

AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 025201 (380-394)

AKU J. Sci. Eng. 23 (2023) 025201 (380-394)

DOI: 10.35414/akufemubid.1121652

Araştırma Makalesi / Research Article

## Dört Eksen Adım Motor Konum Denetimli Üretim Süreci Tasarımı: Deney Seti Donanımı, Yazılımı ve Uygulaması

Burcu KESKİN<sup>1\*</sup>, İlyas EMİNOĞLU<sup>2</sup><sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 55200, Samsun, Türkiye<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 55200, Samsun, Türkiye

Sorumlu yazar e-posta: burcu.keskin@omu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1186-1220>

e-posta: ilyase@omu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4143-1395>

Geliş Tarihi: 26.05.2022

Kabul Tarihi: 02.03.2023

### Öz

Uygulamalı eğitim, mühendislik öğrencilerinin gerçek bir sorunla karşı karşıya kaldıklarında problemlere çözüm getirebilme kabiliyeti kazandırmaktadır. 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. Bu çalışmada eğitim setinin konum/pozisyon denetimi PLC kullanılarak yapılmıştır. 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, merdiven diyagramına çevirme ve konum/pozisyon denetimi hakkında deneyim kazanmalarını sağlayacaktır. Böylece eğitim seti kontrol sistemleri laboratuvarında öğrenim gören öğrencilerin birinci elden uygulamalı deneyim edinmelerine katkıda bulunacaktır.

### Anahtar kelimeler

Eğitim seti; Adım motor; Hareket denetimi; PLC; Tasarım

## Four-Axis Stepper Motor Position Controlled Manufacturing Process Design: Hardware, Software and Application

### Abstract

Hands-on training gives engineering students the ability to find solutions when faced with a real problem. In addition to theoretical courses offered in Control Systems branch of the Electrical and Electronics Engineering department, education should 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). In this study, the training set was controlled by using PLC. 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, PLC programming, position control. As a result, the training set will contribute to the students' hands-on experience in the control systems laboratory.

### Keywords

Training setup; Step motor; Motion Control; PLC; Servo controlled process; Design

## 1. Giriş

Mühendislik eğitiminde verilen teorik bilginin faydası ve kalıcılığı için uygulamaların kullanımı oldukça önemlidir. Uygulamalar sayesinde kazanılacak olan pratik deneyim, öğrencilere simülasyon veya fiziksel test donanımı gibi yöntemlerle sunulabilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan deney setlerinin kullanımı, eğitim açısından önemli bir katkı sağlamaktadır (Freeman *et al.* 2014, Kheir *et al.* 1996). Kontrol sistemleri eğitimi için bazı ticari firmalar, adım ve servo motor eğitim setleri tasarlayarak imal etmektedirler. Bunlardan biri, muhtelif eğitim setlerinin yanında adım motoru eğitim setleri de üreten bir Avrupalı firmadır (Int Kyn. 1). Kuzey Amerikalı başka bir firmanın ise kontrol, robotik uygulamaları için servo modülleri bulunmaktadır. Aynı zamanda bu firma kendi sistemlerinin sayısal ikizlerini çıkararak sanal laboratuvar çözümleri sunmaktadır (Int Kyn. 2). Farklı bir Kuzey Amerikalı firma ise, akademik ve endüstriyel alanda kontrol sistemleri eğitimi için ekipmanlar sağlamaktadır (Int Kyn. 3). 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 (Int Kyn. 4). 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 (Int Kyn. 5). Yerli bazı firmalar da kontrol sistemleri eğitimi için PLC ile denetlenen adım ve servo motor eğitim setleri tasarlamakta ve imal etmektedir (Int Kyn. 6, Int Kyn. 7).

Akademik çalışmalarda adım ve servo motor eğitimine katkı sağlamak amacıyla farklı deney seti tasarımları yayınlanmıştır. 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 and 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 *et al.* 2016). Araştırma ve eğitim açısından tasarlanan bu cihazdaki adım motoru mikroişlemci kullanılarak denetlenmiştir. Awad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise adım motorlarının kullanıldığı başka bir alan olan güneş takip sistemi, PLC ve mikrodenetleyici kullanılarak denetlenmiştir (Awad *et al.* 2019). Peng ve arkadaşları adım motorları ve PLC kullanarak, malzeme taşıyan mobil bir robot tasarımı ve denetimini gerçekleştirmişlerdir (Peng *et al.* 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 *et al.* 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 (Cernohorsky and Richter 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 çıkıntılarının nasıl şekillendiği deneysel olarak gösterilmiştir (Irmak *et al.* 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 *et al.* 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.

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 uyarılması 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 ayırık 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 işlemleri yapabilecek kabiliyette çok eksenli ( karmaşık) üretim sürecini temsil eden konum/pozisyon denetimli bir deney seti robotik uygulamaları eğitimine büyük katkı sağlayacağı düşünülerek tasarlanmıştır.

Bu çalışmadaki deney seti dört adım motoru, motor sürücülerini, güç kaynakları, optik sensörler, sınır anahtarları, acil durdurma butonu, klemens, endüstriyel tip fiş, iki adet hareketli kablo kanalı, iki adet vidalı mil, mikrodenetleyici içeren çok amaçlı denetim kartı ve hoparlörlerden oluşmaktadır. Set üstünde bulunan mikrodenetleyici içeren çok amaçlı denetim kartı öğrencilere set hakkında sesli ve yazılı olarak bilgi vermek ve sistemi denetlemek amacıyla dahili olarak bulunmaktadır. Düzenekte adım motorları PLC (veya mikrodenetleyici) ile denetlenmektedir. Kontrol ve Kumanda bölümü dersleri için Siemens S7-1200 serisi PLC'ler kullanıldığından, bu düzenekte bu model PLC tercih edilmiştir. Harici olarak kullanılan PLC ile eğitim setinde konum/pozisyon denetiminin nasıl

gerçekleştirileceği öğrencilere aktarılacaktır. Düzenek eğitim sürecinde kullanılırken öncelikle öğrencilere, düzenekle ilgili gerekli bilgiler aktarılacak ve ilk uygulama gösterimi yapılacaktır. Daha sonra uygulaması yapılan konum/pozisyon denetimini, öğrencilerin uygulamalı olarak kendilerinin gerçekleştirmesi istenecektir. Böylelikle düzenek sayesinde derste kazanılan teorik bilginin pratiğe aktarılması sağlanacaktır.

Bu makale giriş, sistem tasarımı ve kontrolü hakkında bilgi veren materyal ve metot, bulgular ve tartışma ile sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

## **2. Materyal ve Metot**

Hareket denetiminde genellikle AC servo motorlar tercih edilmektedir fakat bu tip motorların fiyatları adım motorlara göre nispeten daha yüksektir. Şekil 1'de servo motor, adım motor, DC motor ve sürücülerini sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 2'de servo motor ve adım motorlarıyla oluşturulan birkaç ticari eğitim seti gösterilmiştir. Şekil 2.b, Şekil 2.c ve Şekil 2.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 2.a ise bir üretim sürecini temsil eden bir eğitim setidir. Bu set ise tek eksen konum denetiminin adım motoruyla yapıldığı bir servo uygulamasıdır.



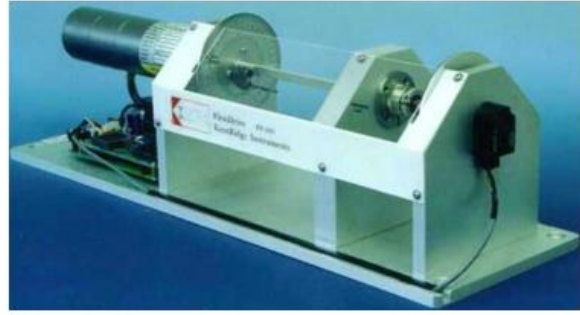
**Şekil 1.** Servo, adım, doğru akım motorları ve sürücülerini

### **2.1 Eğitim setinin donanımsal tasarımı**

Eğitim seti Çizelge 1'de verilen elemanlardan oluşmaktadır. Malzemelerin maliyeti yaklaşık 850\$ civarındadır. Adım motor setine ait; disk, eyleyici ve sensör kalıpları üç boyutlu yazıcı kullanılarak imal edilmişlerdir. Üç boyutlu yazıcıda basılan ürünlerde plastik malzeme kullanılmıştır. Şekil 3 üç boyutlu imalat çizimleri görülmektedir. Şekil 4 üç boyutlu çizimlerin baskıları verilmiştir.



a)



b)



c)



d)

## Şekil 2. Servo ve adım motor eğitim setleri

Şekil 5’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), bağlantılar için kablolama ve klemensler, 3B yazıcıdan basılmış olan muhtelif ürünlerden oluşmaktadır. 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 sıkımayı temsil eden eyleyiciye güç aktarmaktadır. M4 motoru ve eyleyici, ikinci vidalı milin arabasında bulunmaktadır.



**Şekil 3.** Eğitim seti üç boyutlu imalat çizimleri

**Çizelge 1.** Eğitim setinde kullanılan eleman listesi

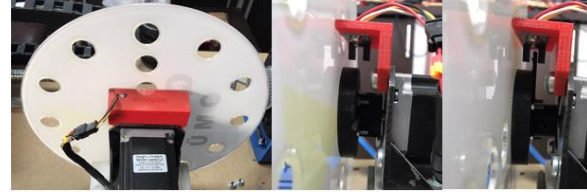
Ürün	Adet	Fiyat (\$)
Nema 23 adım motoru	2	47
Nema 34 adım motoru	2	169
Microstep sürücüsü	2	30
CWD556 sürücü	2	118
Mean Well LRS-350-36-KO güç kaynağı	2	74,36
Helios S-35-12 güç kaynağı	1	8,31
Optik sensör	6	4,6
Sınır anahtarı	4	2,6
Acil durdurma butonu	1	1,95
Klemens	2	4,55
Endüstriyel tip fiş	1	16,25
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
3B 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
Mikroişlemci bölmesi	1	30
Hoparlör	2	16,25
İkaz lambası	1	13

Sistemin yeniden kurulumunun yapılabilmesi ve bağlantılarda kopukluk gibi oluşabilecek çeşitli hataları önlemek için E-Plan üzerinden sistemin elektriksel bağlantı şeması çıkarılmıştır. Ek’de E-Plan projesi gösterilmiştir.

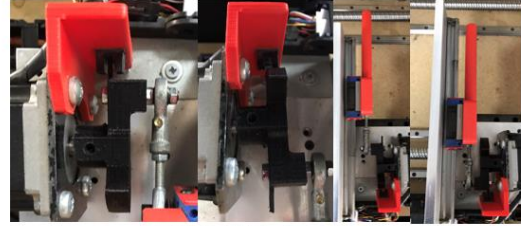
**2.2 Sistem donanımı**

Eğitim setinde dört adet adım motor bulunmaktadır. Çizelge 1’den de görüldüğü gibi iki tip Nema adım motoru kullanılmıştır. Vidalı milleri hareket ettiren motorlar daha fazla torka ihtiyaç duyduğundan Nema 34 motorları kullanılmıştır. Disk ve eyleyicinin

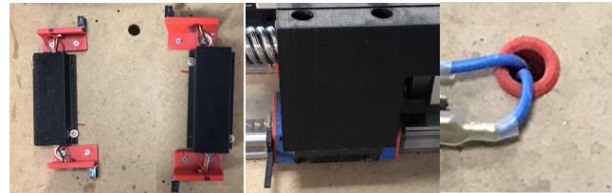
(döner hareket ileri geri harekete çeviren mekanik parça) daha az torka ihtiyacı olduğu için Nema 23’ler kullanılmıştır.



a)Disk 3D baskı parçaları



b)Eyleyici 3D baskı parçaları



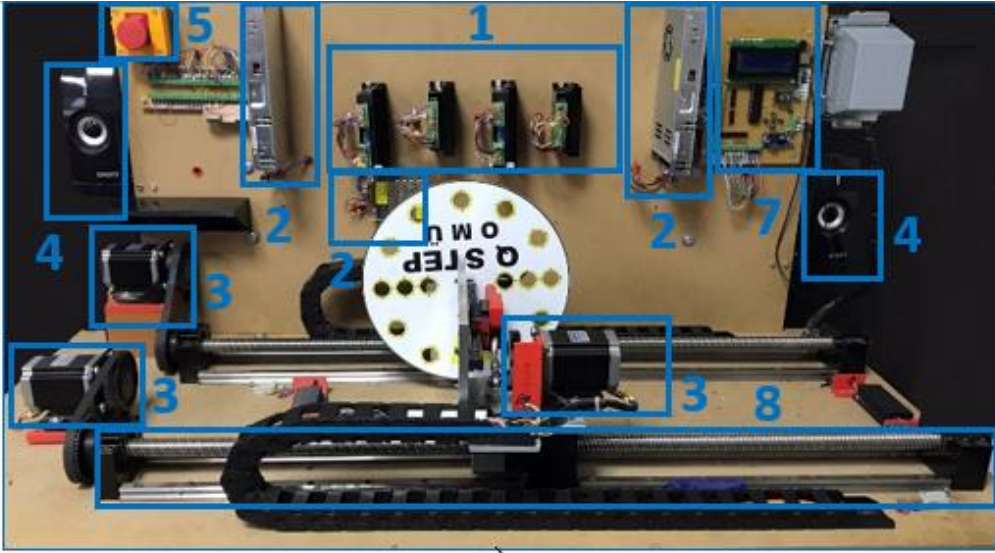
c)Taban sensör 3D baskı parçaları

d)Taban tabla 3D baskısı

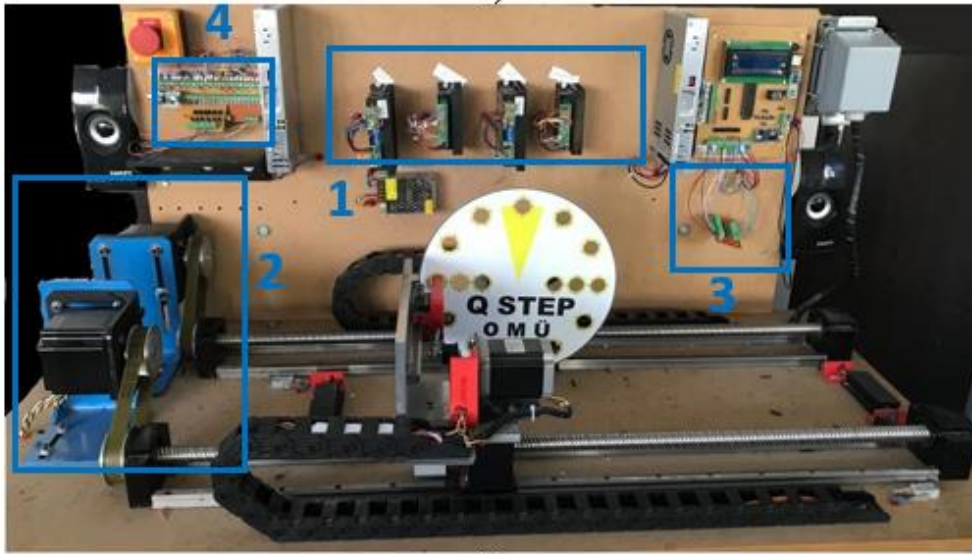
e)Rekor 3D baskısı

**Şekil 4.** Eğitim seti üç boyutlu imalat çizim baskıları

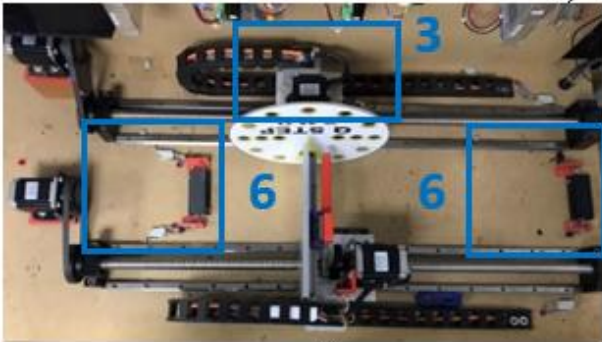
Adım motorları süren sürücüler motorlara uygun sürücüler seçilmiştir. Nema 34 motoruna uygun akım verebilecek CWD556 sürücüsü, Nema 23 motoruna uygun Microstep sürücüsü tercih edilmiştir. Nema adım motorunun CWD556 sürücüsüne ve denetleyiciye bağlantısı Şekil 6’da gösterildiği gibidir. Burada adım motor ve sürücü bağlantısı için Şekil 7’de gösterilen bağlantı şekillerinden paralel bağlantı yapısı seçilmiştir. Bunun nedeni ise yüksek hız istenmesidir. Şekil 6’daki gösterimde anahtar (DIP switch) ayarları gösterilmemiştir. Anahtar ayarlarıyla motora bir tam dönüş için kaç darbe uygulanacağı ve en fazla ne kadar akım verilebileceği gibi parametreler seçilebilmektedir. Bu seçime göre adım motoruyla bir darbeye kaç derece gidebileceği ayarlanabilmektedir. Bu seçim CWD556 sürücüsü için 5.,6.,7. ve 8. anahtarların ayarlanmasıyla değiştirilebilmektedir.



a)



b)

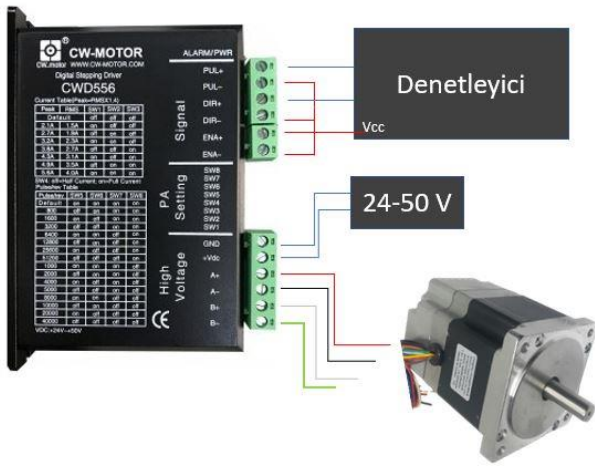


c)

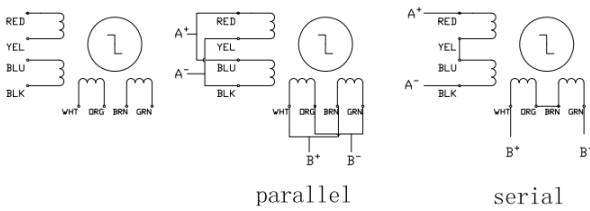


d)

Şekil 5. (a) Eğitim seti ilk prototip, (b) nihai prototip (1,2,3 yapılan değişikler), (c) üstten görünüşü, (d) arkadan görünüşü

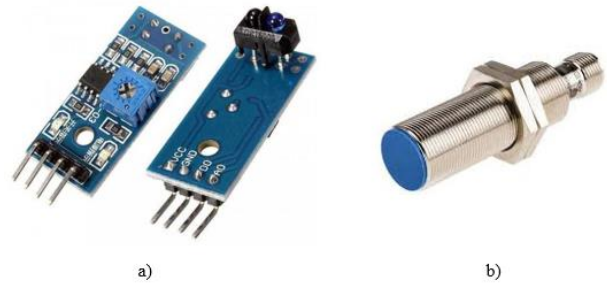


Şekil 6. Nema 34 adım motorunun CWD556 sürücüsü ve denetleyici bağlantısı



Şekil 7. Nema 34 adım motorunun CWD556 sürücüsüne paralel ve seri bağlantı yapıları

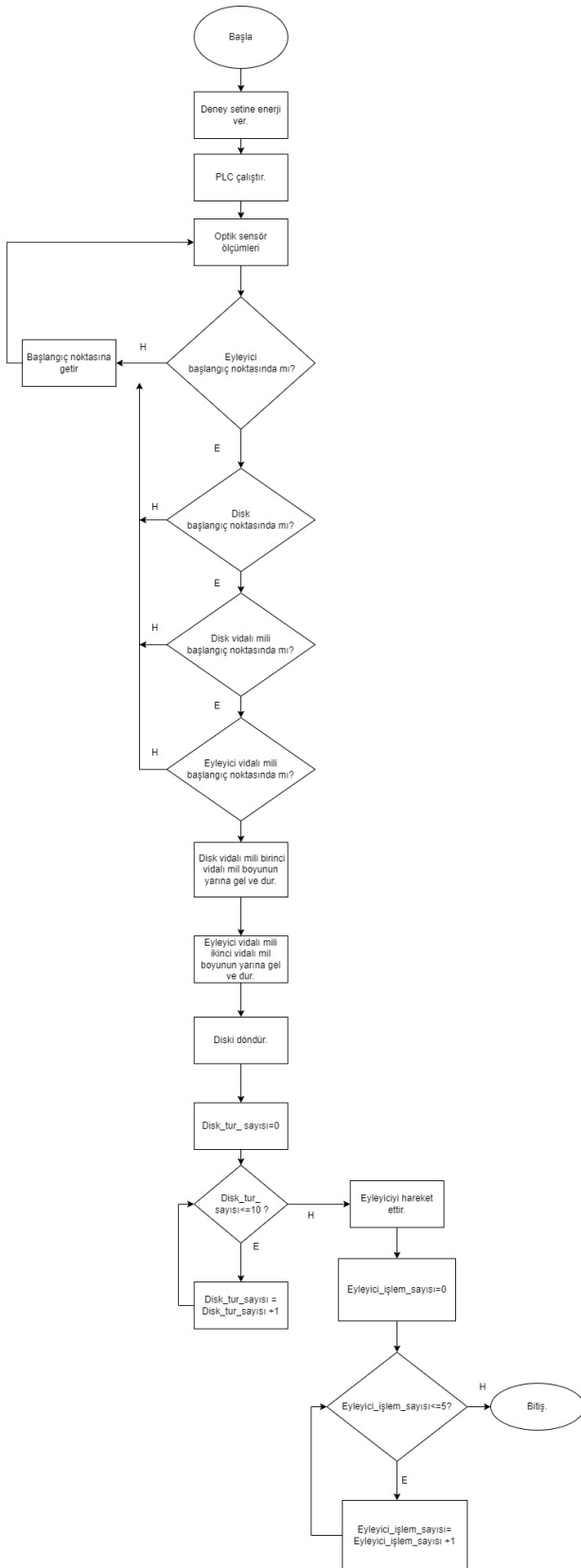
Akım ayarı ise 1.,2.,3. anahtarların ayarlarıyla yapılabilmektedir. Motor durağanken (sabit konumda iken), motorun tutma kuvveti 4. anahtarla alakalıdır. Adım motor setinde yüksek torka ihtiyaç duyulduğu durumlarda adım motorunun yapısı kaynaklı adım kaçırmaları oluşabilmektedir. Bu durumun engellenmesi için belirlenen senaryo çalıştırılırken hatanın oluşmasını engelleyecek şekilde anahtar ayarları seçilmiştir. Nema 24 motorunu süren sürücü içinde yapılan ayarlamalar benzer olmakla beraber anahtar adlandırmaları gibi birkaç cüzi farklılığa dikkat edilerek gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Şekil 8.a'da deney setinde kullanılan optik sensörler görülmektedir. Bu sensörler ekonomik olması dolayısıyla tercih edilmiştir fakat endüstriye yönelik olarak Şekil 8.b'deki bir manyetik sensörde kullanılabilir. 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 yani sistem donanımsal olarak durdurulmaktadır.



Şekil 8. (a) Optik sensör, (b) Manyetik sensör

### 2.3 Sistemin çalışması

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 9'daki algoritmada gösterildiği gibi ilk olarak eğitim seti enerjilendirilecektir. Daha sonra harici olarak kullanılan PLC çalıştırılacaktır. Sistem başlangıç noktasına getirilirken eyleyicinin diske zarar vermemesi zorunludur. Bunun için ilk olarak eyleyicinin başlangıçta olup olmadığını algılanması gereklidir. Eğer eyleyici sensörü başlangıç noktasında ise (sensör lojik 1 üretiyorsa) sırasıyla disk sensörü, disk vidalı mil sol sensörü, eyleyici vidalı mil sol sensörü sayısal çıkışları kontrol edilecektir. Yapılan kontrollere göre motorlar başlangıç noktasına getirilecektir. Bu durumda tüm sensör çıkışları (eyleyici sensörü, disk sensörü, disk vidalı mil sol sensörü, eyleyici vidalı mil sol sensörü) lojik 1 verir. Başlangıç konumuna hizalanma sağlandıktan sonra, M1 motoru vidalı mili döndürerek, vidalı milin taşıdığı döner diski 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 10 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.



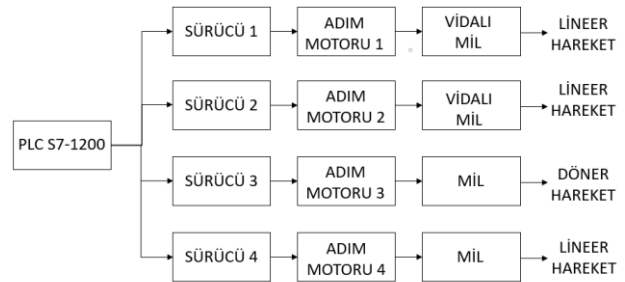
Şekil 9. Üretim süreci parçasını temsil eden konum/pozisyon denetim algoritması

## 2.4 Kontrol uygulaması

Eğitim seti hem PLC hem de mikroişlemci ile kontrol edilebilecek şekilde yapılmıştır. Bu sayede farklı derslerde bu iki araçtan birini kullanarak öğrenciler

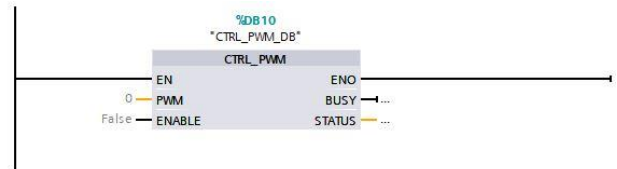
kendi kodlarıyla sistemin kontrolünü harici olarak yapabilmektedir. Sistemde dört adet kontrol edilmesi gereken adım motoru bulunmaktadır.

Setin blok şeması Şekil 10'da gösterilmiştir. Eğitim seti PLC S7 1200 serili PLC ile harici olarak kontrol edilmiştir. Programlama Siemens firmasının TIA PORTAL yazılımı aracılığıyla yapılmıştır.



Şekil 10. Sistemin blok şeması

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. Set PLC ile kontrol edilirken TIA PORTAL'da bulunan Şekil 11'deki PWM (Pulse Width Modulation) bloğu kullanılmıştır.

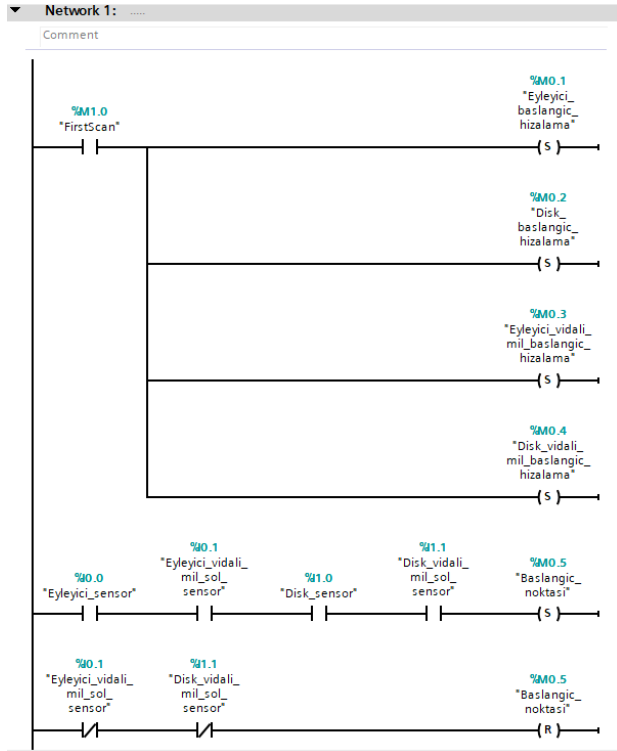


Şekil 11. PWM bloğu

PWM bloğu aracılığıyla verilen darbeler ile sistemin konumu/pozisyonu açık çevrim olarak denetlenmiştir. Adım motorlar genel olarak açık çevrim denetlense de başlangıçta nerede başlamaları 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, gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada Şekil 9'da gösterilen senaryo gerçekleştirilmiştir. Her defasında, sistem PLC ile kontrol edilmeye başladığında tüm adım motorlarının başlangıç konumuna getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca diske mekaniksel bir zarar verilmemesi için ilk olarak eyleyicinin başlangıç

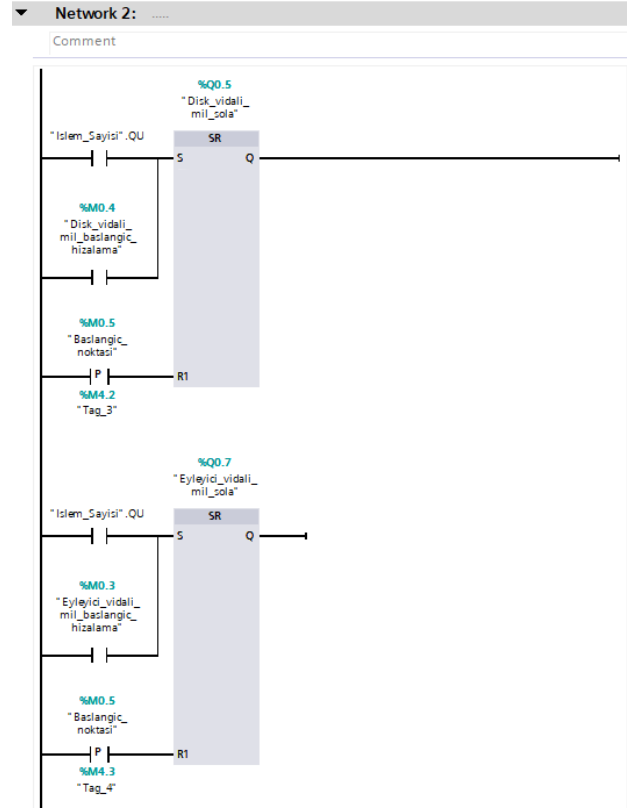


konumuna getirilmesi zorunludur. Şekil 12'e bu durum için oluşturulmuş olan PLC merdiven diyagramı gösterilmiştir. Şekil 13'de ise oluşturulan senaryoya göre motor yönlerinin ne olması gerektiğine dair oluşturulmuş PLC blokları gösterilmiştir.

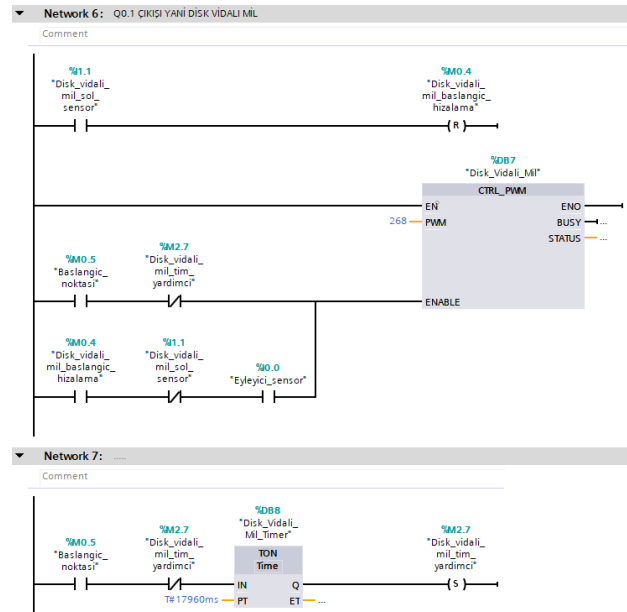


Şekil 12. Başlangıç hizalama merdiven diyagramı

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 14'de görüldüğü gibi Disk\_Vidalı\_Mil\_Timer ile sistemin hizalanması ve milde belirli bir mesafe ilerlemesi durumu için gerekli PWM darbelerinin verilmesi sağlanmıştır.



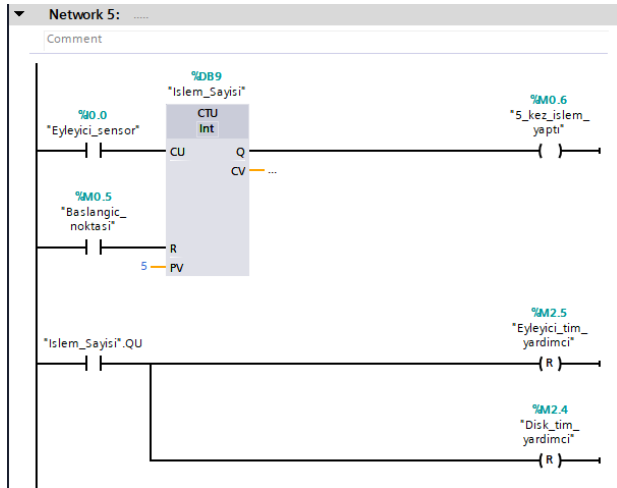
Şekil 13. Motor yönlerinin belirlenmesi



Şekil 14. Disk vidalı mili pozisyon ayarı için zamanlayıcı kullanımı

Disk vidalı mili hizalamasını tamamladıktan sonra eyleyici vidalı mili de benzer şekilde zamanlayıcı yardımıyla hizalanması sağlanır. Daha sonra disk motoruna 10 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 15'deki

sayıcı yardımıyla denetlenir. Denetimi sağlamak için toplamda 11 network kullanılmış olup önemli kısımlarına burada değinilmiştir. Değinilmeyen kısımlar benzer biçimde yukarıda bahsedildiği gibi gerçekleşmiştir. Kısaca Şekil 9'daki algoritmaya uygun olarak üretim sürecini temsil eden sistemin konum/pozisyon denetimi PLC ile bu şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 15. Eyleyici işlem sayısı ayarı için sayıcı kullanımı

### 3. Bulgular ve Tartışma

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. Bu eğitim seti PLC 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 mikrodenetleyicinin algılayabileceği 5V seviyesine ulaşamamıştır. Çözümü için, sensörlerin gerilim çıkışı ilk olarak optokuplör kullanılarak elektriksel olarak yalıtılmış ve NPN transistörün baz ucuna verilmiştir. Daha sonra güç kaynağından alınan 12V DC gerilim DC-DC dönüştürücü ile 24V DC gerilim değerine yükseltilmiş ve NPN transistörün kolektör 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 için de benzer bir devre yapılmıştır fakat 12V güç kaynağında 5V'lük çıkış bulunduğundan DC-DC dönüştürücü kullanılmamıştır ve optokuplörün içinde bulunan transistör istenilen gerilim çıkış değerinde (5V DC) çıkış verebildiği için fazladan bir transistöre ihtiyaç duyulmamıştır. İkinci elektriksel sorun; disk sürücüsünün güç kablosu ve disk optik sensörü aynı kablo kanalından geçtiğinden dolayı istenmeyen bir gerilim indüklenmesi optik sensörde oluşmuştur. Çözüm olarak, optik sensörün gerilim çıkışının yükseltilmesinde kullanılan kartta bulunan transistörün emitör direnci yerine 0.7V'lük eşik gerilimine sahip bir diyot konulmuştur. Bu sayede gerilim indüklenmesi kaynaklı anlık tepeler kaybolmuştur. Üçüncü olarak ise eğitim seti hem mikrodenetleyici ile hem de PLC ile kontrol edilmesi için NPN olarak tasarlanmıştır. S71200 serili PLC'lerin çıkışları ise PNP olarak çalışmaktadır. Bu yüzden PLC çıkışları PNP'den NPN'e dönüştürülmüştür. Dördüncü 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. Beşinci olarak Nema34 adım motorlarını sürmek içinde Microstep sürücü daha fazla güç aktaran CWD556 sürücüsü ile değiştirilmiştir. Altıncı sorun mekanik içeriklidir, 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 5.b'deki gibi MDF tabana sabitlenmiştir. Yedinci sorunda mekanik içeriklidir, ilk kullanılan kayış kasnak yapısı mekaniksel olarak kayışın kaçma veya gezinmesine sebep olmaktaydı. Şekil 5.a ve Şekil 5.b'de görüldüğü gibi daha geniş kayış ve kayış tahditli kasnaklarla değişimi sağlanmış ve gezinme sorunu çözülmüştür.

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 bir set haline getirilebilir. Bu yazıda, daha ziyade eğitim setinin nasıl tasarlandığı konusu ön planda tutulmuştur. Bu eğitim seti kullanılarak, öğrencilerde nasıl bir eğitimsel ilerleme ve farkındalık oluşturulduğu konusu bir başka eğitim makalesinde ele alınabilir (Chevalier *et al.* 2021).

#### 4. Sonuç

Adım motorları ve sürücüleri, güç kaynakları, optik sensörler, sınır anahtarları, vidalı miller, lineer kızak arabaları, PLC'den oluşan ve kompleks üretim sürecini temsil eden servo kabiliyetli (konum/pozisyon denetimli) elektro-mekanik eğitim seti tasarlanarak, imal edildi. Kısaca deney seti karmaşık üretim süreçlerini (pozisyonlama, delme, vidalama, kaynak vb. iş parçalarını) temsil edilecek şekilde oluşturuldu. Daha sonra öngörülen üretim süreci isterleri ve kısıtlarına göre algoritma akış şeması biçimine getirildi ve detaylandırıldı. Akış şemasına göre PLC merdiven diyagramı 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. Bu sayede PLC denetimli, adım motor servo seti ile üretim süreçlerinde konum/pozisyon denetiminin nasıl gerçekleştirileceği bilgisinin öğrencilere aktarılması mümkün hale gelmiştir.

Eğitim seti sayesinde öğrencilerin farklı senaryoları kendilerinin öngörüp, algoritmasını çıkarmaları, PLC programı haline dönüştürüp, denemeleri ve hataları düzeltip çalışır hale getirmeleri hedeflenmektedir.

Eğitim seti ile öğrencilerin servo kabiliyetli karmaşık üretim süreçleri hakkında temel kabiliyetleri kazanacağı öngörülmektedir.

#### Teşekkür

Elektrik ve mekanik mühendislik işçiliğinde emeği geçen Bekir Altın'a yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

#### 5. Kaynaklar

- Antipin, A., Frizen, V., Sannikov, P., & 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.
- Awad, H., Moawad, S., & 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.
- Cernohorsky J., & Richter R., 2015. *Remote Measurement in Electrical Engineering Laboratories*. 21–23.
- Chevalier, A., Dekemele, K., Juchem, J., & Loccufier, M., 2021. Student Feedback on Educational Innovation in Control Engineering: Active Learning in Practice. *IEEE Transactions on Education*, **64(4)**, 432–437.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P., 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **111(23)**, 8410–8415.
- Fukumoto, H., Yamaguchi, T., Ishibashi, M., & Furukawa, T., 2021. Developing a Remote Laboratory System of Stepper Motor for Learning Support. *IEEE Transactions on Education*, **64(3)**, 292–298.
- Irmak, E., Colak, I., Kabalci, E., & 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.*

Kenjo, T., 1984. *Stepping Motors and Their Microprocessor Controls*. OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS.

Kheir, N. A., Åström, K. J., Auslander, D., Cheok, K. C., Franklin, G. F., Masten, M., & Rabins, M., 1996. Control systems engineering education. *Automatica*, **32(2)**, 147–166.

Larson, N. G., 1979. *Stepping Motor Control System*.  
Oravec, J., Kalúz, M., Bakárač, P., & Bakošová, M., 2016. Improvements of Educational Process of Automation and Optimization Using 2D Plotter. *IFAC-PapersOnLine*, **49(6)**, 16–21.

Peng, T., Qian, J., Zi, B., Liu, J., & Wang, X., 2016. Mechanical Design and Control System of an Omni-directional Mobile Robot for Material Conveying. *Procedia CIRP*, **56**, 412–415.

Rata, M., & 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.

### **İnternet kaynakları**

1-[https://www.festo.com/us/en/e/technical-education/learning-systems/electric-power-technology/motor-controls-and-drives-id\\_32896/.](https://www.festo.com/us/en/e/technical-education/learning-systems/electric-power-technology/motor-controls-and-drives-id_32896/) (13.05.2022)

2-[https://www.quanser.com/products\\_category/rotary-motion-platform//](https://www.quanser.com/products_category/rotary-motion-platform//), (13.05.2022)

3-<http://www.ecpsystems.com/index.htm>, (13.05.2022)

4-<http://www.kri.com.sg/>, (13.05.2022)

5-<https://www.inteco.com.pl/products/modular-servo/>, (13.05.2022)

6-<http://www.ulusotomasyon.com/egitim-setleri-deney-setleri>, (13.05.2022)

7-<https://www.yildirimelektronik.com/urunler/1/teknik-egitim-setleri?m=kat>, (13.05.2022)

