hangi hızla harekete geçeceğini belirlemek için temel veri kaynağıdır.

Kullanılan encoder çözünürlüğü 360 pulse olup ürünün ilerleme hızı tespiti için uygun olduğu belirlenmiştir. Encoder'dan elde edilen pulse sinyalleri, PLC içerisinde sürekli toplanarak pozisyon değişimi gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Bu yapı sayesinde servo motorun hareketi ile ürün hareketi arasında anlık bir pozisyon farkı minimuma indirgenmiş ve senkronizasyon başarıyla sağlanmıştır.[6]

Sistemde encoder geri beslemesinin güvenilir çalışabilmesi için, kablolama ekranlı sinyal kablosu ile yapılmış; olası elektriksel parazitlerin etkisi en aza indirgenmiştir.

Encoder ve servo motorun ayrı eksenlerde ama senkronize çalışması gereken bu sistemde, encoder verisi sistemin hareket referansı olarak kullanılmış, bu veriye göre servo motor pozisyonlanmıştır. Böylece fiziksel olarak iki bağımsız sistem, yazılımsal olarak pozisyon-temelli koordinasyon içinde çalıştırılmıştır.

3.4 Haberleşme ve Sinyal Yapısı

Geliştirilen sistemde haberleşme yapısı, temel olarak PULSE-DIR sinyalleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yapı, hem encoder ile PLC arasındaki veri akışında, hem de PLC ile servo sürücü arasındaki kontrol sinyallerinde kullanılmıştır.

Encoder olarak kullanılan OPKON PRI 50 model incremental encoder, hareketli üründen aldığı fiziksel dönüş bilgisini PULSE-DIR sinyallerine dönüştürerek GLC-296T PLC'nin HSC girişlerine aktarmaktadır. Pulse sinyali her hareket artışında bir darbe üretirken, direction sinyali ise hareketin yönünü belirtir. PLC, bu iki sinyali birleştirerek ürünün toplam pozisyonunu sürekli olarak hesaplar ve markalama mekanizmasının tetiklenmesi için referans oluşturur.

Sistemde GLC-296T PLC'den çıkan kontrol sinyalleri, yine PULSE-DIR formatında GSS3-2RS model servo sürücüye aktarılmaktadır. PLC çıkış portları üzerinden oluşturulan bu sinyaller, servo sürücüye motorun hangi yöne ve kaç adım hareket edeceğini bildirir. Böylece servo motor, taşıyıcı mekanizmayı ürünle senkron biçimde hareket ettirecek şekilde kontrol edilir.

3.4.1 Pulse-DIR Sinyali

Pulse-DIR sinyali, dijital konum ve hız kontrolü sağlayan bir haberleşme protokolüdür. Bu yöntem, özellikle servo motor sistemlerinde hassas hareket kontrolü gereken uygulamalarda tercih edilmektedir. Sistemde iki ayrı sinyal hattı kullanılır: biri her bir pulse için darbe gönderirken, diğeri hareket yönünü belirler. Bu yapı sayesinde analog sinyallere kıyasla daha az parazit hassasiyeti, daha iyi kontrol doğruluğu ve daha hızlı yanıt süreleri sağlanabilir.

Proje kapsamında bu sinyal yapısı geri besleme ve kontrol olarak çift yönlü olarak kullanılmıştır:

Encoder → PLC (Geri Besleme):

Sistemde kullanılan incremental encoder, hareketli üründen aldığı dönüş bilgisini PULSE-DIR sinyalleri şeklinde PLC'ye iletmektedir. PLC'nin yüksek hızlı sayıcı HSC girişleri bu sinyalleri işleyerek ürünün toplam hareket miktarını ve yönünü sürekli hesaplar. Bu geri besleme, sistemin "ürün nerede?" sorusuna gerçek zamanlı cevap vermesini sağlar.

PLC → Servo Sürücü (Kontrol):

PLC, encoder'dan gelen veriyi işledikten sonra, markalama mekanizmasını kontrol etmek amacıyla servo sürücüye yine PULSE-DIR sinyalleri gönderir. Bu sinyaller, servo sürücü tarafından alınır ve bağlı olduğu servo motor üzerinde karşılık gelen adım sayısı ve yönünde hareket oluşturulur. Böylece motor, taşıyıcıyı ürünle aynı hızda ilerletecek şekilde sürülür.

Pulse-DIR yapısı ile her bir darbe belirli bir konum artışı, yön sinyali ise pozitif veya negatif ekseninde ilerleme anlamına gelir.

Bu sistemdeki doğruluğun temel belirleyicisi encoder çözünürlüğü ve servo motorun adım hassasiyetidir. İki sinyal hattının senkron çalışması sayesinde sistem hem konum hem de hız bakımından yüksek kararlılıkla kontrol edilebilmektedir.

3.4.2 HSC Kullanımı

HSC, PLC'lerin yüksek frekansta gelen darbe sinyallerini kaçırmadan sayabilmesini sağlayan özel giriş modülleridir. Standart dijital girişler belirli bir tarama süresine sahip olduğundan, yüksek frekanslı sinyalleri güvenilir şekilde okuyamaz. Bu nedenle encoder gibi yüksek çözünürlüklü ve hızlı çalışan sensörlerden gelen pulse sinyallerinin doğru işlenebilmesi için HSC girişleri kullanılması gereklidir.

Bu projede kullanılan GLC-296T PLC, yerleşik HSC destekli girişlere sahiptir ve encoder bu girişlere doğrudan bağlanmıştır. Encoder'dan gelen pulse ve direction sinyalleri, HSC modül tarafından anlık olarak sayılmakta; PLC içerisindeki sayıcı değeri sistemin referans konumu olarak kullanılmaktadır.

HSC girişlerinin kullanımı sayesinde:

- Encoder'dan gelen binlerce darbe/saniye hassasiyetle sayılabilmiş,
- Ürünün hareket yönü ve toplam mesafesi doğru olarak belirlenmiş,
- PLC'nin program döngüsünden bağımsız, gerçek zamanlı konum takibi sağlanmıştır.

HSC modül, konum bilgisi sağlamakla kalmamış, aynı zamanda belirli pozisyon eşiklerinde tetikleme yapılmasını da mümkün kılmıştır. Örneğin ürün belirli bir mesafeye ulaştığında, bu pozisyona karşılık gelen HSC sayıcı değeri ile karşılaştırma yapılarak servo motorun hareketi başlatılmış veya durdurulmuştur.

3.5. PLC Seçim Aşamaları

İlk deneme aşamasında, okul tarafından temin edilen Schneider Twido TWDLCAA16DRF model PLC ile sistemin kontrol edilmesi hedeflenmiştir. Ancak bu PLC modelinin hem donanımsal olarak eski kalması hem de kullanılan programlama yazılımının yalnızca Windows 7 işletim sistemiyle uyumlu olması, sistemin çalıştırılmasında kısıtlamalar yaratmıştır. Programın güncel sistemlerde stabil çalışmaması ve desteklenen yazılımın bulunamaması nedeniyle bu donanım ile istenilen kontrol yapısı kurulamamıştır. Bu sebepler doğrultusunda Schneider PLC ile yapılan ilk denemeler başarısız olmuş, daha güncel ve desteklenen bir PLC çözümüne geçilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

İlk denemenin başarısızlıkla sonuçlanmasının ardından, sistemin kontrolü için bu kez bağlantılar aracılığıyla temin edilen Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY model PLC ile yeni bir deneme yapılmıştır. Ancak bu modelin röle çıkışlı olması ve analog çıkış desteğinin bulunmaması, servo sürücü ile doğrudan haberleşmeyi mümkün kılmamıştır. Özellikle servo motor sürücüsünün gerektirdiği PULSE-DIR sinyallerinin bu PLC modeli ile üretilmemesi nedeniyle, sistemin senkron hareket kontrolü gerçekleştirilememiştir. Bu kısıtlar, Siemens S7-

1200'ün bu proje özelindeki gereksinimleri karşılamadığını ortaya koymuş ve daha uyumlu bir kontrolcü arayışına girilmesine neden olmuştur. [7]

Bu sınırlamalar, sistemin sağlıklı çalışmasını engellemiş ve PLC değişikliğini zorunlu kılmıştır. Bu doğrultuda, transistör çıkışlı olan GLC-296T model PLC tercih edilerek, GSS3-2RS model servo sürücü ile uyumlu şekilde çalışabilen ve HSC girişlerine sahip bir kontrolör sisteme entegre edilmiştir.

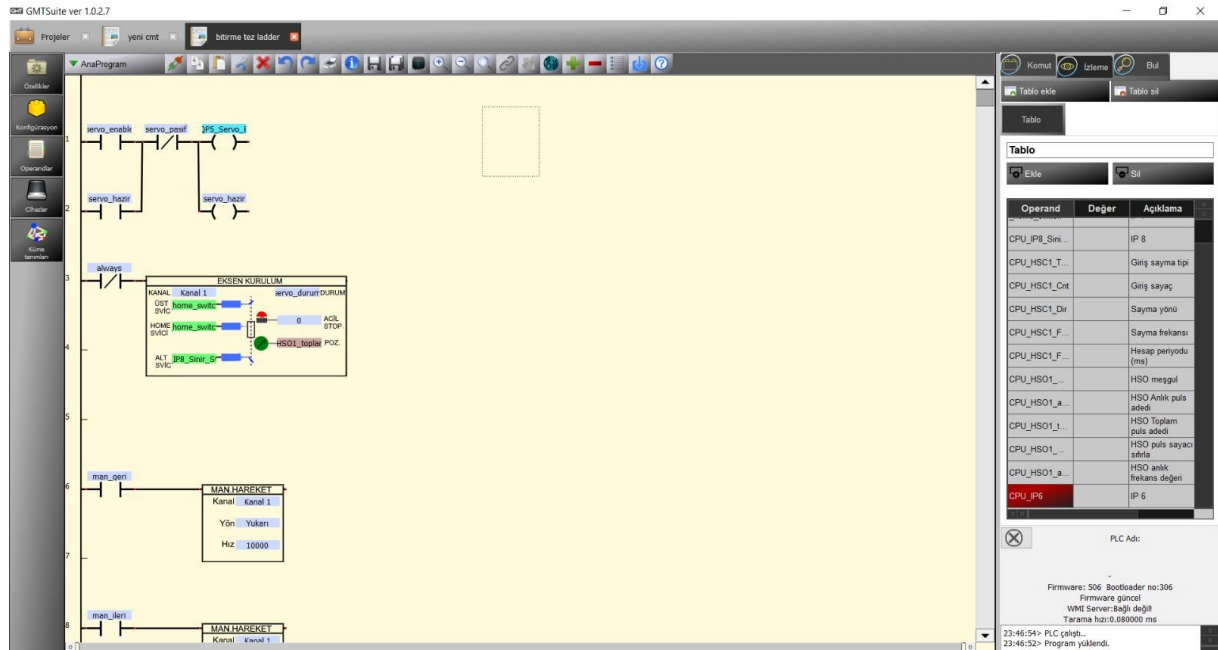
4.0 YAZILIM VE KONTROL ALGORİTMASI

4.1 Ladder Tasarımı

Projede geliştirilen Ladder diyagramının ilk iki satırında, servo sürücünün aktif hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu adımda, servo sistemin devreye girmesi ve çalışmaya hazır hale gelmesi için gerekli olan lojik sinyallerin doğru şekilde yapılandırılması amaçlanmıştır.

Üçüncü basamakta, hareket sisteminin eksen kurulumu gerçekleştirilmiştir. Eksen kurulumu sırasında kullanılan limit switch ve home switch bileşenleri PLC'ye tanıtılmıştır. Bu tanıtım sayesinde sistem, başlangıçta referans noktasını otomatik olarak bulmakta ve konumlandırma işlemini hassas bir şekilde yapabilmektedir. Referans konumu belirlenirken, HSO toplam pulse sayısı bir integer değer olarak esas alınmıştır. Bu sayede hareketli birimlerin referans noktasına olan uzaklığı hassas biçimde hesaplanabilmektedir.

Ayrıca, kanal yapılandırması sırasında sistemin HSO çıkışlarının 1. kanal üzerinden gerçekleştirileceği belirtilmiş ve bu ayar kanal bölümünden “Kanal 1” olarak yapılmıştır. Bu yapılandırma, PLC'nin servo sürücüye doğru şekilde pulse ve yön bilgisi göndermesini sağlamıştır. Anlatılan algoritma şekil 4'te gösterilmektedir.

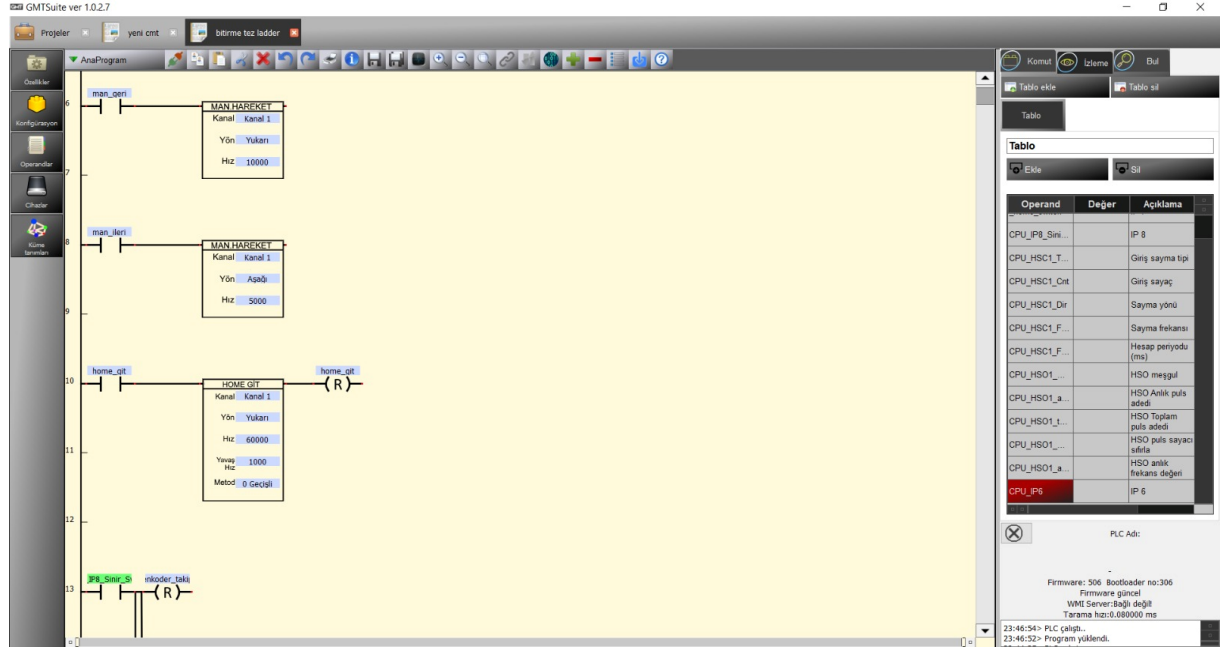


Şekil 4 Ladder Diyagram 1

Ladder diyagramının 4. ve 8. satırlarında, servo motorun manuel olarak kontrol edilebilmesini sağlayan komutlar yapılandırılmıştır. Bu komutlar sayesinde operatör, sistem otomatik moda geçmeden önce servo motoru manuel olarak ileri ya da geri yönde hareket ettirebilmekte, böylece mekanik doğrulamalar veya ilk testler manuel şekilde yapılabilmektedir.

10. satırda ise servo motorun home switch yönüne hareket etmesini sağlayan komut girilmiştir. Bu komutta, servo motorun home noktasına gidiş hızı ve home switch'e yaklaşma hızı, fonksiyon bloğu içerisine parametre olarak verilmiştir. Ayrıca, bu fonksiyon bloğunun çıkışına

bir reset komutu eklenerek, işlem tamamlandığında kendini sıfırlaması sağlanmıştır. Böylece home pozisyonuna dönüş işlemi kontrollü bir algoritma ile tamamlanmış ve sistem başlangıç referansını otomatik olarak bulabilecek hale getirilmiştir. Bahsi geçen algoritma Şekil 5'te gösterilmektedir.

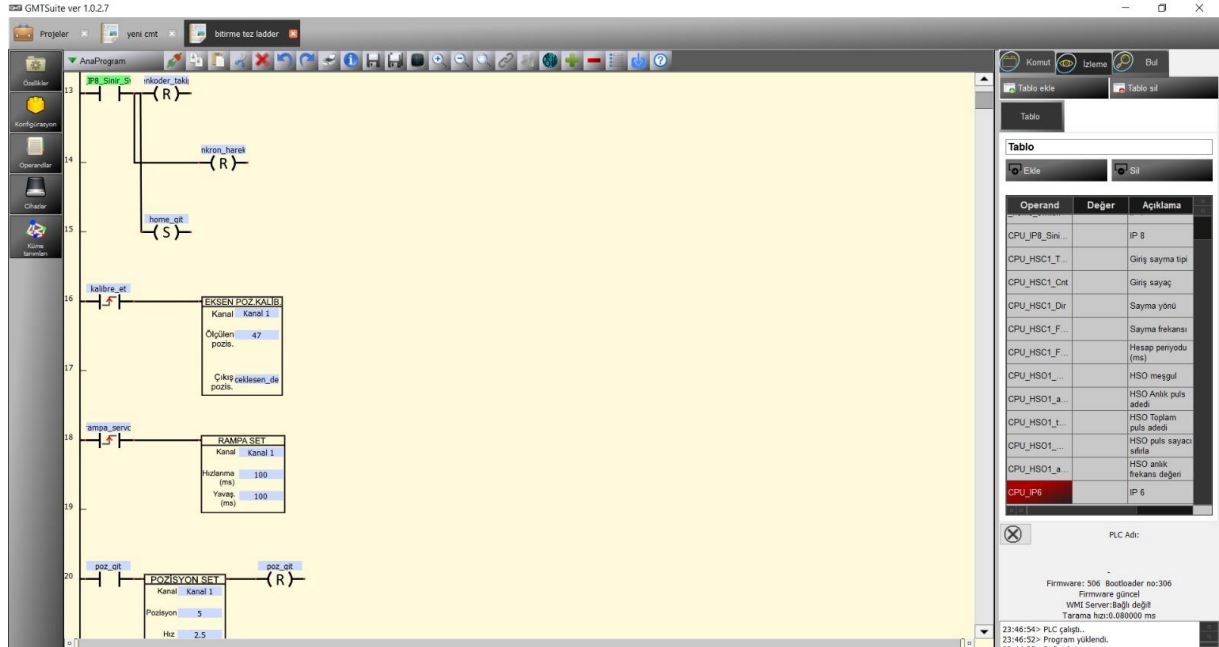


Şekil 5 Ladder Diyagram 2

13. satırda, sistemin güvenli ve sınırlandırılmış şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla, normalde açık yapıdaki limit switch kontağı Ladder diyagramına dahil edilmiştir. Bu kontağın algılanmasıyla birlikte, senkronize hareketi gerçekleştiren enkoder__takip ve senkron_hareket komutları sıfırlanarak durdurulmuştur. Böylece, limit switch'e ulaşıldığında sistemin hareketi güvenli bir şekilde sonlandırılmış olur. Aynı zamanda, markalama işlemi tamamlandıktan sonra sistemin başlangıç konumuna geri dönebilmesi için home_giri kontağı aktif hale getirilmiştir. Bu sayede her markalama döngüsü sonrası sistem otomatik olarak referans pozisyona geri dönebilmektedir.

16.satırda, servo motorun ve hareket sisteminin hassas kontrolünü sağlamak amacıyla eksen kalibrasyon bloğu kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi için sistem, başlangıçta home pozisyonunda konumlandırılmış ve ardından manuel ilerleme komutlarıyla belirli bir mesafe hareket ettirilmiştir. Bu hareketin sonucunda, lineer eksenindeki ilerleme miktarı milimetre (mm) cinsinden ölçülerek, eksen kalibrasyon bloğunda yer alan "ölçülen değer" alanına girilmiştir. Böylece PLC, ilgili mesafenin kaç pulse karşılık geldiğini otomatik olarak hesaplamış ve pozisyonlama algoritmasını bu doğrultuda yapılandırmıştır. Bu yöntem sayesinde, kullanıcıların Ladder diyagramında doğrudan mm cinsinden hedef konum girmesi mümkün hale gelmiş; böylece pulse hesabı yapmadan istenilen pozisyona yüksek doğrulukla erişim sağlanmıştır.

Algoritma Şekil 6’te gösterilmektedir.



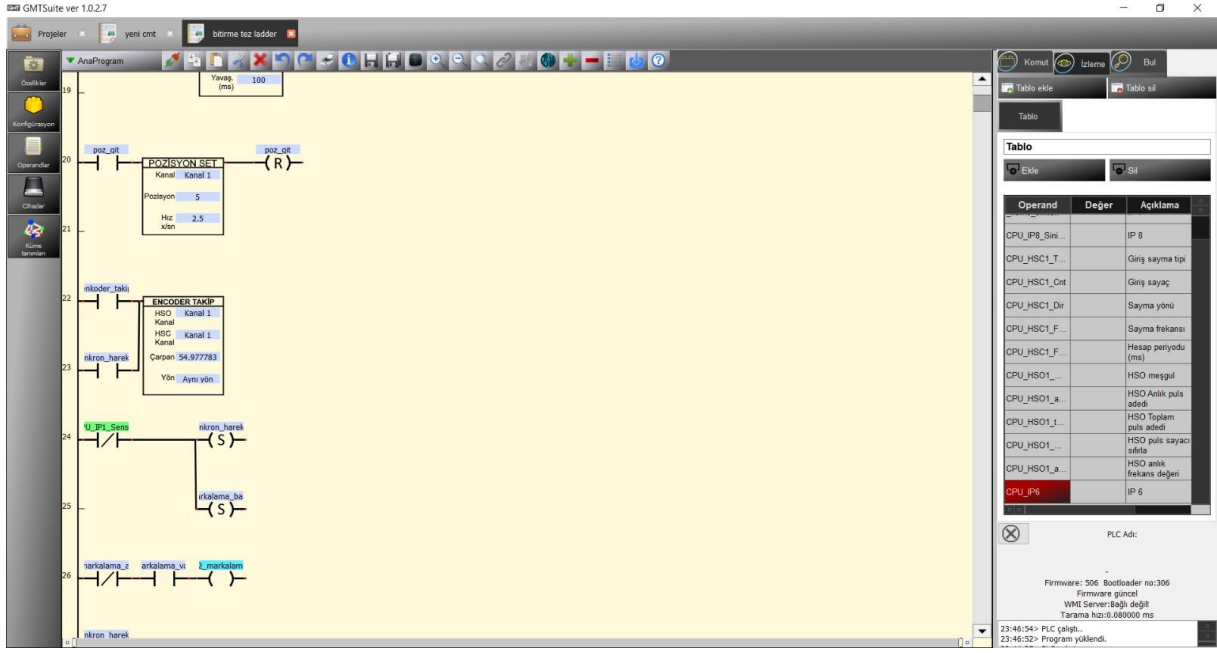
Şekil 6 Ladder Diyagram 3

20. satırda, daha önce kalibrasyonu tamamlanmış ve eksen pozisyon kalibrasyonu gerçekleştirilmiş olan sistemde, istenilen konuma belirli bir hızla (x mm/s) hareketi sağlamak amacıyla pozisyon set bloğu kullanılmıştır. Bu blok aracılığıyla, hedef pozisyon değeri milimetre (mm) cinsinden girilmiş ve hareket hızı da kullanıcı tarafından parametre olarak tanımlanmıştır. Böylece sistem, önceden tanımlanan kalibrasyon verilerine dayanarak ilgili pozisyona doğru hızda ve kontrollü şekilde ilerlemektedir. Bu yapı, hassas ve güvenilir pozisyonlama işlemleri için temel altyapıyı oluşturmuştur.

22–24. satırlarda, sistemde senkron hareketi gerçekleştirecek ana yapı oluşturulmuştur. Bu yapıda, enkoder_takip fonksiyon bloğuna, geri besleme ve çıkış bilgilerini sağlayacak olan HSC ve HSO kanalları atanmıştır. Ayrıca, bu bloğa sistemin mekanik yapısına uygun bir çarpan girilmiş ve servo motorun hareket yönü belirlenmiştir. Bu sayede, sistem istenilen senkronizasyon doğruluğunda çalışabilecek hale getirilmiştir.

Senkron hareketin başlatılması için optik sensör tarafından tetikleme alınması esas alınmıştır. Sensör tetiklemesi gerçekleştiğinde, senkron_hareket ve markalama_bas komutları set edilmiştir. Böylece sistem, optik algılama doğrultusunda senkron hareket sürecine girmekte ve uygun koşullar sağlandığında markalama işlemi gerçekleştirilmektedir.

İlgili algoritma Şekil 7’de gösterilmektedir.

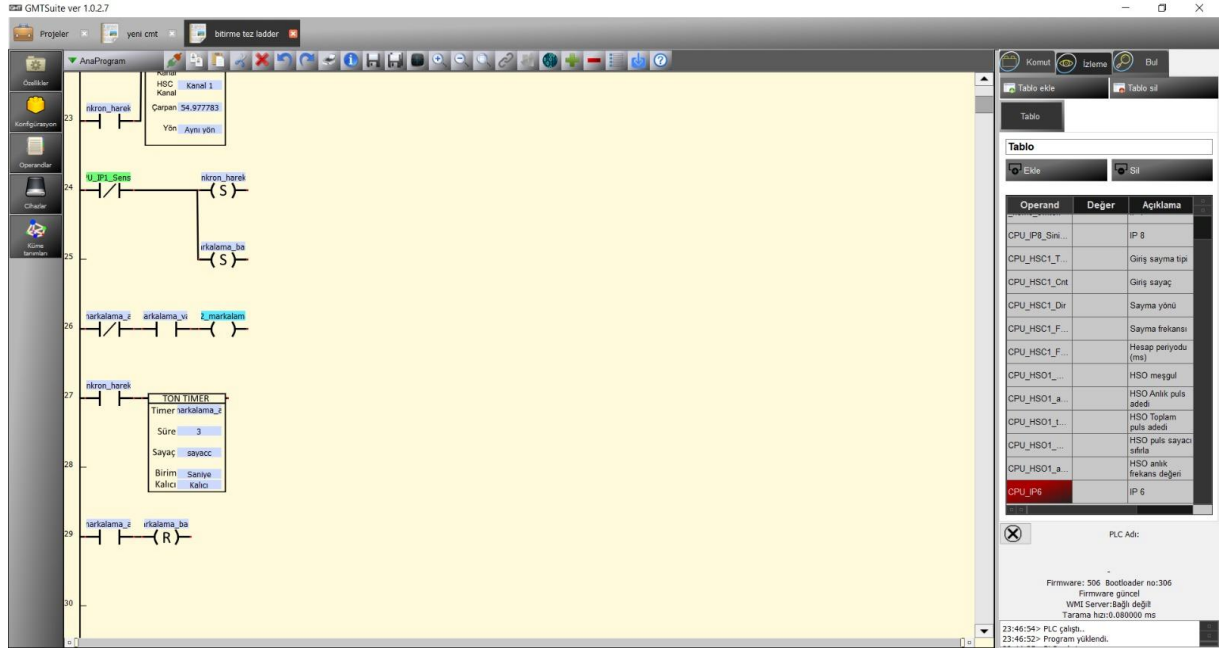


Şekil 7 Ladder Diyagram 4

26–29. satırlarda, selenoid aktüatörün markalama işlemini gerçekleştirmesi için gerekli komutlar Ladder diyagramına eklenmiştir. Selenoid aktüatör, çalıştığı anda sistemin olağan akım değerinden daha fazla akım çektiğinden, markalama işleminin gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği kullanıcı tercihi bırakılmıştır. Bu amaçla, Ladder yapısına markalama_var isimli bir kontrol kontağı eklenmiştir. Böylece kullanıcı, sistemin çalışması esnasında markalama fonksiyonunun aktif olup olmayacağını manuel olarak belirleyebilmektedir.

Selenoid aktüatör, yapı itibarıyla normalde kapalı kontak gibi davrandığından, kontrol algoritması bu özellik dikkate alınarak tasarlanmıştır. Ayrıca, sistemin senkron hareketi tamamıyla gerçekleştirdiğinden emin olunabilmesi amacıyla, markalama işlemi öncesinde belirli bir gecikme sağlamak için bir zamanlayıcı (timer) bloğu devreye alınmıştır. Bu zamanlayıcı, sistem hareketi başladıktan sonra çalışmakta ve markalama sinyalinin verilmesini belirli bir süre geciktirerek güvenli işlem yapılmasını garanti altına almaktadır.

Bahsi geçen algoritma Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8 Ladder Diyagram 5

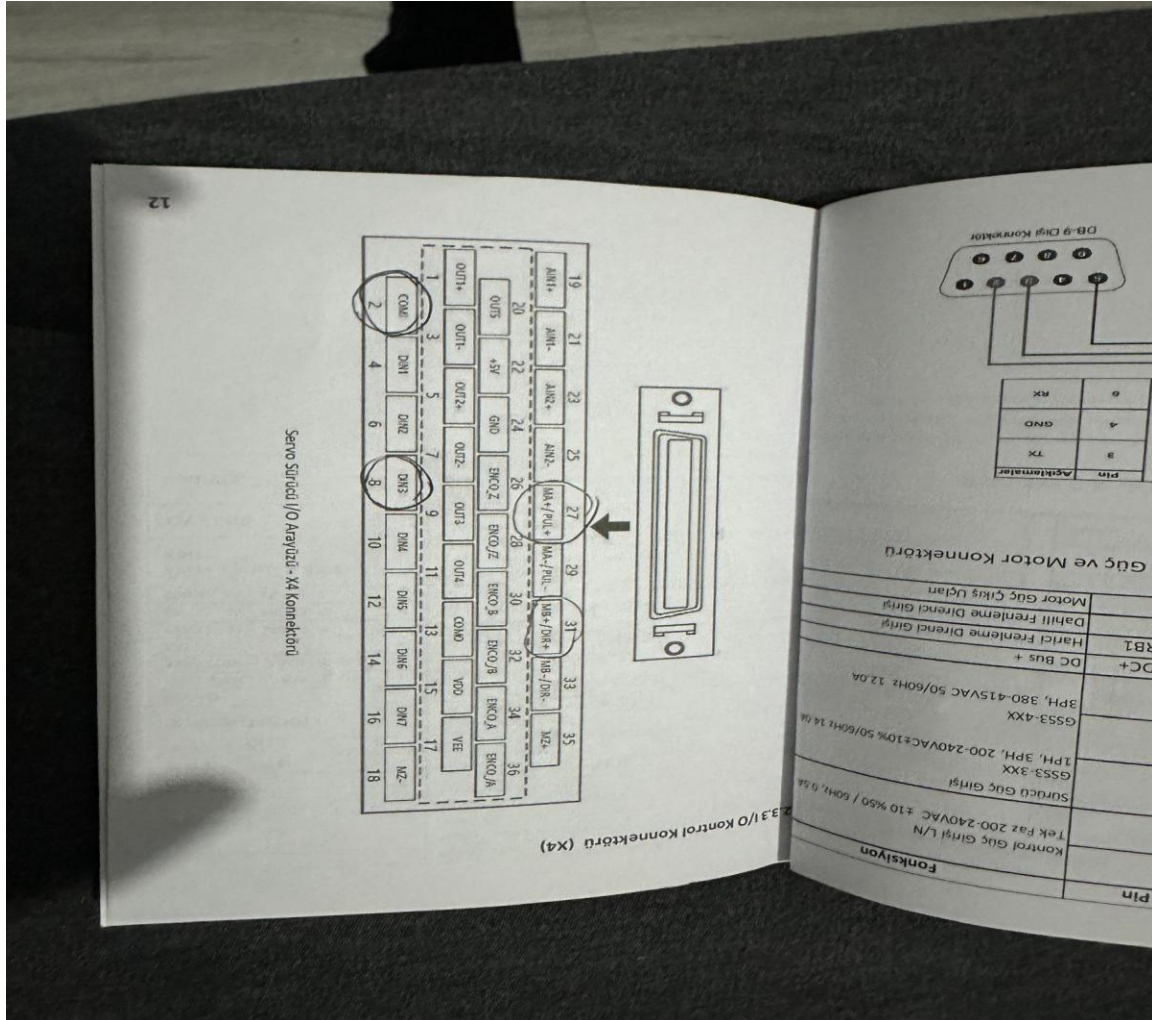
5.0 UYGULAMA VE TESTLER

Bu bölümde sistemin kurulum süreci, bileşenlerin birbiriyle entegrasyonu ve işlevsel test aşamaları detaylandırılmıştır. Uygulama süreci, elektriksel ve mekanik montaj adımlarının tamamlanması ile başlamış; sistemin tüm parçalarının senkronize şekilde çalışması sağlandıktan sonra testler gerçekleştirilmiştir.

5.1. Elektriksel Montaj

5.1.1 X4 Konnektörü Bağlantıları

İlk olarak PLC ile servo sürücü arasındaki kontrol bağlantıları X4 üzerinden gerçekleştirilmiştir. Servo motor sürücüsünün PULSE-DIR girişleri, PLC'nin yüksek hızlı çıkış pinlerine bağlanarak kontrol sinyallerinin doğru biçimde iletimi sağlanmıştır. Bu bağlantıların sayesinde servo motorun hareketi, PLC üzerinden programlanabilir hale getirilmiştir. Şekil 9'da servo sürücü I/O arayüzü, X4 konnektörü gösterilmektedir.

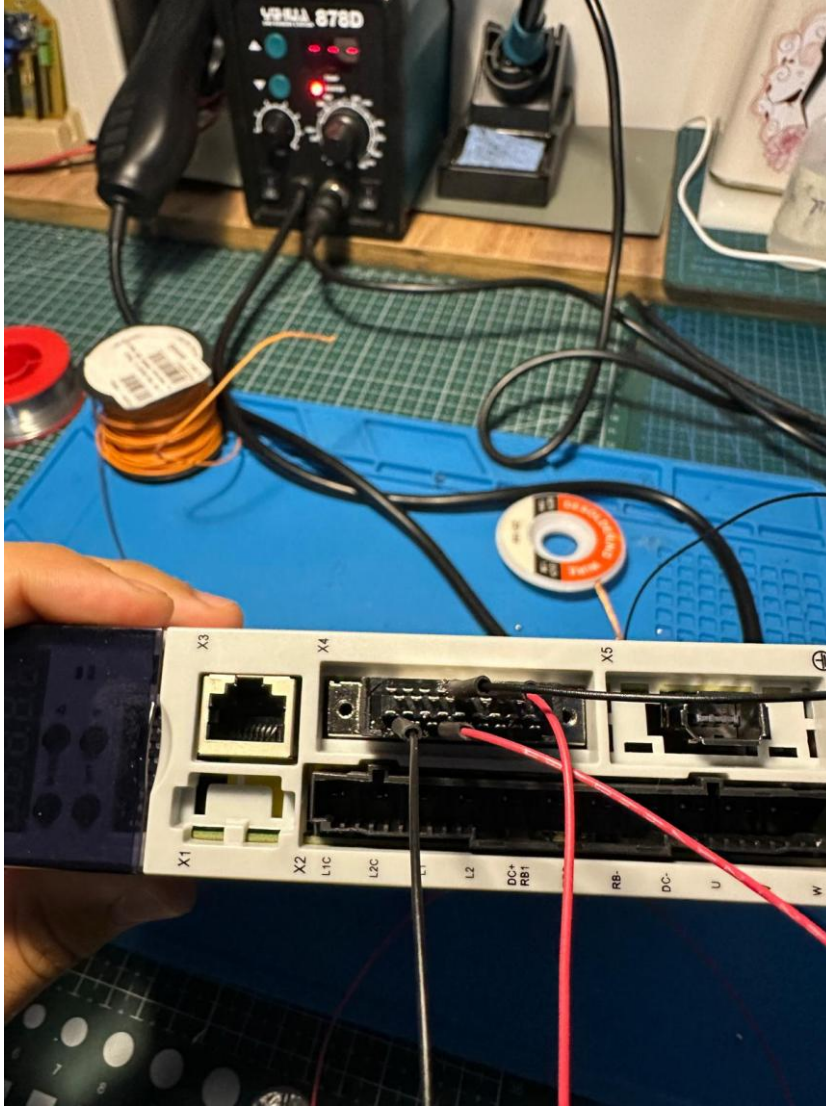


Şekil 9 Servo Sürücü I/O Arayüzü-X4 Konnektörü

Sürücü bağlantılarının gerçekleştirilmesi sırasında, kontrol sinyallerinin iletimi için X4 konnektörü kullanılmıştır. Bu konnektör üzerinde yer alan 2 numaralı pin COM, sistemde ortak

uç olarak işaretlenmiş olup 0V hattına bağlanmıştır. 8 numaralı pin, servo motorun devreye alınmasını sağlayan DIN3 girişidir ve bu pin üzerinden servo enable komutu verilmiştir.

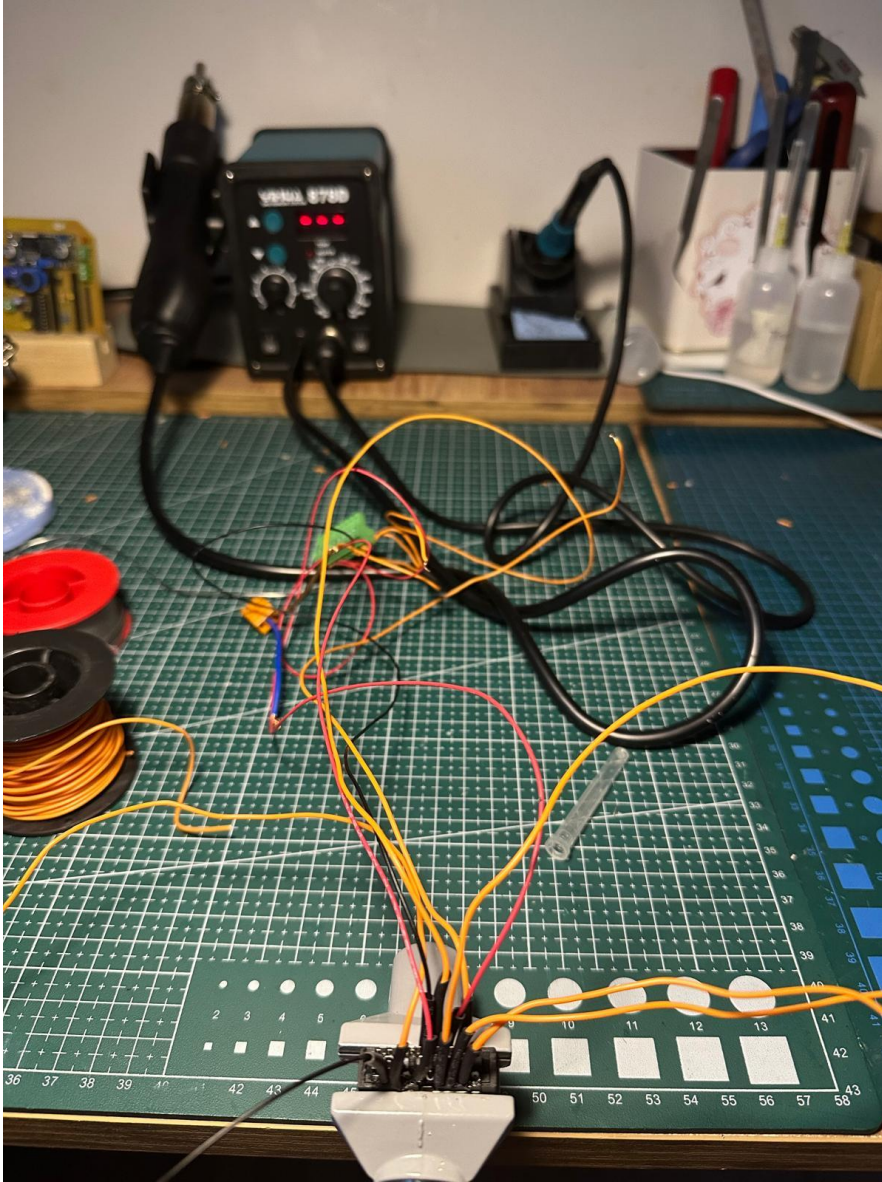
Hareket kontrol sinyallerinin aktarımı için kullanılan PULSE-DIR hatları da aynı konnektör üzerinden bağlanmıştır. 27 numaralı pin PUL+ (MA+), 31 numaralı pin ise DIR+ (MB+) olarak kullanılmıştır. Bu bağlantılar, sürücü ile PLC arasında doğrudan haberleşmeyi sağlayacak şekilde dikkatli biçimde lehimlenerek gerçekleştirilmiştir. Her bir pin bağlantısı, üretici dokümanlarına uygun olarak belirlenen fonksiyonlara göre yapılmıştır. Şekil 10'da X4 konnektör pinlerinin montajı gösterilmektedir.



Şekil 10 X4 Konnektör Pinlerinin Montajı

Montaj sürecinin devamında, PUL- ve DIR- uçları 0V referans seviyesine bağlanarak tamamlanmıştır. Bu bağlantılar, Şekil 11'de gösterilen yapıya uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sürücü üzerindeki diğer dijital girişlerden DIN1, DIN5, DIN6 ve DIN7 pinlerinin montajları da tamamlanmış, sistemin kontrol yapısı işlevsel hale getirilmiştir. Tüm sinyal hatları, bağlantı stabilitesini sağlamak amacıyla sıkı lehimleme ve uygun izolasyon kurallarına

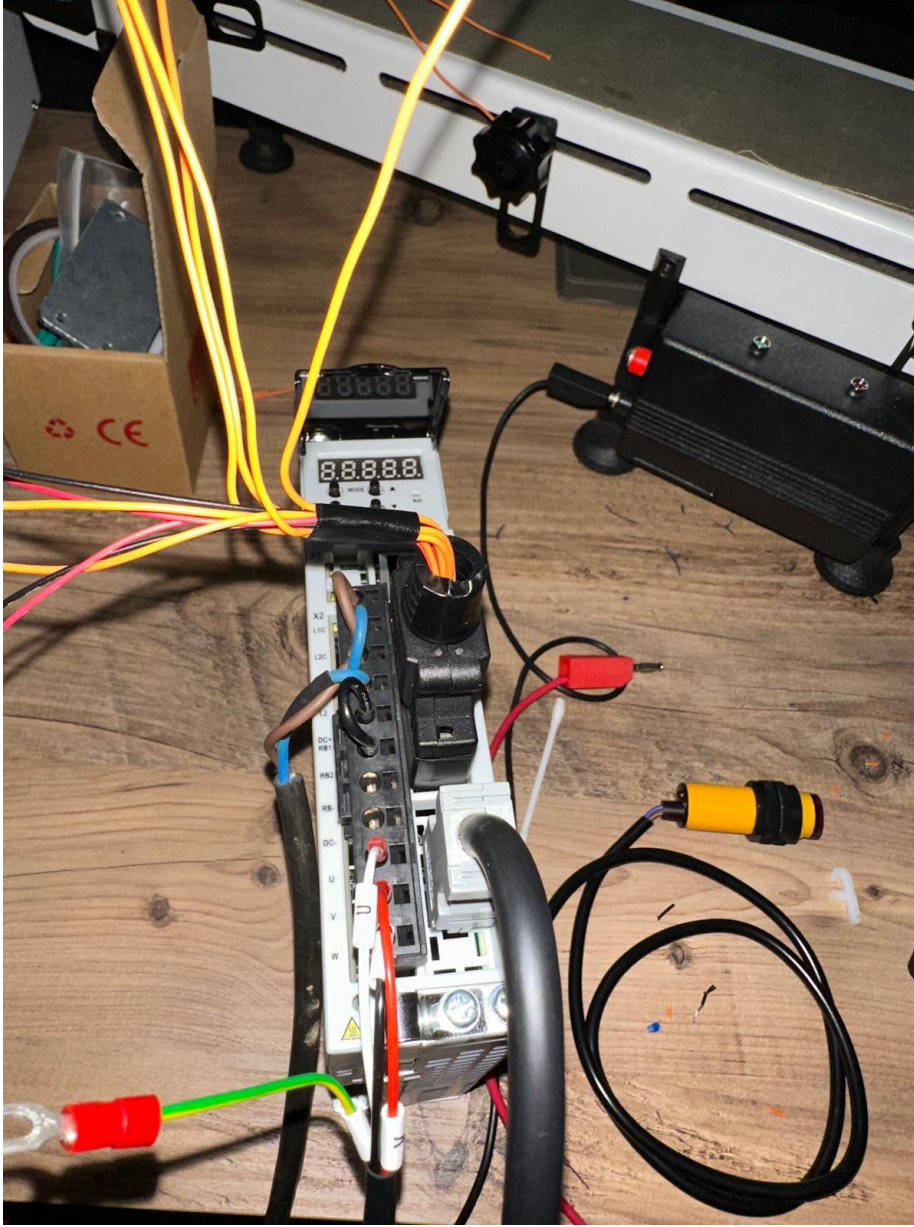
uygun olarak oluşturulmuştur. En son da kullanıma kısa devre testleri yapıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 11 DIN1, DIN5, DIN5, DIN6, DIN7; PUL-, DIR- Bağlantılarının Montajı

5.1.2 X2 Konnektörü Bağlantıları

Servo motor ile sürücü arasındaki güç bağlantıları montaj süreci içerisinde tamamlanmıştır. Şekil 12’de motorun üç faz kablosu olan U, V ve W hatları, sürücü üzerindeki X2 konnektörü üzerinden ilgili terminallere bağlandığı gösterilmektedir.



Şekil 12 U, V, W hatlarının X2 Konnektörüne Bağlantısı

5.1.3 PLC Bağlantıları

Sistemde kullanılan PLC'nin giriş birimleri, servo motorun pozisyon kontrolü, sınır kontrolü ve sensör verilerinin işlenmesi amacıyla yapılandırılmıştır. IN0 giriş ucu herhangi bir işlev için kullanılmamış olup, ilerideki geliştirme çalışmalarında yedek giriş olarak değerlendirilmeye uygundur. IN1 girişine ürünün varlığını tespit etmek amacıyla kullanılan optik sensör bağlanmıştır. Bu sensör, sistemin çalışmasını başlatan temel tetikleyicilerden biridir ve ürün geldiğinde PLC'ye sinyal göndererek işlem sürecini başlatır.

IN3, IN4 ve IN5 girişleri sırasıyla enkoderin A, B ve Z sinyallerini almaktadır. Bu girişler HSC olarak yapılandırılmış olup, servo motorun pozisyon takibi ve yön bilgisinin alınması için önemlidir. A ve B kanalları, motorun dönüş yönü ve hareket miktarının belirlenmesinde

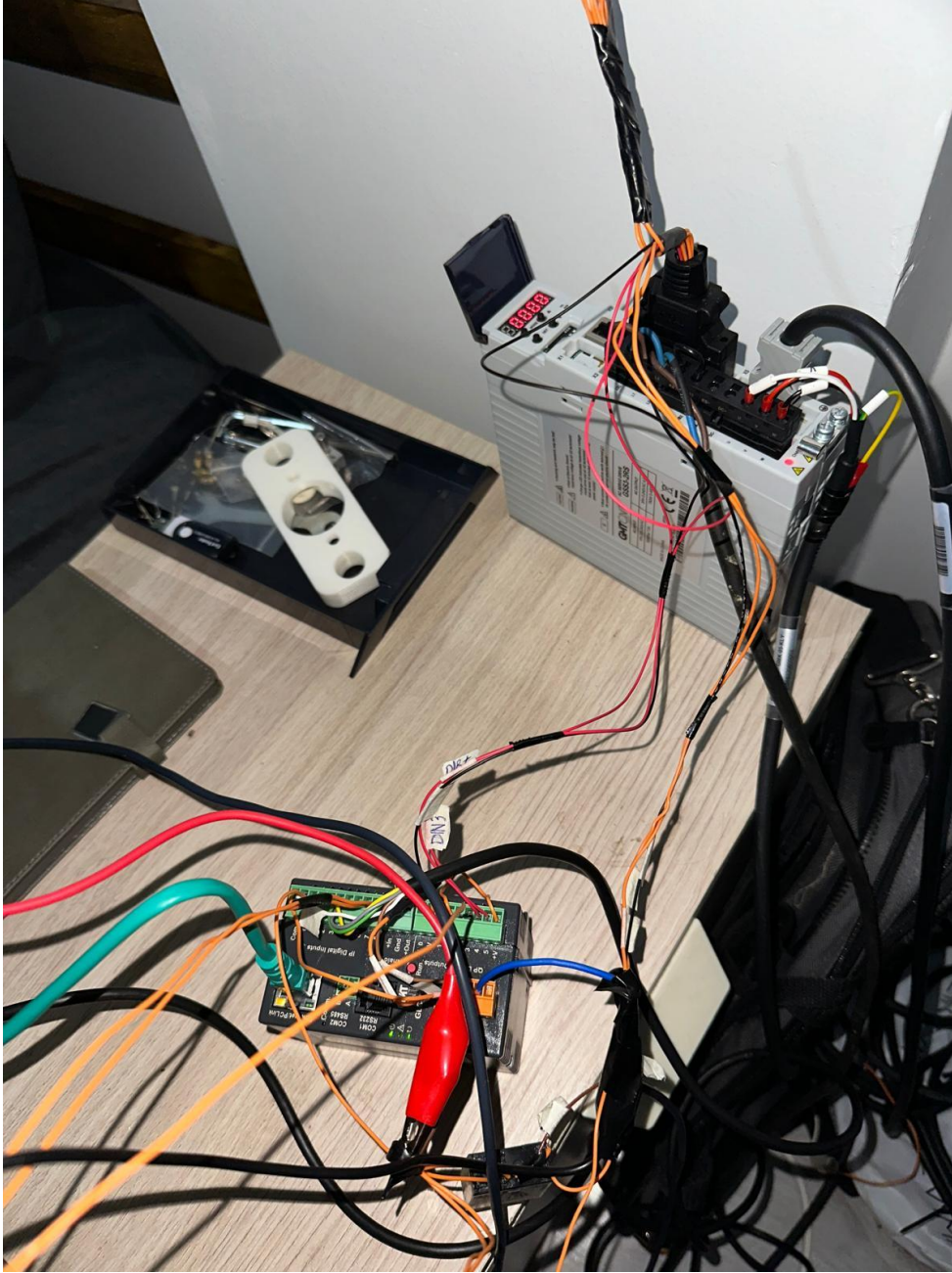
kullanılır. Bu yapı sayesinde servo motor, yüksek hassasiyetle konumlandırma işlemini gerçekleştirebilmektedir.

IP7 girişine sistemin home konumunu belirleyen limit switch bağlanmıştır. Bu anahtar, servo motorun ilk çalıştırıldığında pozisyonunu referanslamasına olanak tanır. IP8 ise hareket mekanizmasının maksimum limitini belirleyen ikinci bir limit switch'tir. Bu giriş, motorun tanımlı sınırların dışına çıkmasını önleyerek mekanik güvenliği sağlar. IB6 girişi ise şu an için boş bırakılmıştır ve ileride farklı donanım ihtiyaçları için kullanılabilir. Tüm bu girişler, PLC programında tanımlanarak servo sürücü ile sistemin senkronize çalışmasını sağlamaktadır.

PLC'nin çıkış birimleri, servo motor sürücüsüne yön ve adım sinyalleri göndermek, motoru aktif hâle getirmek ve markalama mekanizmasını tetiklemek amacıyla yapılandırılmıştır. Q0 çıkışı herhangi bir işlev için kullanılmamış olup sistemde yedek çıkış olarak bırakılmıştır. Q1 çıkışı, servo sürücüye gönderilen darbe sinyali olan PUL+ (HSO-) çıkışıdır. Bu çıkış, servo motorun ne kadar döneceğini belirleyen adım bilgilerini üretir ve yüksek hızlı çıkış özelliği sayesinde hassas konumlandırma sağlar.

Q4 çıkışı ise motorun yön bilgisini ileten DIR+ (HSO) sinyali olarak kullanılmıştır. Bu çıkış sayesinde servo motorun saat yönünde mi yoksa ters yönde mi döneceği belirlenir. Yön ve adım sinyalleri birlikte çalışarak servo motorun hassas ve kontrollü bir şekilde hareket etmesini sağlar. Q5 çıkışı, servo sürücünün DIN3 (servo enable) girişine bağlanmıştır. Bu çıkış, motorun aktif olup olmayacağını kontrol eder. PLC programı içerisinde motorun ne zaman devreye gireceği bu çıkış üzerinden belirlenmektedir.

Q2 çıkışı, sistemde kullanılan markalama motorunu kontrol etmek amacıyla yapılandırılmıştır. Bu çıkış sinyali sayesinde, ürün belirli konuma geldiğinde markalama işlemi tetiklenir. Markalama motorunun yalnızca gerekli pozisyonda devreye girmesi sağlanarak işlem senkronizasyonu korunur. Q3 çıkışı ise şu anda kullanılmamaktadır ve ileride ek fonksiyonlar için ayrılmıştır. Genel olarak çıkışlar, servo motorun çalışmasını kontrol etmek, markalama işlemini tetiklemek ve tüm hareket mekanizmasının koordineli biçimde işlemlerini sağlamak üzere yapılandırılmıştır. Şekil 13'te Servo sürücü ve PLC bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 13 Servo Sürücü ve PLC Kablo Bağlantıları

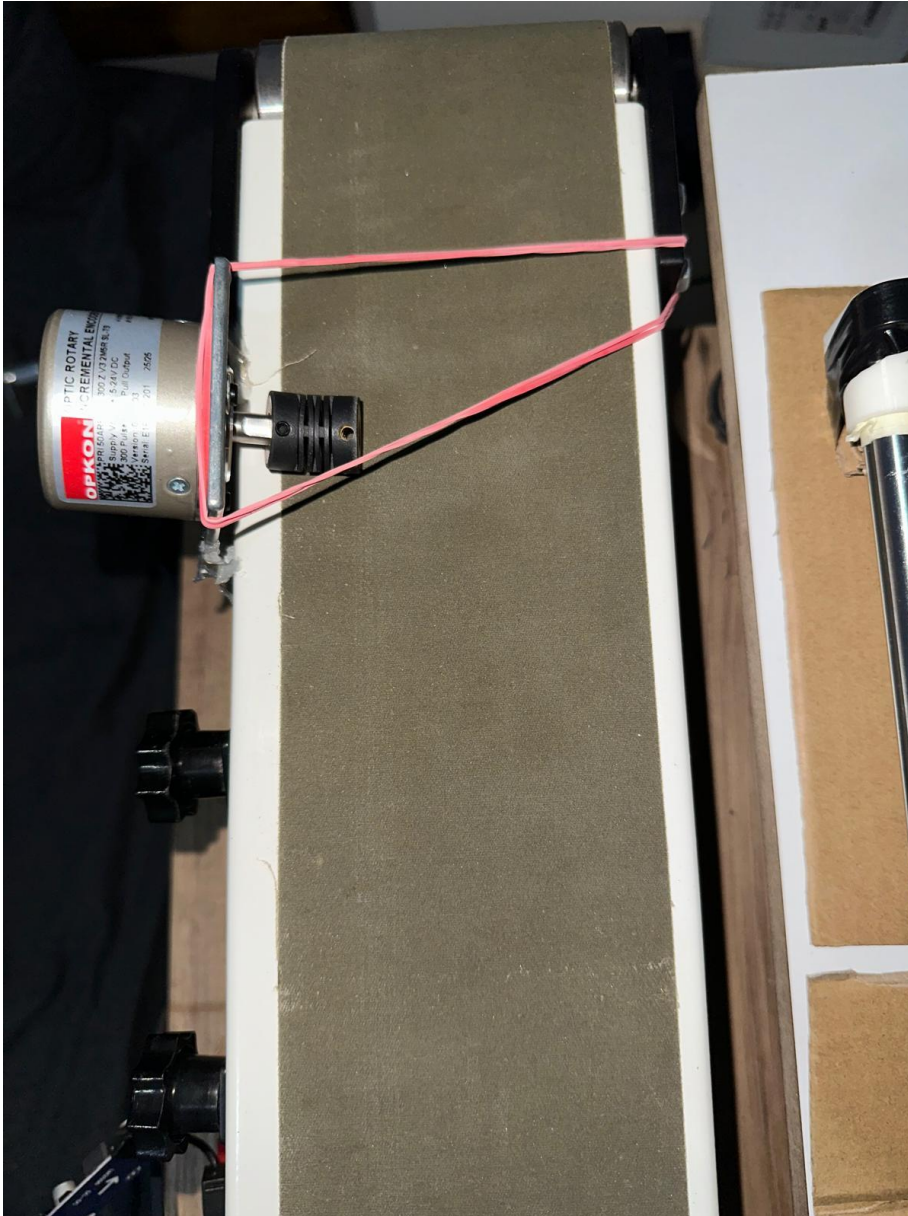
5.1.4 Encoder Bağlantıları

Sistemde servo motorun pozisyon ve yön bilgisini hassas şekilde takip edebilmek amacıyla incremental tip enkoder kullanılmıştır. Bu enkoder, A, B ve Z olmak üzere üç temel çıkış sinyali üretmektedir. A ve B kanalları, enkoderin dönüş yönü ve adım sayısını belirlemek için faz farkıyla çalışan iki kare dalga sinyali sağlar.

Enkoderin A, B ve Z çıkışları doğrudan PLC'nin HSC girişlerine bağlanmıştır. Bu sayede PLC, yüksek frekanslı sinyalleri güvenilir şekilde okuyarak gerçek zamanlı konum takibi yapabilmektedir. Bağlantı yapısı şu şekildedir:

- A Kanalı → IN3 girişine,
- B Kanalı → IN4 girişine,

Encoderin besleme hattı olarak +24VDC uygun bir kaynak kullanılmış, sinyal çıkışlarının güvenli bir şekilde iletilebilmesi için GND hattı da sistem toprağı ile ortaklanmıştır. A ve B kanalları ile elde edilen faz farkı, motorun dönüş yönünü belirlemeye olanak sağlar. Bu yapı sayesinde servo motorun hareketi, PLC tarafından hassas ve senkronize şekilde izlenebilmekte ve kontrol edilmektedir. Şekil 14'te encoderin konveyöre montajlandığı görülmektedir.



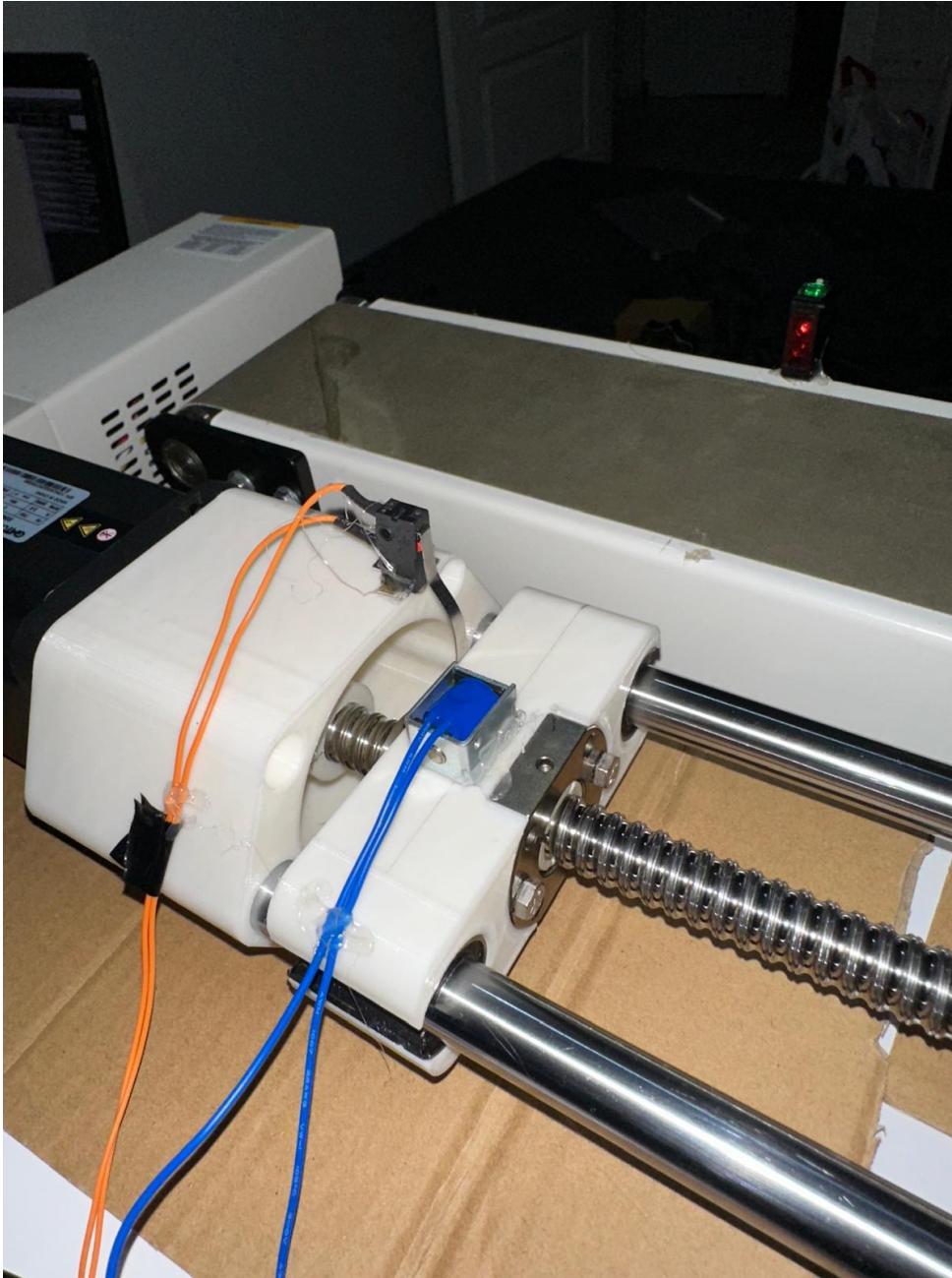
Şekil 14 Encoderin Konveyöre Montajlanması

5.1.5 Selenoid Aktüatör Entegresi

Sistemde markalama işlemi için ZYE1-0520 model 24VDC frame tipi selenoid aktüatör kullanılmıştır. Bu aktüatör, doğrusal hareket üretme kapasitesine sahip olup, elektrik enerjisi ile kısa süreli mekanik itme hareketi sağlar. Aktüatör, ürünün önceden belirlenmiş bir konuma

ulaşmasının ardından PLC tarafından tetiklenerek devreye alınmakta ve markalama mekanizmasının fiziksel temasla çalışmasını gerçekleştirmektedir.

PLC'nin Q2 çıkışı üzerinden kontrol edilen bu aktüatör, yalnızca ürün istenilen konuma geldiğinde tetiklenmektedir. Şekil 15'te markalama mekanizmasına selenoid aktüatör entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

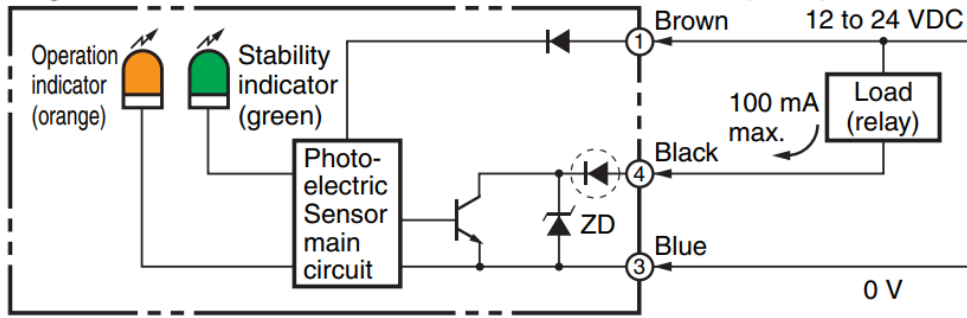


Şekil 15 Selenoid Aktüatör Entegre Edilmesi

5.1.6 Optik Sensör Bağlantısı

Sistemde ürün algılama işlemi için Omron E3Z-D62 model optik sensör kullanılmıştır. Bu sensör, cisimden yansımali tipte olup çıkış tipi olarak NPN yapıdadır. NPN sensörlerin çıkışı düşük seviyesine çektiğinden dolayı, doğrudan PLC'ye bağlandığında lojik algılama sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle sistemde sensör sinyalinin ara birim üzerinden izole etmek amacıyla arayüz olarak bir röle devresi kullanılmıştır. Bu sayede sensör çıkışı üzerinden alınan düşük seviye sinyal, röle kontağı aracılığıyla PLC girişine güvenli şekilde iletilmiştir. Şekil 16'da NPN çıkışlı modellerin sinyal davranışına yer verilmiştir.

Through-beam Model receivers and Reflective Models (except the E3Z-LS)



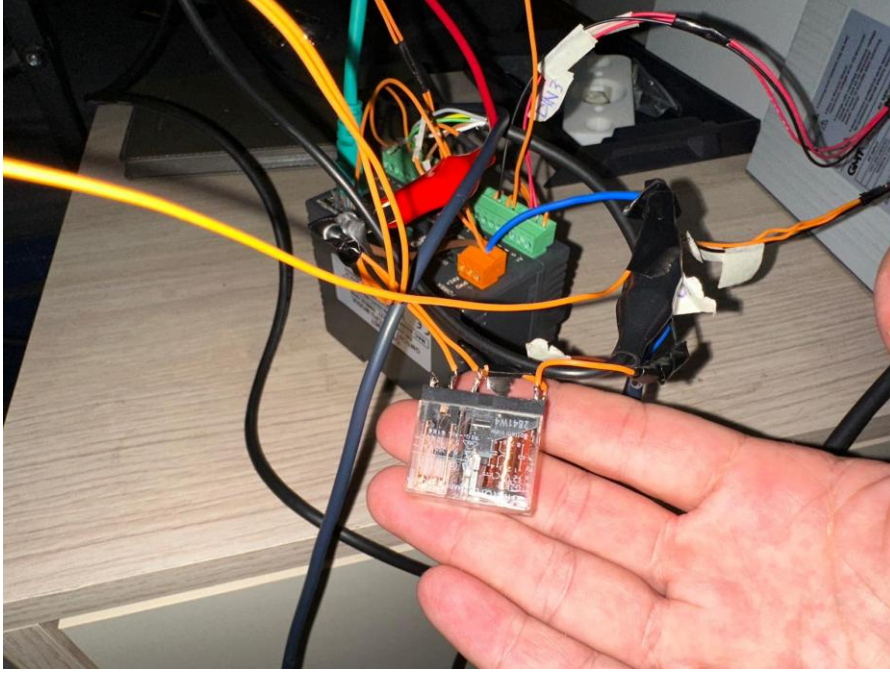
Protection for NPN output models

Şekil 16 NPN Çıkışlı Modellerde Sinyal Davranışı [8]

Sensör bağlantıları aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır:

- Kahverengi kablo, sensörün beslemesini sağlamak amacıyla doğrudan +24VDC kaynağa bağlanmıştır.
- Mavi kablo, sensörün toprak hattı olup sistemin GND noktasına bağlanmıştır.
- Siyah kablo, sensörün NPN tip çıkışı olup bu kablo röle bobinine sinyal hattı olarak bağlanmıştır.

Sensör çıkışı aktif olduğunda, siyah kablo üzerinden bobin enerjilenerek röle kontağı kapanmakta ve böylece PLC'nin IN1 girişine dijital bir sinyal ulaştırılmaktadır. Bu yapı sayesinde hem PLC'nin zarar görmesi önlenmiş hem de NPN sensör ile PLC arasında uyumlu bir kontrol mekanizması sağlanmıştır. Şekil 17'de optik sensörün PLC'ye röle yardımıyla bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 17 Optik Sensörün PLC'ye Röle Yardımıyla Bağlantısı

Şekil 18'de, konveyör hattı üzerine yerleştirilen optik sensör aracılığıyla ürün algılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sensör, ilgili pozisyonda nesneyi başarıyla tespit etmiş ve sistem tarafından algılama tamamlanmıştır.



Şekil 18 Konveyöre Optik Sensör Entegre Edilmesi

5.1.7 Limit Switch Montajı

Sensör, belirlenen algılama noktasında ürünü tespit ederek PLC'ye sinyal iletmış ve sistemin çalışma akışı bu doğrultuda başlatılmıştır. Buna ek olarak, hareketli mekanizmanın güvenli sınırlar içinde çalışmasını sağlamak amacıyla iki adet limit switch konumlandırılmıştır. Bunlardan biri sistemin referans (home) noktası, diğeri ise hareket sınırını belirleyen son konum (limit) anahtarı olarak görev yapmaktadır. Bu limit switch'ler sayesinde konumlama doğruluğu artırılmış ve mekanik güvenlik önlemleri sağlanmıştır.

5.2 Mekanik Tasarım ve Üretim Süreci

Elektriksel montajın ardından sistemin mekanik kurulumu gerçekleştirilmiştir. Projede kullanılan konveyör sistemi, okul tarafından hazır şekilde temin edilmiş olup ürün taşıma görevini üstlenmektedir. Bu sistem, bir bant mekanizmasına sahiptir ve üzerine markalama ünitesinin senkron hareketini sağlayacak taşıyıcı yapı entegre edilmiştir.

Taşıyıcı platform, doğrusal hareketi gerçekleştirebilmek için vidalı mil üzerinde ileri-geri hareket edecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu yapı sayesinde platform, ürünle aynı hızda hareket edebilmekte ve markalama işlemini ürün konumuna göre gerçekleştirebilmektedir.

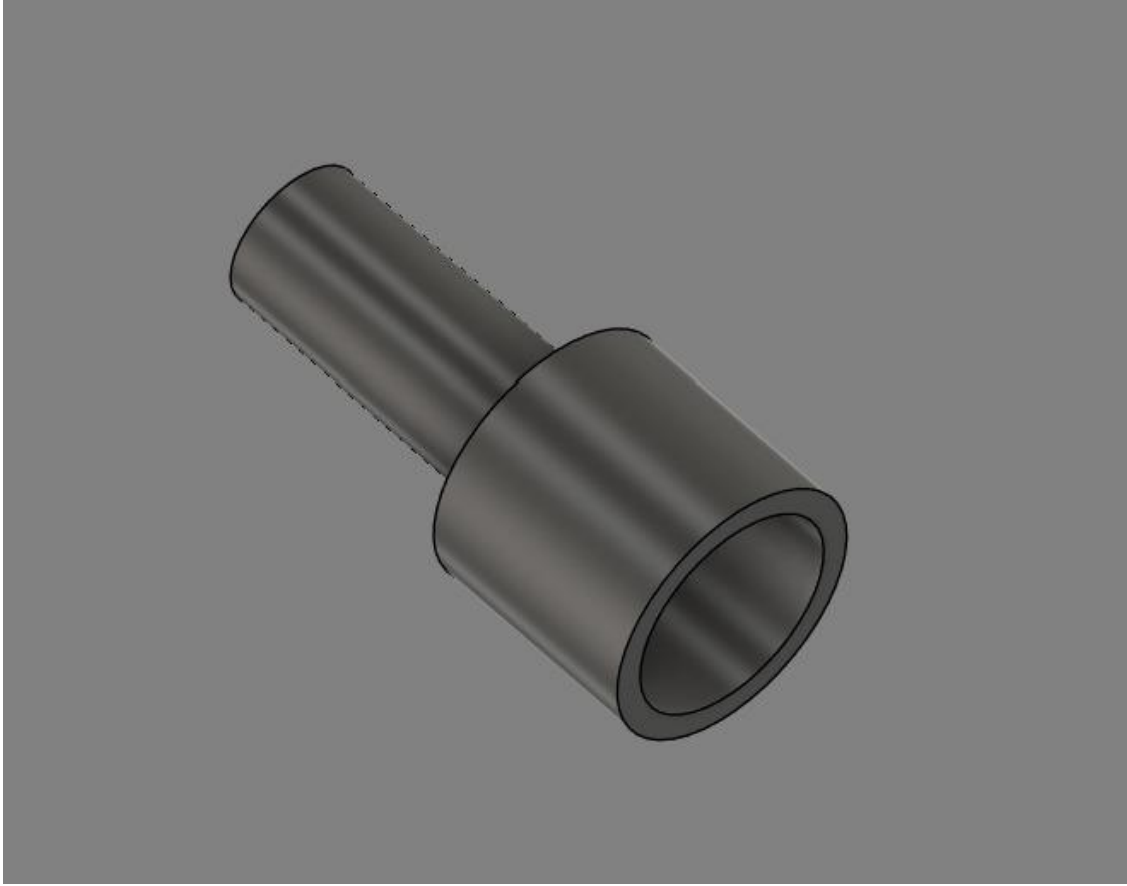
Vidalı mil sistemin montajında düşük sürtünmeli, hassas kılavuz yapılar kullanılmış ve mekanik rijitlik ön planda tutulmuştur. Lineer vidalı milin yatayda düzgün hizalanması ve bağlantı noktalarının sağlam şekilde sabitlenmesi, sistemin titreşimsiz çalışması için baskılar alınmış ve sabitlenmiştir. Tüm mekanik bağlantılar hem sistemin dayanıklılığını artırmak hem de uzun süreli çalışmalarda deformasyonu önlemek amacıyla cıvata ve flanşlı bağlantılarla sabitlenmiştir. Kurulan yapı, sistemin prototip düzeyinde test edilmesine ve ileri seviye uygulamalara açık olmasına olanak sağlamaktadır.

Sistemin mekanik yapısının oluşturulmasında ilk olarak hareketli mekanizmanın temel elemanları olan indüksiyonlu mil ve vidalı mil kalıpcıdan temin edilmiştir. Ardından, bu millerle uyumlu çalışan ve sistemdeki diğer elemanlarla bağlantıyı sağlayan özel parçalar, ihtiyaçlara göre 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir.

Üç boyutlu yazıcı ile imal edilen parçalar aşağıdaki gibidir:

Mil-Rulman Ara Parçası:

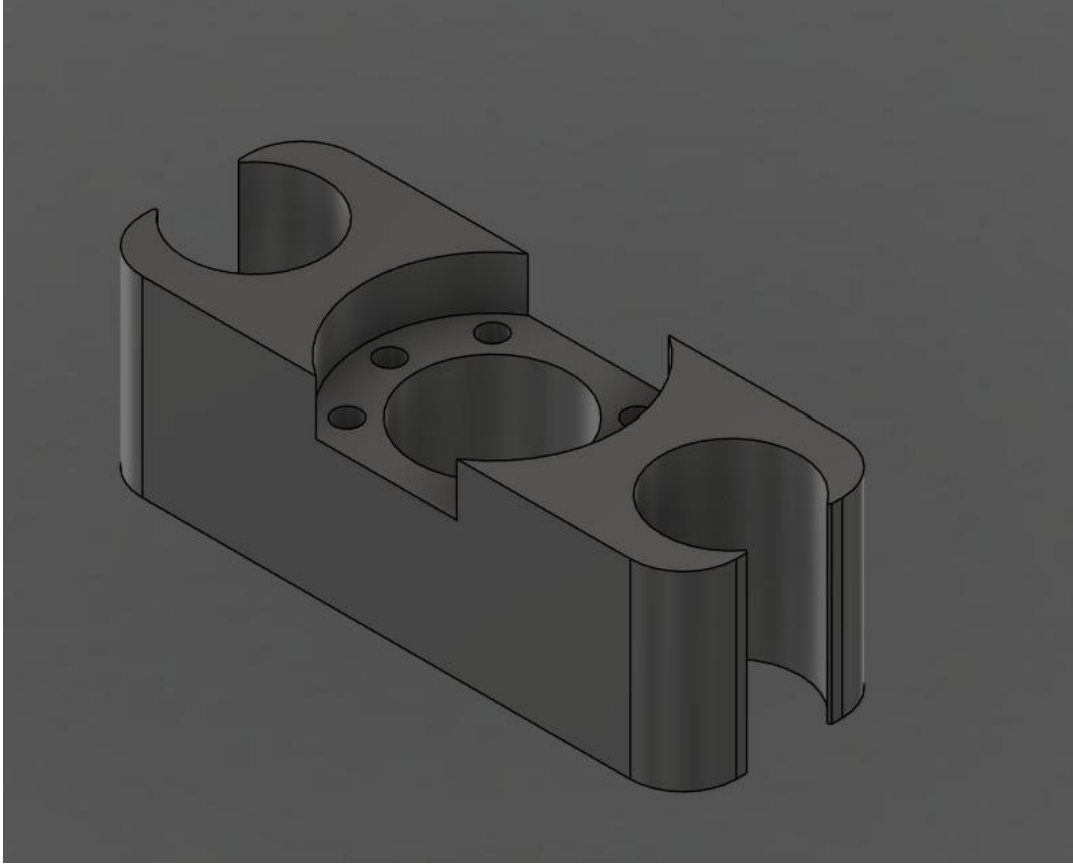
İndüksiyonlu mil ile rulman arasında geçişi sağlayan adaptör görevi görmektedir. Milin düzgün ve aksenel dönmesini sağlamak için rulmanla sıkı geçme uyumuna sahiptir. Şekil 19’da mil rulman ara parçası tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 19 Mil Rulman Ara Parçası

Tabla:

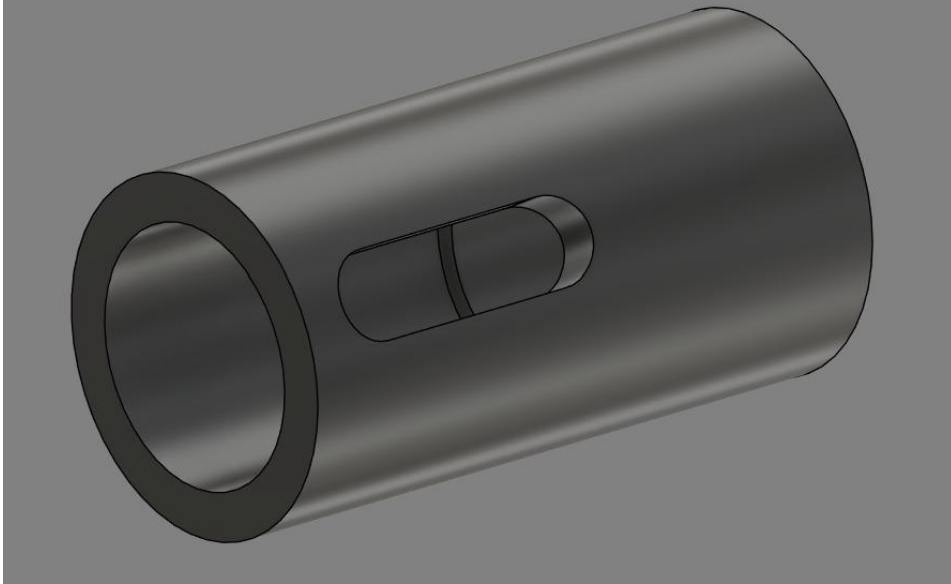
Hareketli mekanizmanın üzerinde taşınacak olan iş parçası veya aktüatör gibi elemanların monte edildiği yüzeydir. Vidalı milin dönüş hareketiyle birlikte doğrusal ilerleme sağlamaktadır. Şekil 20’de tablanın 3 boyutlu tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 20 Tabla

Mil-Servo Motor Ara Bağlantı Parçası:

Servo motorun torkunu vidalı mile güvenli bir şekilde iletmek için kullanılır. Dönme kaybı olmadan tork aktarımı sağlar. Şekil 21’de mil-servo motor ara bağlantı parçasının 3 boyutlu çizimi gösterilmektedir.



Şekil 21 Mil-Servo Motor Ara Bağlantı Parçası

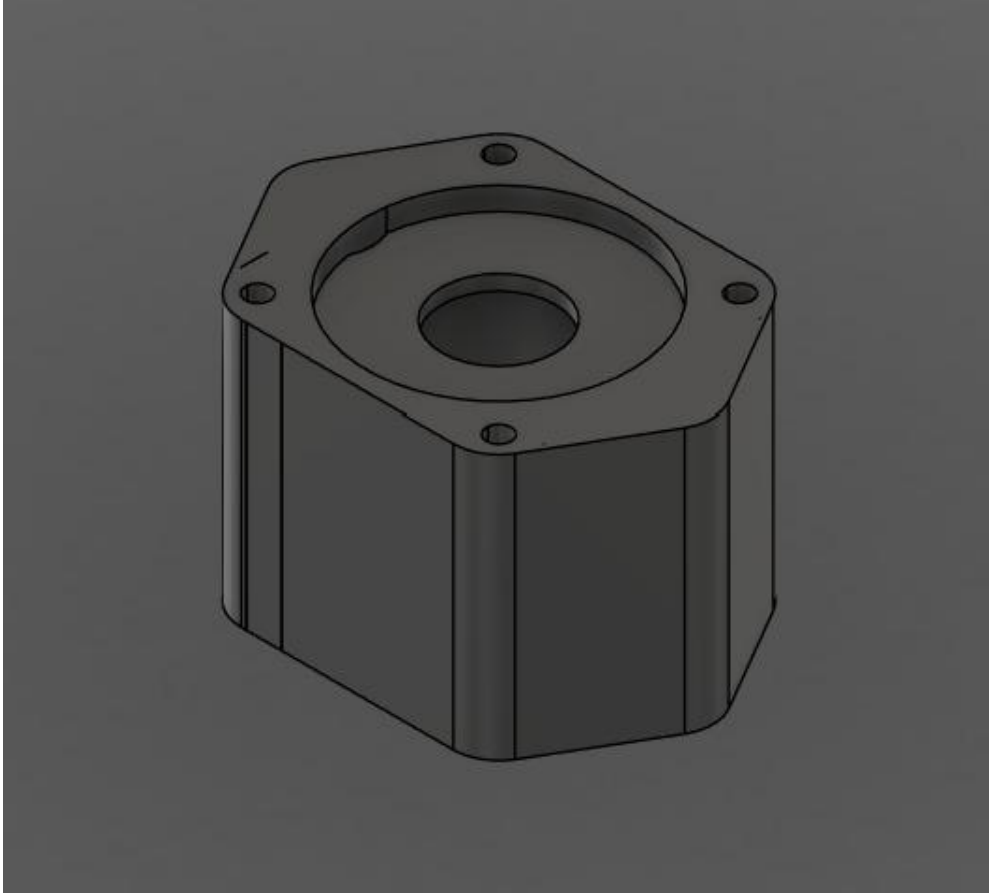
Şekil 22’de Mil-Servo motor ara bağlantı parçasının servo motora montelenmesi gösterilmektedir.



Şekil 22 Mil-Servo Motor Ara Bağlantı Parçasının Servo Motora Montelenmesi

Servo Motor Yatağı:

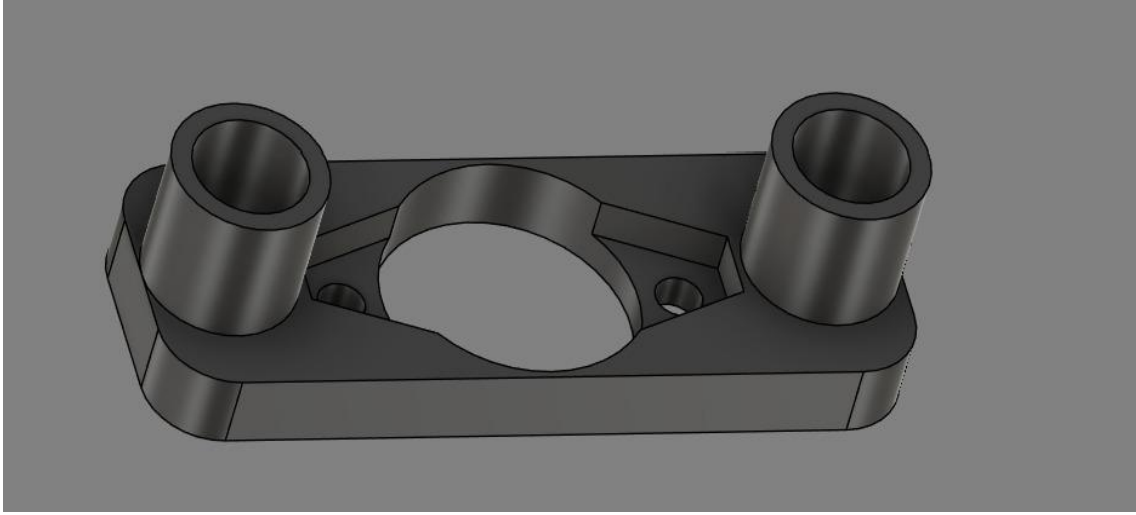
Servo motorun düzgün ve sabit bir şekilde montajını sağlamak amacıyla tasarlanmış yataktır. Sistem içerisindeki titreşimleri azaltmak ve motor eksenini doğru konumlamak için tasarlanmıştır. Şekil 23'te servo motor yatağının 3 boyutlu tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 23 Servo Motor Yatağı

Mekanik Yatak:

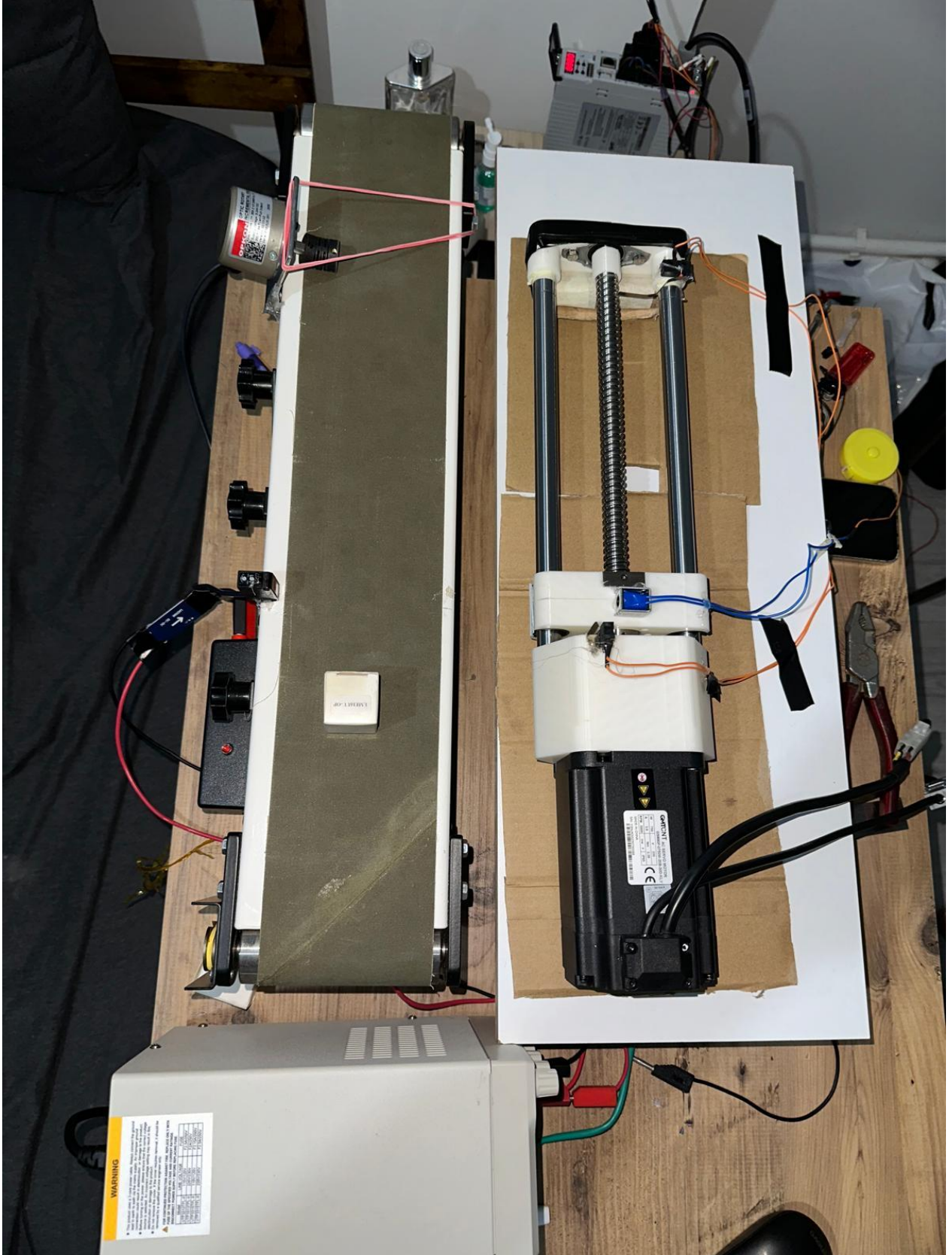
İndüksiyonlu milin doğrusal hareket boyunca yönlendirilmesini sağlayan yatak yapısıdır. Hem milin aksenal kaçıklığını önler hem de düzgün doğrusal hareketi destekler. Şekil 24’te mekanik yatağın 3 boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 24 Mekanik Yatak

Yukarıda belirtilen tüm parçalar CAD ortamında tasarlanarak ihtiyaca özel olarak şekillendirilmiş ve üretimi tamamlandıktan sonra sistem üzerine monte edilmiştir. Bu parçalar sayesinde mekanik yapı, hareket hassasiyeti, sağlamlık ve montaj kolaylığı bakımından tasarlanmıştır.

Şekil 25’te görüldüğü üzere, sistemin elektriksel ve mekanik montaj işlemleri tamamlandıktan sonra, servo motor ile markalama ünitesinin senkronize hareketi başarıyla gerçekleştirilmiştir. PLC üzerinden kontrol edilen servo motor, belirlenen konumlara hassas bir şekilde hareket etmiş; ürün algılandığında ise markalama ünitesi zamanlama açısından gecikmesiz şekilde devreye girmiştir. Böylece servo motor hareketi ile markalama işlemi arasında gerekli olan eşzamanlılık sağlanmış ve sistem, uygulama senaryosuna uygun biçimde çalışır hâle getirilmiştir.



Şekil 25 Konveyör ve Servo Motorun Senkron Hareketi

6.0 SONUÇ

Bu projede, üretim hattında hareket halindeki ürünlere durmaksızın markalama yapabilen bir otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem, ürün konumunu encoder ile gerçek zamanlı olarak izleyen, bu bilgiye göre servo motoru senkron biçimde kontrol eden ve PLC üzerinden tüm süreci yöneten bir yapıdadır. Geliştirilen prototip, endüstriyel uygulamalarda kullanılan “uçan sistem” mantığını temel alarak senkron markalama işlemini başarıyla gerçekleştirmiştir.

Projenin başlangıcında hedeflenen teknik gereksinimler büyük ölçüde karşılanmış; sistem hem yazılımsal hem donanımsal açıdan bütünlükli olarak çalışır hale getirilmiştir. Yaşanan PLC uyumsuzlukları, sinyal bozulmaları ve senkron gecikmeler gibi problemler mühendislik çözüm süreçleriyle aşılmış, nihayetinde sistem kararlı ve güvenli şekilde çalışır duruma getirilmiştir.

Bu çalışma, gerçek zamanlı kontrol, haberleşme altyapısı, servo motor sürüşü ve geri besleme sistemleri konularında uygulamalı bir mühendislik deneyimi sunmuş; özellikle PLC tabanlı senkron hareket sistemlerinin tasarımı konusunda önemli kazanımlar sağlamıştır.

7.0 KAYNAKLAR

- [1] <https://www.scribd.com/document/516687021/abb-flying-shear-AN00245-Flying-Shear-PLCopen-motion-Rev-A-EN> (12.03.2025).
- [2] https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/870056/Le%20Quang_Duc.pdf?sequence=.
(29.03.2029)
- [3] https://www.researchgate.net/publication/228670939_Conveyor_visual_tracking_using_robot_vision (25.04.2025).
- [4] https://gmtcontrol.com/wp-content/uploads/2022/04/GLC_TR.pdf. (01.07.2025)
- [5] <https://gmtcontrol.com/portfolio-item/gsm80f-0750w-20b-30d-kly/> (01.07.2025)
- [6] <https://www.opkon.com.tr/Content/product/pdf/pdf-96f78fe7.pdf> (05.07.2025)
- [7] <https://mall.industry.siemens.com/mall/tr/tr/Catalog/Product/6ES7212-1BE40-0XB0>
(05.07.2025)
- [8]
https://files.omron.eu/downloads/latest/datasheet/en/e3z_compact_photoelectric_sensor_with_built-in_amplifier_datasheet_en.pdf?v=2 (06.07.2025)