



T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**INCREMENTAL(ARTIMLI) ENCODER'İN,
ABSOLUTE(MUTLAK) ENCODER GİBİ DAVRANMASINI
SAĞLAYACAK ELEKTRONİK DEVRE TASARIMI.**

Muhammed Erkam ARSLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

TOKAT
2022
Her Hakkı Saklıdır.

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr.Öğr. Üyesi Cengiz GÜNGÖR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Incremental (Artımlı) Encoder’in, Absolute(Artımlı) Encoder Gibi Davranmasını Sağlayacak Elektronik Devre Tasarımı” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

..../...../...

Muhammed Erkam ARSLAN

JÜRİ KABUL VE ONAY

Muhammed Erkam ARSLAN tarafından hazırlanan “**Incremental (Artımlı) Encoder’in Absolute (Mutlak) Encoder Gibi Davranmasını Sağlayacak Elektronik Devre Tasarımı.**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21/01/2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) :.....

.....

Üye :.....

.....

Üye :.....

.....

Üye :.....

.....

Üye :.....

.....

ONAY

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cengiz GÜNGÖR'e, kıymetli büyüğüm ve hocam Ayhan DAYANIK'a, değerli dostlarım Mekatronik Müh. Yakup Emre BOSTANCI, Mekatronik Müh. Mustafa SATAN ve her zaman yanımda olan biricik eşim Rüveyda ARSLAN'a ve dualarını hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Muhammed Erkam ARSLAN
TOKAT-2022

ÖZET

INCREMENTAL(ARTIMLI) ENCODER'İN, ABSOLUTE(MUTLAK) ENCODER GİBİ DAVRANMASINI SAĞLAYACAK ELEKTRONİK DEVRE TASARIMI.

Arslan, Muhammed Erkam

Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cengiz GÜNGÖR

Ocak 2022, x+68 Sayfa

Endüstriyel otomasyon sistemlerinin elektronik tasarımlarında, kimyasal üretim, havacılık ve savunma sanayii gibi birçok önemli alanda döner hareket kodlayıcıları çokça yer almaktadır. Bu tez çalışmasında; döner hareket kodlayıcılarından, açısal konum ve hız ölçümü için kullanılan optik enkoderlerin çalışma prensipleri ve çeşitleri incelenmiştir. Incrementel (artımlı) ve absolute (mutlak) olarak iki başlık altında incelenen optik encoderler özellikle maliyet ve güç kesintisinden sonra konum bilgisi elde etme noktasında birbirlerinden ayrılmakta olup, mutlak encoderlere kıyasla daha az maliyetli olması sebebiyle artımlı encoder, mutlak mantıkta çalıştırılarak iyi bir fiyat – performans ürünü haline getirilmiştir.

Tamamlanan bu tez çalışmasında; artımlı encodere bir mikroişlemci ve harici pil entegre ederek pozisyonun sürekli hafızada tutulması sağlanmış, çeşitli hesaplamalara gerek kalmadan, PID kontrol algoritması ile mekanizmaların gerçek pozisyonlarını tam olarak göstermeyi amaçlayan bir sistem tasarımı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açısal konum, Artımlı encoder, Döner kodlayıcı, Harici pil, Mikroişlemci, Mutlak encoder, Optik encoder, PID kontrol

ABSTRACT

ELECTRONIC CIRCUIT DESIGN TO ACT INCREMENTAL ENCODER AS ABSOLUTE ENCODER.

Arslan, Muhammed Erkam

Master's Thesis, Department of Mechatronics Engineering

Advisor: Asst.Prof.Dr. Cengiz GUNGOR

January 2022, x+ 68 pages

Rotary motion encoders are widely used in electronic designs of industrial automation systems, in many fields such as chemical production, aviation and defense industry. In this thesis study; Working principles and types of optical encoders used for angular position and velocity measurement from rotary motion encoders have been examined. Optical encoders, which are examined under two headings as incremental and absolute, differ from each other in terms of obtaining position information especially after cost and power failure, and because it's less costly than absolute encoders, incremental encoder is operated in absolute logic, making it a good price – performance product has been made into.

In this Project; By integrating a microprocessor and an external battery into the incremental encoder, the position is kept in the memory continuously, and a system design has been developed that aims to show the actual positions of the mechanisms with the PID control algorithm, without the need for various calculations.

Keywords: Absolute encoder, Angular position, External battery, Incremental encoder, Microprocessor, Optical encoder, PID control, Rotary motion encoder

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME.....	i
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3.MATERYAL ve METOT.....	12
3.1 Tasarım Konsepti.	12
3.2 DC Motor.....	13
3.2.1 DC motorun hız ve konum kontrolü	16
3.2.2 Göbek sargısı denetimli DC motorun modellenmesi ve transfer fonksiyonu..	18
3.3 PID (Oransal – Integral – Türev Denetim Organı)	22
3.3.1 Oransal kontrol (P-kontrol).....	22
3.3.2 Oransal-integral kontrol (PI-kontrol)	23
3.3.3 Oransal – integral – türev kontrol (PID).....	24
3.4 Optik Encoder (Sinyal Üreticiler)	26
3.4.1 Artımsal tip (incremental) encoder	27
3.4.2 Mutlak tip (absolute) encoder	28
3.4.3 Mutlak ve artımlı encoder karşılaştırması	29
3.4.4 Encoderin çalışma prensibi	30
3.5 Mikrodenetleyici	32
3.5.1 Arduino IDE	32
3.6 Harici H Köprülü L298N Motor Sürücüsü	34
3.7 Lipo Batarya Pil ve Şarj Cihazı	36
4.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	37
4.1 Tasarım Akışı	38

4.2 Yazılım ve Simülasyon	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	58
5.1 Deneysel Sonuçlar	58
5.2 Değerlendirme	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69



SİMGELER ve KISALTMALAR

AC:	Alternative Current:	Alternatif akım
ADC:	Analog to Digital Converter:	Analogdan dijitale dönüştürücü
CAD:	Computer Aided Design:	Bilgisayar destekli çizim
CAM:	Computer Aided Manufacturing:	Bilgisayar destekli üretim
CNC:	Computer Numerical Control:	Bilgisayarlı sayısal kontrol
CPU:	Central Processing Unit:	Merkezi işlem birimi
DC:	Direct Current:	Doğru akım
EEPROM:	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory:	Elektronik Silinebilir Programlanabilir salt okunur bellek
EMK:	Elektromotor Kuvveti	
ENA:	Enable A:	Etkinleştirme pini
ENB:	Enable B:	Etkinleştirme pini
G/Ç:	Giriş – Çıkış	
GND:	Ground:	Topraklama
GPIO:	General Purpose Input/Output:	Genel amaçlı bir giriş / çıkış
ICSP:	In-Circuit Serial Programming:	Devre içi seri programlama
IDE:	Integrated development environment:	Tümleşik geliştirme ortamı
NC:	Numerical Control:	Sayısal kontrol
PCB:	Printed Circuit Board:	Baskı devre kartı
PID:	Proportional Integral Derivative:	Oransal-integral-türevsel kontrol
PWM:	Pulse-width modulation:	Darbe genişlik modülasyonu
RAM:	Random Access Memory:	Rastgele erişimli hafıza
RC:	Radio Control	
ROM:	Read-only Memory:	yalnızca okunabilir hafıza
RPM:	Revolutions Per Minute:	Dakikada devir sayısı
SRAM:	Static Random Access Memory:	Durağan rastgele erişimli hafıza
USB:	Universal Serial Bus:	Evrensel seri veriyolu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Doğruluk ve hassasiyet.	2
Şekil 1.2 Kablo ölçüm sayacı.....	3
Şekil 1.3 David Cronin optik kodlayıcı patent başvurusu	4
Şekil 2.1 Tek kanallı artımsal encoder	7
Şekil 3.1 Kontrol sisteminin blok diyagramı	12
Şekil 3.2 Doğru akım motorunun iç yapısı ve parçaları	13
Şekil 3.3 Fırçasız motor yapısı.....	14
Şekil 3.4 Redüktörlü DC motor	15
Şekil 3.5 Darbe genişlik modülasyonu (PWM)	16
Şekil 3.6 DC PWM.....	17
Şekil 3.7 Geri beslemeli hız kontrolü blok diyagramı	18
Şekil 3.8 Göbek sargısı denetimli DC motor.....	19
Şekil 3.9 DC motor sisteminin blok diyagramı	20
Şekil 3.10 Oransal kontrol	22
Şekil 3.11 Orantı – integral etki (PI)	23
Şekil 3.12 Orantı – integral – türev etkinin yük değişikliği yanıtı (PID).....	24
Şekil 3.13 PID kontrolün blok diyagramı.....	25
Şekil 3.14 Optik encoder çeşitleri	27
Şekil 3.15 Incremental (artımlı) encoder ve çıkış yapısı.....	27
Şekil 3.16 Absolute (mutlak) encoder ve çıkış yapısı	28
Şekil 3.17 Gray kod ve binary kod sistemli mutlak encoder çıkış karakter yapısı	29
Şekil 3.18 Kramayer dişli çiftinin robotik mekanizmalarda kullanımı	30
Şekil 3.19 Bir artımsal encoderin sayısallaştırıcı diskinin yapısı ve A-B çıkışları.....	31
Şekil 3.20 Mikrodenetleyici.....	32
Şekil 3.21 Arduino uno geliştirme kartı	33
Şekil 3.22 L298N, L298HN, L298P motor sürücüsü.....	34
Şekil 3.23 L298N H köprülü motor sürücü	35
Şekil 3.24 Lipo pil ve TLP4056.....	37
Şekil 4.1 Sigma profil.....	38
Şekil 4.2 Vidalı somun braket.....	39

Şekil 4.3 Mutlak ve encoder yatakları.....	39
Şekil 4.4 Vidalı somun braket 3D Simplify görünümü.....	39
Şekil 4.5 Motor ve encoder yatakları 3D Simplify görünümü	40
Şekil 4.6 CAD programında projenin teknik resmi	40
Şekil 4.7 Bilyalı rulman.....	41
Şekil 4.8 Metal cetvel.....	41
Şekil 4.9 CAD programında proje prototip görünümü.....	42
Şekil 4.10 Kullanılan materyallerin platform üzerinde konumlandırması	43
Şekil 4.11 Encoder kablo bağlantıları	43
Şekil 4.12 Encoder çıkışları devre şeması	44
Şekil 4.13 Bir DC motora encoderin Proteus ISIS'te simülasyonu	44
Şekil 4.14 Osiloskop görüntüsü	45
Şekil 4.15 Encoderden alınan pals bilgisinin Proteus ISIS'te simülasyonu	46
Şekil 4.16 Encoderin ileri – geri sayma hareketi	47
Şekil 4.17 Interrupt rising – falling.	48
Şekil 4.18 L298N ile arduino motor kontrolü.....	49
Şekil 4.19 Proteus ISIS'te encoder ve motor bağlantı simülasyonu	50
Şekil 4.20 74LS14 Schmitt Trigger entegresi.....	53
Şekil 4.21 Proteus ISIS'te DC motorun konum ve hız kontrol simülasyonu	53
Şekil 5.1 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri – 12V).....	59
Şekil 5.2 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri2 – 12V).....	59
Şekil 5.3 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri – 24V).....	60
Şekil 5.4 Hedef pozisyon sapma grafiği (geri – 12V).....	60
Şekil 5.5 İleri – geri sapma değeri karşılaştırma.....	61
Şekil 5.6 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri - 24V)	61
Şekil 5.7 Hedef pozisyon sapma grafiği (geri – 24V).....	62
Şekil 5.8 Hata – sapma grafiği.....	62

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 DC motor fiziksel parametleri	21
Çizelge 3.2 L298N pin durumları	36



1. GİRİŞ

İnsanoğlu, zaman içerisinde gözlemlediği olayları doğru şekilde anlamlandırabilmek için çeşitli yollara başvurmuştur. Gündelik yaşamın bir parçası olan fiziksel nicelikler de bu gözlemler içerisinde yer almaktadır. Zamanla temel (kütle, zaman, uzunluk) nicelikler ve türetilmiş (alan, hacim, açı, hız) nicelikler insan ihtiyacına göre değişiklikler göstermiştir. Bu noktada ölçme kavramı ile fiziksel nicelikler anlam kazanmıştır. Bu farklılıkları ayırt edebilmek için de çeşitli birim sistemleri oluşturulmuştur. Ölçülen büyüklüğün ne olduğunu ifade edebilmek için, oluşturulan birim sistemlerine başvurulmuştur.

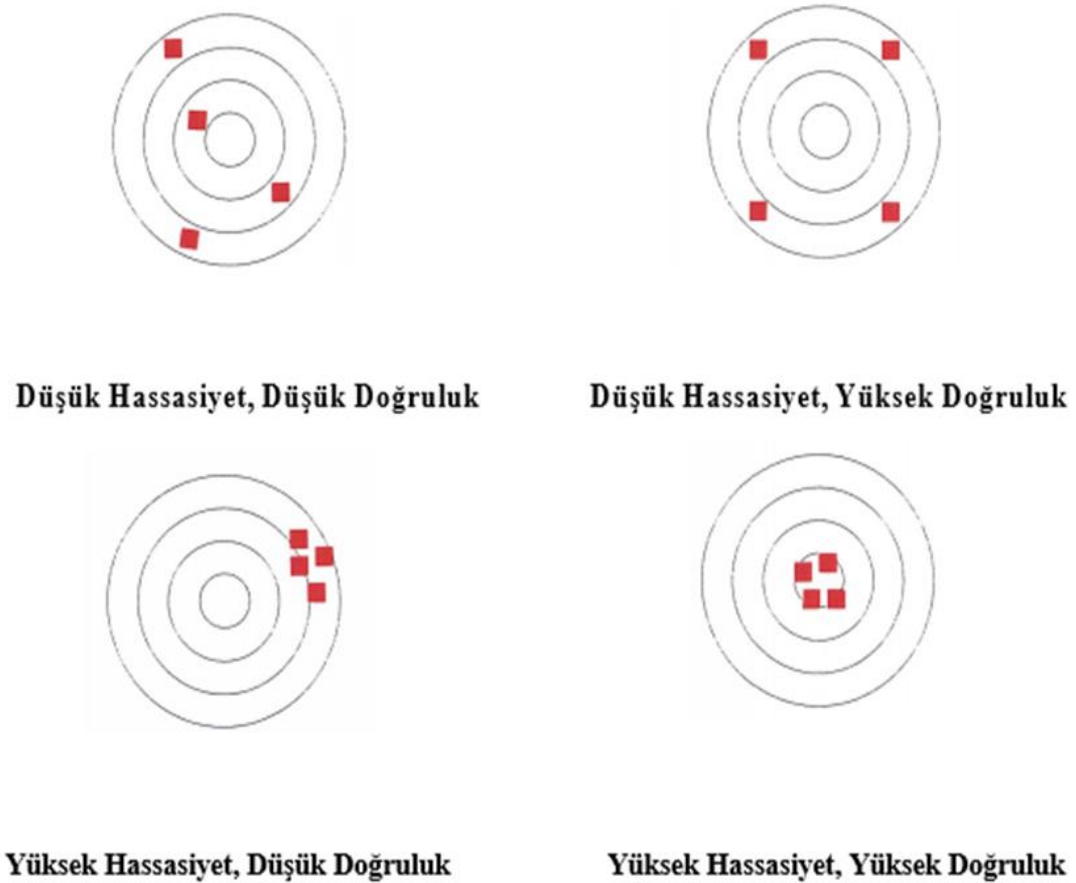
Endüstri devrimi ile beraber buharlı makinalar; dairesel hareketi mekanik güce dönüştürerek değirmenlerde, dokuma tezgahlarında, lokomotiflerde ve en önemlisi tarım teknolojisinde çok önemli gelişmeler sağlamıştır. Bu gelişmelerle beraber artan ihtiyaçlar ve ekonomik gelir-gider durumu üretimin her aşamasında takip ve kontrolü vazgeçilmez hale getirmiştir.

Günümüzde, endüstrideki teknolojik gelişmelerle beraber modern otomasyon sistemlerinde ölçme ve kontrol; enerji verimliliği, zaman kontrolü, minimum maliyet, maksimum fayda gibi birtakım ilkeleri meydana getirmiştir. Bu ilkeler de enstrümantasyon ve proses kontrol gibi kavramları doğurmuştur.

Endüstriyel otomasyon ve üretimde çeşitli uygulamalarda hem maliyet hem de performans açısından verim alabilmek için ölçme ve kontrol enstrümanını (konum ve hız sensörleri, seviye sensörleri, debimetre, optik açısal sensörler, encoderler vb.) doğru seçmek gerekir. Fonksiyonel güvenlik de proses kontrol için büyük öneme sahiptir. Güvenlikle alakalı enstrümanlarda oluşacak bir hata çok ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Proses kontrolde, güvenlik sistemleri her zaman birkaç bileşenden oluşmaktadır. Kontrol sistemi, aktüatör ve ölçüm enstrümanı buna örnek olarak verilebilmektedir. Bütün sistemin fonksiyonel güvenliğinin garanti edilebilmesi için her bir bileşenin ve ölçüm cihazı içerisindeki fonksiyonların doğru çalıştığının sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bir hata olması halinde cihaz koruma durumuna geçmektedir. Kontrol sistemi ile enstrüman arasındaki haberleşme sürekli olarak gözlemlenmektedir.

Böylelikle hem zamandan tasarruf hem de fonksiyonel güvenlik sağlanmaktadır (Ozkilic, 2016).

Doğru ölçüm ve kontrol enstrümanını seçmek ve yaygın hatalarla karşılaşmamak için enstrümantasyon terminolojisine dair doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision) gibi teknik kavramlar önem arz etmektedir. Doğruluk ve hassasiyet kavramları, birbirine karıştırılmamalıdır. Doğruluk ve hassasiyet arasındaki ayrım, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi klasik “okçu hedef tahtası” veya “dart tahtası” figürleri ile ifade edilebilmektedir. “Dart tahtası” üzerindeki kareler okların veya dartların konumlarını temsil etmektedir. Okların veya dartların merkeze yakın olması doğruluğu temsil etmektedir. Dart tahtasında birden fazla ok olması ise hassaslık boyutunu temsil etmektedir. Oklar aynı kümede toplanmışsa yüksek hassasiyet durumu gözlemlenmektedir (Thomsen, 1997).



Şekil 1.1 Doğruluk ve hassasiyet (Thomsen, 1997)

Günlük yaşamda ve endüstriyel otomasyon sistemlerinde açısal konum ve hız bilgisinin doğruluğu kilit gerekliliğe sahiptir. Açısal konum ve hız bilgisinin doğruluğu da yüksek hassasiyet ve yüksek doğruluk kavramları ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple endüstriyel üretimde çeşitli uygulamalarda, çevreye duyarlı açısal konum sensörleri kullanılmaktadır (Engin, 2014). Bu doğrultuda, endüstrideki teknolojik gelişmelerle beraber daha önce de belirtilen ilkelere uygun özelliklere sahip bir açısal konum sensörü gereklilik haline gelmiştir.

Açısal Hız ve Konum Bilgisi

Genellikle açısal konum ve hız bilgisi; şaft sensörü olarak da adlandırılan optik encoderler, manyetik encoderler ve resolver (çözücüler), takogeneratör, alan effect (etkili) sensörler tarafından ölçülerek elde edilebilmektedir. Bu sensörler yüksek hassasiyet, yüksek doğruluk, düşük maliyet, kirli ve ıslak olan zorlu ortamlara dayanıklılık gibi çeşitli avantajları nedeni ile endüstriyel üretimde çokça talep görmektedir (Howard, 2019).

Tarihçe

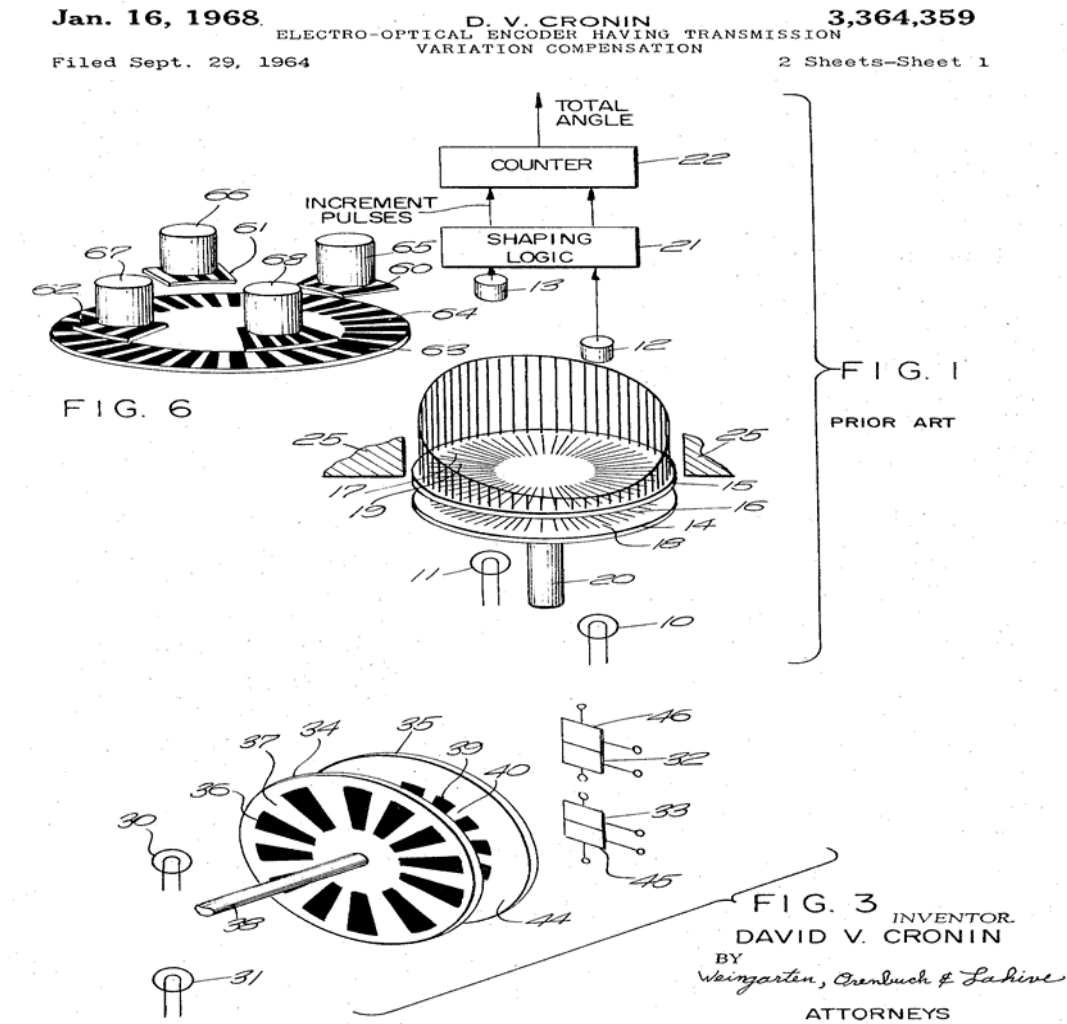
Encoderin geçmişine yönelik yapılan araştırmalarda, ilk mekanik tasarım John J. Woldman tarafından 1910-1920 yılları arasında geliştirilen “kablo ölçüm sayacı”, basit bir encoderin en temel örneği olarak karşımıza çıkmaktadır (Maine Historical Society, 2004).



Şekil 1.2 Kablo ölçüm sayacı (Maine Historical Society, 2004)

Şekil 1.2’de görüldüğü üzere sayaç, bir dökme demir çerçeveye monte edilmiş bir çift çelik silindirden oluşmaktadır. Dökme pirinç saplı yaylı bir kol üst silindiri germektedir. Silindirler, çerçevenin önüne monte edilmiş bir levha pirinç kutuda bulunan bir dizi dişliyi döndürmektedir; dikey olarak düzenlenmiş dişli kutusunun yüzeyinde 0'dan 9'a kadar derecelendirilmiş üç yuvarlak kadran bulunmaktadır. Aşağıdan yukarıya onlarca, yüzlerce ve binlerce doğrusal ölçüm yapılabilmektedir.

Sarma makarası, çelik bir dingil üzerine monte edilmiş, bir dökme çelik krank tarafından döndürülen ayarlanabilir şemsiye tipi bir çerçeveden oluşmaktadır. Makara, bir dökme demir çardak direğine hem makara hem de sayaç, yeşil boyalı çam tahtası uzunluğuna monte edilebilmektedir. Böylece fiziksel bir hareketle (kol döndürülerek) istenilen ölçüm sağlanmaktadır.



Şekil 1.3 David Cronin optik kodlayıcı patent başvurusu (Cronin, 1968)

Süregelen araştırmalarda resmi olarak “Electro-Optical Encoder Having Transmession Varation Compensation” isimli çalışmasının 1968’te David Cronin’in “Amerikan Patent Ofisi” ne yaptığı başvuru ile şekil 1.3’teki ilk optik kodlayıcıyı geliştirdiği dūřünölmektedir (Cronin, 1968).

2. KAYNAK ARAşTIRMASI

Tasarlanan projenin tamamlanması, proje hakkında daha fazla bilgi ve beceri kazanımı için çeşitli yöntemlerle, ilgili kaynaklara başvurmak büyük bir öneme sahiptir. İşte bu literatür çalışmasında; kitaplar, dergiler ve web ortamından elde edilen tüm materyalleri kapsayan, projenin her alanında devam eden bir süreç gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel uygulamalarda, dönel ve lineer mekaniksel hareketleri elektriksel sinyallere çevirmek için kullanılan encoderler, kontrol birimi ile mekaniksel bölümün transformasyonunda önemli rol oynamaktadır. Bu transformasyonda, encoderlerin yarık sayısı sebebiyle bir devirdeki pals sayısının bilgisi yapılan ölçümün doğruluğu ve hassaslığını belirleyen önemli bir faktördür. Çeşitli tipteki encoderler arasında, açısal hız ve konum tespiti için kullanılan encoderlere optik encoder denilmektedir. LED (ışık yayan diyot), yarıklı disk, fototransistör ve amplifikatör olarak dört temel bölümden oluşan optik kodlayıcılar, artımlı (incremental) ve mutlak (absolute) encoder olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Kürüm ve ark., 2013).

Açısal konum ve hız encoderleri, elektrik motorlarının kontrolünde esas bileşenlerdendir. Yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip encoderler, standart bir pozisyon kontrol uygulaması için gereklilik haline gelmiştir. Bu sebeple optik encoderler, servo mekanizmalarda hız ve pozisyon bilgisi elde edebilmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle elektrik motorlarının kontrolünde, mekanik titreşim gibi zorluk çıkarabilen etmenler, optik encoderde bulunan yarıklı diske önemli ölçüde zarar vermektedir. Resolver (özücü) kullanılarak kabul edilebilir bir mekaniksel dayanıklılığa ulaşılabilir. Fakat resolverin özünörlüğü daha komplike bir konum kontrolü uygulaması için yetersiz gelebilmektedir (Kennel ve ark., 2008).

Hız ve pozisyon algılayan optik encoderleri, bir şaftın dönme açısı ile oranlı olarak çıkış sinyali sağlamaktadır. Mekanik komponentlerin hareketlerini kontrol etmek veya izlemek için çokça kullanılmaktadır. Artımsal ve mutlak olarak ikiye ayrılan optik

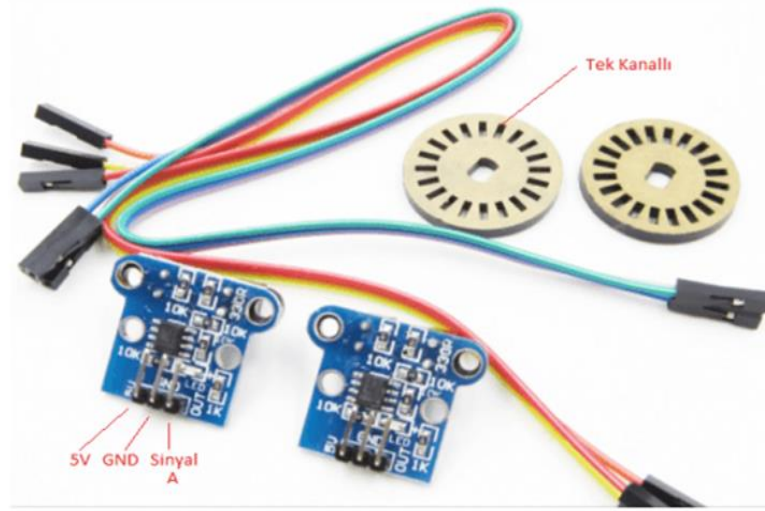
encoderlerin, artımsal konum bilgisi, algılayıcı çalıştırıldığındaki başlangıç pozisyonuna göre artan ölçme yöntemiyle belirlenmektedir. Mutlak konum tespiti için, önceden bilinen referans konumlarına hareket etmelidir. Optik encoderlerin tipi, kullanım yerlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir (Anonim, 2016).

Çeşitli endüstriyel makinaları çalıştıran bir motorda artımlı encoder dijital hız ve konum için temel bir sistem olarak çokça tercih edilmektedir. Doğruluk, hassasiyet, güvenilirlik ve maliyetin minimize edilmesi bu tür kullanımların sayısını ve çeşitliliğini arttırmaktadır.

Optik encoderler, interpolasyon işlemlerinden sonra birkaç saniyeye (bir derecenin 3600'de biri) kadar bir çözünürlüğe sahip açısal konum ölçümü gerçekleştirebilir; fakat, mekanik şok, ani sıcaklık değişimleri veya kirlilik gibi zorlu ortamlarda optik disk zarar gördüğünden performansları bundan çok etkilenir. Ayrıca sensör boyutları küçüldükçe üretilmeleri çok zor hale gelmektedir (Kimura ve ark., 2009).

Artımsal encoderlerin devir sayısı, dönüş yönü ve darbe sayısı okunabilmekte fakat endüstriyel uygulamalarda herhangi bir güç kesintisi veya arıza durumunda o anki konumun bilgisini okuması istenebilmektedir. Özellikle manipülatörlerde her bir eksenindeki mafsallın anlık konum bilgisi gerekmektedir. Bu durum bir örnek ile açıklanacak olursa; güç kesintisi anında robot kolunun bir mafsalı 47^0 açıda olsun, enerji geldikten sonra 60^0 'lik açı konumuna gönderilmek istendiğinde, sıfır noktasından değil enerji kesintisinin olduğu anki açıdan (47^0) devam etmesi istenilmektedir. Fakat bu durum gerçekleşmediğinden, yerinden sökülen encoder tekrar yerine takılmak istendiğinde mutlaka aynı pozisyona getirilerek yerleştirilmelidir. Aksi durumda kaymalar meydana gelmektedir (Gumus, 2018).

Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere tek yarıkli fototransistörlü bir dairesel artımlı encoder bulunmaktadır. Diskte 10 adet yarık bulunmaktadır. Işık yarıktan geçerek alıcıya gelmektedir; A giriş sinyali 1 pals kare dalga çıkışı olarak gözlemlenmektedir. Bu durum encoderin çözünürlüğünün 10 pals/devir olduğunu, 360^0 diskin tam tur döndüğünü ve 10 pals kare dalga çıkışı alındığını ifade ettiğinden 1 pals değeri diskin $360/10=36^0$ yaptığını göstermektedir. Yarık sayısı ile hassasiyetin doğru orantılı olduğu unutulmamalı dolayısıyla çözünürlüğün de artacağına dikkat edilmelidir (Gumus, 2018).



Şekil 2.1 Tek kanallı artımsal encoder (Gumus, 2018)

Fukuda ve ark., servo motorun milinin dönüş konumunu veya dönüş hızını tespit etmek için bir optik encoder geliştirmişlerdir (Fukuda, 2018). Patenti alınan optik encoder NC takım tezgahlarında, robotlarda veya çeşitli endüstriyel makinelerde kullanılan ve milin dönüş konumunu veya dönüş hızını tespit etmek için kullanılmıştır. Böyle bir optik encoder, bir döner kod plakası, bir light-emitting (ışık yayan) birim ve light-sensitive (ışığa duyarlı) birime sahip bir optik kodlayıcı içermektedir. Mevcut buluş, döner kodlayıcının mile bağlanması sırasında bir mile göre bir dönüş kod plakasının merkezden uzaklaşmasını azaltmak için bir merkezleme adımının ortadan kaldırılmasına izin veren bir döner kodlayıcı sağlamayı amaçlamaktadır.

Ueda ve ark. bir endüstriyel robotta, bir takım tezgahında veya benzerlerinde yüksek konumlandırma doğruluğunun gerekli olduğu bir sürücüde, yüksek aktarım doğruluğuna sahip bir redüksiyon dişlisi aracılığıyla motorun dönüşünü sağlamak üzere dişli bağlantılı bir motor konfigüre edip kullanılabilir hale getirmişlerdir. Dişli bağlantılı motor olarak, bir motor ana gövdesinin dönen bir miline bağlanan bir redüksiyon dişlisini içeren motor tasarımı gerçekleştirilmiştir (Ueda, 2017).

Yukarıda açıklanan motorda, konumlandırma işlemini doğru şekilde gerçekleştirmek için, redüksiyon dişlisinin çıkış milinin dönüş açısını yüksek doğrulukla kontrol edilmesi gerekmektedir. Buna göre motorun dönen miline bir birinci encoder, çıkış miline ikinci bir encoder monte edilmiştir.

Bir robot cihazının servo kontrolünde bir kontrol hedefinin konum tespiti için genellikle bir encoder kullanılmaktadır (Takayama, 2005). Encoder, mekanik bir yer değiştirme miktarını dijital bir miktara dönüştüren ve çıktısını veren ve bir konum okuma mekanizması tarafından kontrol edilecek nesne ile birlikte hareket eden hareketli bir cismin konumunu doğrudan okuyan bir sensördür. Optik bir konum okuma mekanizması ve esas olarak bir iletim tipi ve bir yansıma tipi kullanılmaktadır. Ayrıca döndürülecek cismin (dönen cisim) konumu, hareketli cisim için bir kod plakası kullanılarak optik olarak okunur ve pozisyon değişikliğinden kontrol edilen cismin dönüş miktarı (dönüş yönü dahil) belirlenir ve dönme açısını ve dönüş sayısını algılayan bir encoder kullanılmaktadır.

Kontrol nesnesi yukarıda açıklandığı gibi dönen bir gövde olduğunda, kodlayıcı dönen gövdeyle birlikte hareket eden kod plakasının dönüş miktarını optik olarak okuyarak dönen gövdenin dönüş miktarını algılamaktadır. Konum okuma mekanizmasında bir arıza meydana gelirse, dönen gövdenin dönüş miktarı tespitinin devam etmesi imkansız hale gelmektedir.

Takayama ve ark., bu tür problemler göz önünde bulundurularak dönüş algılama birimi miktarında bir arıza meydana geldiğinde bile dönen bir gövdenin dönüş miktarını algılamaya devam edebilen bir konfigürasyona sahip bir encoder tasarlamıştır (Takayama, 2005). Mevcut tasarımın encoderine göre, bir algılama biriminde bir arıza meydana geldiğinde bile, geri kalan algılama birimlerinden alınan algılama bilgisine dayalı olarak dönen gövdenin dönme miktarının saptanması mümkündür.

Otomasyon sistemlerinde konum göstergeleri, konum bilgisini elektrik sinyallerine dönüştürmektedir. Bu dönüştürme işlemi ise potansiyometreler, fırça kontaktörleri, foto-elektrikli optik cihazlar, manyetik elemanlar veya indüksiyon sistemleri ile gerçekleştirebilmektedir (Hartmann, 1980). Elektrik sinyalleri konum göstergesindeki değeri, mutlak kodlar, artımsal sayımlar, voltajlar ve faz sinyalleri şeklinde göstermektedir. Artımlı sayım üreten sistemlerde (incremental encoder), tek tek palsler sayılarak başka bir referans sayımla karşılaştırma yapıldığında konum bilgisi sağlanmaktadır. Bu noktada John C. Hartman ve ark., artımlı bir sistemde yön bilgisini sağlamak için 90° kaydırma tekniğini kullanmışlardır.

Encoderler, bir cihazın veya sistemin öğeleri arasındaki konum farkını doğru bir şekilde belirlemek için kullanılmaktadırlar. Encoderler, artımlı veya mutlak olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Artımlı encoder, önceki bir konumdan değişimi gösteren konum bilgisi sağlarken, bir mutlak encoder önceki konumdan bağımsız olarak belirli bir konumu belirten mutlak konum bilgisi sağlamaktadır. Encoderler, otomatik üretim ve salınımlı sistemler gibi doğru konum bilgisi gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Örneğin, hareketli kamera sistemlerinde, kılavuzda doğru görüş hattının yeniden yapılandırılması için mutlak encoderler kullanılmaktadırlar (Williams, 2006).

Encoderlerin, hatalı konum bilgisini engellemek için yüksek çözünürlük ve yüksek hassasiyete sahip olmaları gerektiğinden, geliştirilmiş bir encoder ve bir konum belirleme yöntemine ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada Williams ve ark., mutlak doğruluğu bozmadan kesin aralığın artırılabilceği bir encoder ve yöntem geliştirmişlerdir.

Çıkış sinyallerini dijital formatta yayan açısal encoderlerin iki versiyonu vardır. İlk versiyon, açısal bilgiyi dijital bir kod yayan mutlak açısal encoder olarak adlandırılmaktadır (Li ve ark., 1996). Yani açısal değer, bir enerji kesintisinden veya bir sistemin besleme voltajının kesintisinden sonra bile, herhangi bir zamanda mutlak bir biçimde anlık kullanılabilir. Bu tür mutlak encoder ile açısal encoder milinin bir devrini, 360^0 'lık bir dönüş açısını pals sayısına tanımlı "artışlara" bölen artımlı bir açısal encoder arasında ayırım yapmak gereklidir.

Artımlı encoderle ilgili dönüş yönünü belirtmek için, iki farklı kanaldan, yani iki ayrı bağlantıda (birinci kanal A ve ikinci kanal B) ikili sinyaller şeklindeki artış bilgisini yayınlamaktadır. Dönüş yönüne ilişkin bilgiler, iki kanaldaki sinyal çıkışlarının fazlarının birbiriyle karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Örneğin kanal A, kanal B'den önce değişirse, açısal kodlama şaftı saat yönünde döner. Öte yandan, B kanalı A kanalından önce değişirse, mil saat yönünün tersine dönüyor demektir. Her iki kanaldaki çıkış sinyalleri genellikle ikili sinyaller şeklinde yayınlanır. Birçok artımlı encoderde, bir referans sinyali sağlanmış olup; bu ise devir başına bir kez, yani milin her 360^0 dönüşünden sonra görülmektedir. Bir mesafe ölçüm elemanı ya da endüstriyel robotta böyle bir artımlı encoder kullanılıyorsa, üretilen çıkış darbe sinyalleri bir elektronik sayma cihazı tarafından sayılmalıdır (Megap, 2009a).

Mutlak açısal bir encoder kullanıldığında, sadece bir kod dönüştürücü gereklidir. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi, mutlak açısal bilgi bir enerji kesintisinde dahi kaybolmaz. Şaft açısal konumu ile encoder arasında sabit bir ilişki vardır. Ancak mutlak açısal encoderlerin dezavantajları, artan çözünürlükle beraber orantısız yüksek fiyatları ve artan boyutlarıdır. Buna karşılık, artımlı açısal kodlayıcı özellikle yüksek açısal çözünürlük değerlerinde daha küçük fiziksel boyut ve önemli ölçüde daha düşük bir fiyat avantajına sahiptir. Bununla birlikte, daha önce tartışılmış olan önemli bir dezavantaj, besleme geriliminin kesilmesinden sonra, şaftın açısal konumu hakkında hiçbir bilgi bulunmaması ve besleme geriliminin kısa bir süreliğine de olsa kesilmesi durumunda bu bilginin tekrar kaybolmasıdır (Rammelsberg, 1986). Bu noktada Rammelsberg, bir referans noktası oluşturarak besleme gerilimi açıldığında, sistemin sıfır noktası oluşturabilmesi için önce üniteyi mekanik olarak bu referans noktasına sürmek gerektiğini belirtmiştir. Bu şekilde bir artımlı açısal encoderin herhangi bir açısal konumu için ayarlanabilen bir mutlak sıfır noktası ile karakterize edilebileceğini ifade etmiştir.

Fırçasız DC servo motorlar gibi motor sistemlerinin çalışmasını kontrol etmek ve bir motor sisteminin rotorunun konum ve hız bilgilerini sağlamak için encoderler çokça kullanılmıştır. Encoderlerle elde edilen hız ve konum bilgisi, motor sisteminin çalışmasını kontrol etmektedir.

Yuvalı encoderler gibi döner optik encoderler, motor sisteminin döner konumunu sağlamak için motor sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Döner optik encoderler tipik olarak hassas yatakları ve elektronik aksamaları desteklemek için bir mahfaza (enclosure), açık ve opak (saydam olmayan) desenlere sahip bir diske (optik disk), bir şaft ve ışık kaynağı (LED) ve fotodedektöre (fototransistör) sahiptirler. Optik disk döndüğünde, ışık ışını açık alanlardan geçer ancak opak alanlar tarafından engellenir, böylece optik disk ışık huzmesini etkin bir şekilde modüle eder. Darbeli ışık demeti daha sonra elektrik sinyallerinin üretildiği ve bir motor kontrolörüne sağlandığı fotodetektör tertibatı tarafından alınır (Ellis, 2007). George Ellis ve ark., bir motor milinin eksantrik hareketini algılayan ve eksantrik hareketin neden olduğu hataları dinamik olarak telafi eden bir yöntem ve sistem ile teknik bir ilerleme sağlamıştır.

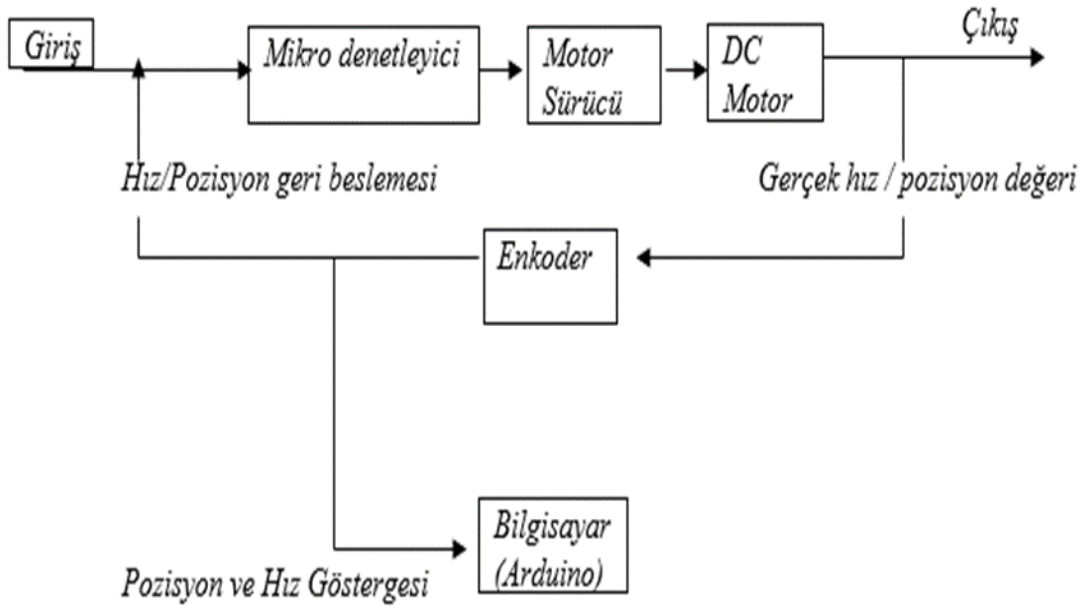
Geleneksel olarak, bir açıyı ölçmek amacıyla artımlı bir döner encoder veya mutlak bir döner encoder kullanılır. Artımlı döner encoder, bir disk üzerinde sabit bir döngü ile bir yarık kaydeder, yarığın göreceli dönme hareketini optik veya manyetik olarak okur ve okuma sonucunu orijin algılama mekanizması ile birleştirerek mutlak konumu hesaplar. Son yıllarda, yarık aralığının yaklaşık 80 mikrona yükseltildiği ve 1 sayım içindeki faz bilgisinin bir elektrik bölücü tarafından yaklaşık 10000 bölmede interpolasyonu yapılan birçok yüksek çözünürlüklü ürün bulunmaktadır. Ek olarak, yarıklar normalde birer birer okunmadığından, çok sayıda yarık optik olarak ortalaması alındığından ve okunduğundan, yarıkların toz, çizikler, kusurlar ve desen hataları iptal edilerek yüksek doğruluk elde edilir. Ancak, ilk önce orijini tespit etmeden mutlak açı bilgisi elde edilemediği için, bunun takım tezgahı ve robot alanlarına uygulanmasında sınırlı kalmıştır (Ishizuka, 2014). Bu doğrultuda Ishizuka ve ark., bu doğrultuda doğruluk açısından avantajlı bir mutlak açısal encoder geliştirmeyi hedeflemiştir.

Açısal konum ölçümü için, artımlı encoderler yaygın olarak kullanılmaktadır. Artımlı encoderler, algılanan mekanik artışlara karşılık gelen bir dizi kare dalga oluşturan mekanik cihazlardır. Konvansiyonel artımlı encoderler optik teknolojiye dayanmaktadır. Bir optik artımlı kodlayıcı, şaft ve optik sensörler üzerine monte edilmiş desenli bir kodlayıcı diski içermektedir. Disk mil vasıtasıyla dönerken, disk üzerindeki izler, foto transistör çiftleri arasındaki ışınları keser ve böylece dijital darbe dizileri, yani kare dalgalar üretir. Disk ne kadar hızlı dönerse, çıkış kare dalgalarının frekansı o kadar yüksek olur. Bu nedenle, kare dalgaların frekansı, diskin dönme hızı ile orantılıdır. Optik artımlı encoderler, şaftın konumuna göre değişen iki kare dalga sinyali üretmek için tipik olarak optik ızgaralar kullanır. Mil döndükçe iki sinyalin nasıl değiştiğini gösterir. İki kanal arasında (A ve B kanalları) konum algılama için her döngüde dört farklı durum üreten 90° faz farkı bulunmaktadır. Bu dörtlü faz ilişkisi, saat yönünde veya saat yönünün tersine dönüş yönünü üretmek için kullanılabilir. Faz bilgisini kullanarak, A'nın B'den önde mi yoksa geride mi olduğu ve dolayısıyla dönüş yönü belirlenebilir. Üçüncü bir kanal, yani bir indeks kanalı ile milin dönüş sayısını saymak için kullanılabilen devir başına bir sinyal sağlar (Madni, 2006). Bu noktada Esad M. Madni ve ark., diske daha fazla parça yerleştirerek daha yüksek bir çözünürlük elde edip bununla birlikte encoderden üretilen darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyalinden konum, hız ve yön bilgilerini üretmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Tezin bu bölümü; DC motor, artımlı encoder, mikrodenetleyici, çeşitli kontrol elemanları, PID kontrol ile oluşturulan sistem hakkında teoriler ve çalışmalar içermektedir.

3.1 Tasarım Konsepti



Şekil 3.1 Kontrol sisteminin blok diyagramı

Şekil 3.1’de blok diyagramında gösterildiği gibi DC motorun konum ve hızını istenilen değerde kontrol edebilmek için mikrodenetleyici kullanılacaktır. Bu noktada geri besleme, kontrol sisteminin temel yapısını oluşturacaktır.

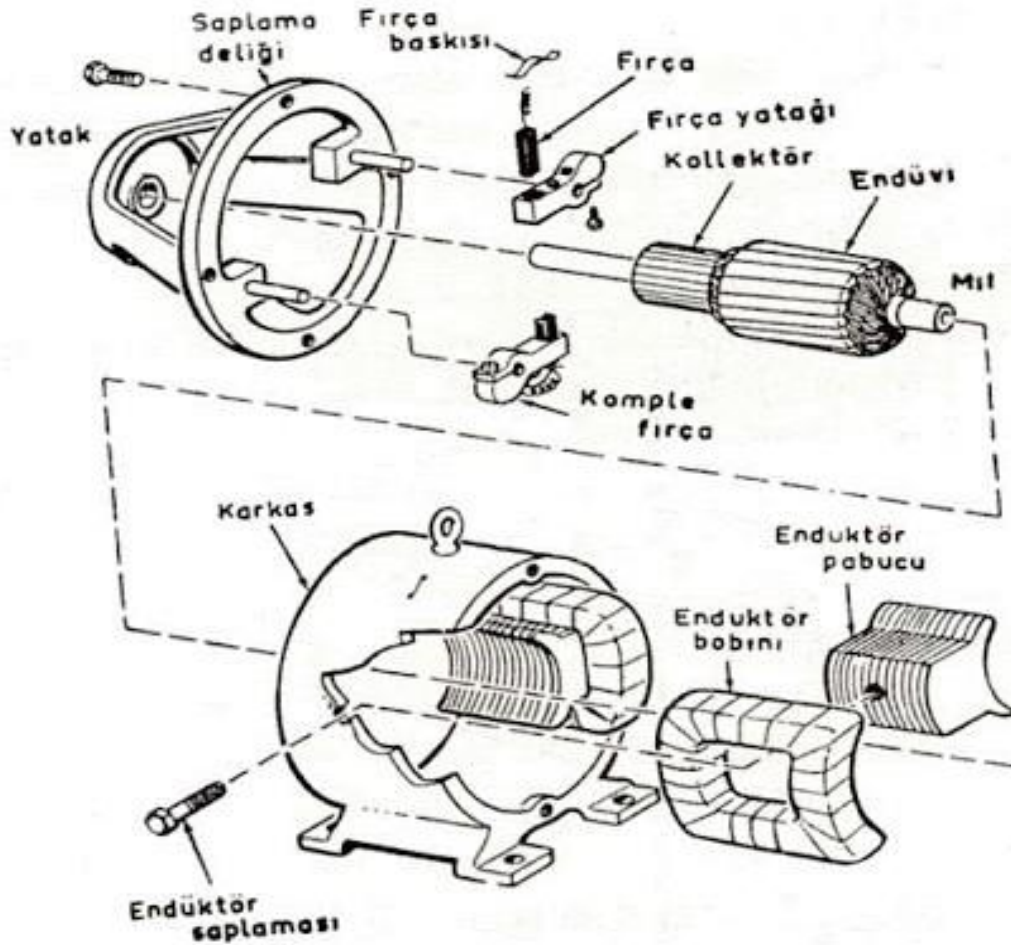
Yukarıdaki blok diyagramdan da anlaşılacağı üzere açılal konum tespiti için motor miline sabitlenmiş bir encoder (incremental) bulunmaktadır. Geri besleme ise otomasyon sistemlerinin kontrol algoritmalarında sıkça kullanılan oransal integral türev denetleyici (PID) kontrol yöntemi ile sağlanacaktır. Bu yöntem ile ölçülen değer (çıkış değeri) ile mevcut sistem değeri arasındaki fark hesaplanarak hata payı en aza indirmeye çalışılacak, sistem kontrolü ise Arduino ve bu kart üzerindeki mikrodenetleyici ile sağlanacak; mikrodenetleyici, ölçülen hız ve konum bilgisini encoderden elde edecek olup, motor sürücü olarak L298N (voltaj regülatörlü çift motor sürücü kartı) dijital çıkışı

analog bir değere dönüştürmek için kullanılacaktır. Kısaca değinilen tasarımda, DC motor sürücüsü, DC motor, artımlı encoder, DC motorun matematiksel modeli, Mikrodenetleyici, Arduino IDE ve PWM dahil olmak üzere kullanılan tüm bileşenler ilerleyen bölümlerde detaylandırılacaktır.

3.2 DC Motor

Otomasyon sistemlerinde, genellikle orta güçteki takım tezgahlarının yüklerini sürmek için kullanılmaktadırlar.

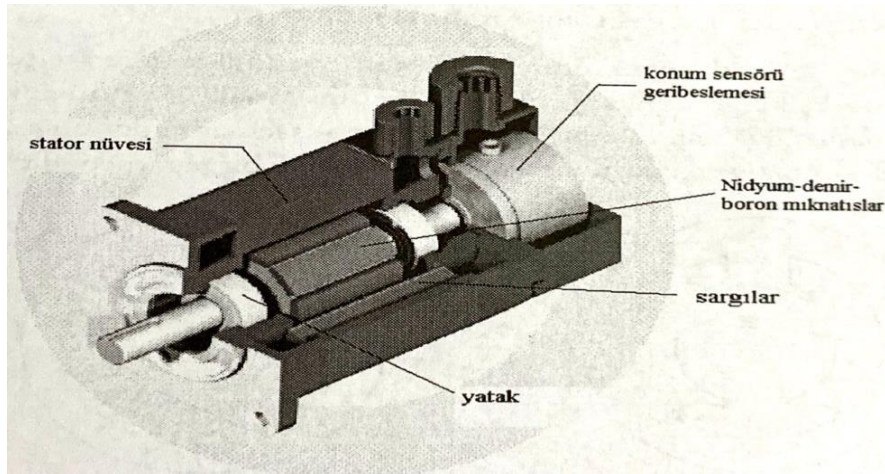
Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir elektrik makinesi olarak tanımlanan elektrik motorunun girişteki elektriksel enerjinin mekaniksel dönüşe çevrilmesini, doğru akım ile sağlayan tipine DC (doğru akım) motoru denilmektedir. Şekil 3.2’de görüldüğü bir DC motor şu ana parçalardan oluşmaktadır:



Şekil 3.2 DC motorun iç yapısı ve parçaları (Sevik, 2017)

Rotorun dönüş hareketini sağlamak için bir endüvi sargısı, manyetik alan meydana gelmesi için ise endüktöre bir alan sargısı yerleştirilmektedir. Harici bir devre ile endüvi sargısı üzerinden akım geçirmek için komütatör ve fırçalar kullanılmakta ve gücün elektrik devresinden mekaniksel olarak dönen bölgeye yani endüviye iletilmesini sağlamaktadırlar.

Kolektör üzerine yerleştirilmiş fırçaların altından geçen endüvi bobinlerinde akımın yön değiştirmesi olayına komutasyon denir. Komutasyon olayında bobinde akan akımın yönü 180° sapmaktadır. Akımın genliği pozitif değerden negatif değere gitmektedir ve bunun tam tersi olmaktadır. Akımın pozitif ve negatif genlikler arasında değişmesi akımın iki kat değişmesi anlamını taşımaktadır. Komutasyon işleminin başlama ve tamamlanması arasında geçen zamana “komutasyon zamanı” denmektedir. Olay bir kolektör lamel genişliğinin kolektör çevre hızında geçilmesi kadar süre devam eder. Zaman olarak çok küçük bir değerdir. Örneğin 1500 d/d hızla dönen bir kolektörün çevre hızı 22 m/s ve kolektör lamel genişliğinin 5mm olduğu varsayılacak olursa, komutasyon süresi 0.227 milisaniye bulunur. Bu kadar kısa zaman içinde akımın aktığı iletken kesitlerinde akım yoğunluğu artmakta ve bazı yerlerde azalmaktadır. Çok küçük elemanlar olmasına rağmen, kolektör direnci, buna bağlanan endüvi iletkeninin direnci ve bu ikisine ait bağlantı geçiş direnci ile fırçanın direnci akımı sınırlayan önemli faktörlerdir. Komutasyona etki eden ve kıvılcım oluşmasına neden olan elektriksel faktörlerin yanında, fırçaların kolektörün yüzeyine basma kuvvetlerinin çok büyük olması ve fırça temas yüzeylerinin kolektöre alıştırmamış olması da mekanik faktörlere örnek olarak verilebilmektedir (Mergen, 2006).



Şekil 3.3 Fırçasız motor yapısı (Bal, 2011)

Klasik fırçalı tip DC motorlarda komütasyon için kullanılan kollektör ve fırçaların sebep olduğu mekaniki – elektriki zorlukların üstesinden gelme düşüncesi ile tasarlanan fırçasız DC motor olarak da adlandırılan fırçasız motorlar, standart bir DC motorun performansını sağlamaktadırlar. Endüvi, endüktör, sürücü ve pozisyon algılayıcısından (encoder) oluşan fırçasız motorların, üzerinde invertör ve pozisyon algılayıcısı olmadan DC güç kaynağından beslenerek çalışması olası değildir. Yukarıda da bahsedilen fırçasız motorlardaki geri bildirim mekanizmaları, (motor sürücüsü, pozisyon algılayıcıları) kullanılarak hassas ve doğru bir kontrol sağlanabilmektedir. Fırçalı motorların aksine kollektör ve fırçalardan kaynaklanan fazla enerji tüketimi ve ısı üretimi fırçasız motorlarda görülmemektedir. Şekil 3.3'te fırçasız motor'un iç yapısı gösterilmiştir (Bal, 2011).

DC motorlar giriş sinyallerinin motor hareketlerini kontrol ettiği elektromekanik cihazlardır. Kapalı döngü geri besleme sistemleri için tasarlanan DC servolar, endüstriyel makine ve uygulamalarda, değişken hız ve pozisyon kontrol uygulamaları için sıkça kullanılmaktadır. Motor miline bağlanan bir dişli set yani redüktörlü yapı (reducer) sayesinde yüksek tork üreterek büyük kolaylık sunmaktadır. Motor devri, hızı ve konumu çıkışa bağlanan bir kontrol devresine iletilerek herhangi bir nedenden motorun dönüşü engellense bile geri besleme mekanizması motorun henüz istenilen konumda olmadığı algılayabilmektedir.

Tez çalışmasında; motor miline bağlanan bir dişli set ile, çıkış torkunu, hızını ve gücünü ayarlama imkanı sunan Şekil 3.4'de özellikleri ile birlikte verilen redüktörlü DC motor tercih edilmiştir.



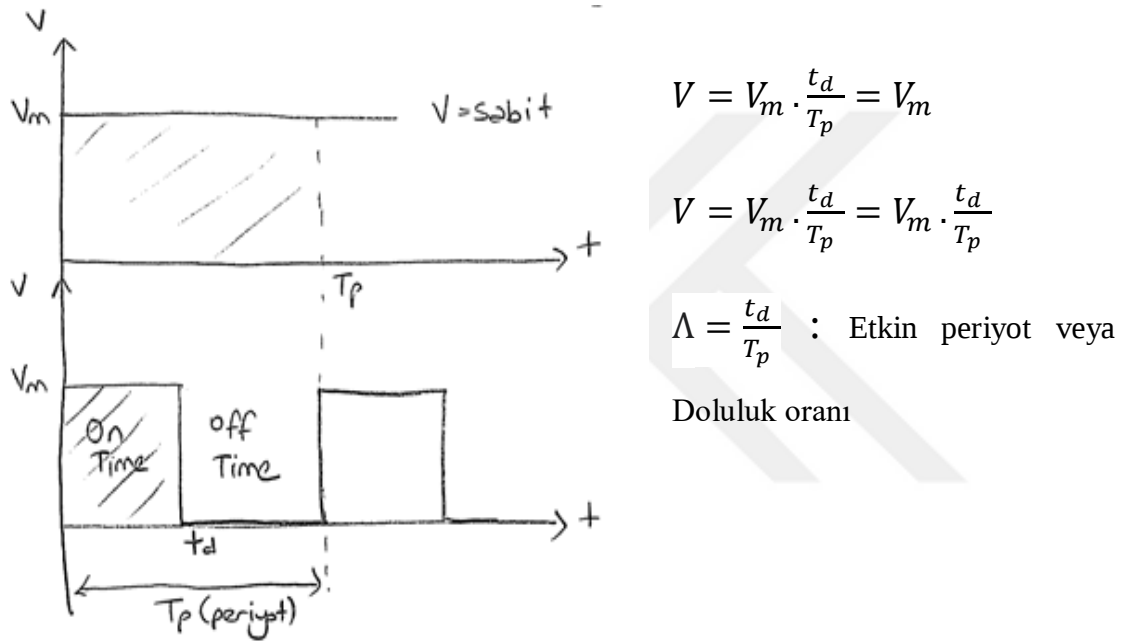
▪ **Özellikler:**

- Çalışma Voltajı: 12V
- Devir: 130 d/d
- Boşta Çektiği Akım: 80 ±40mA
- Zorlanma Akımı: 0.45A
- Motor Çapı: 25mm
- Mil: 4mm D Şaft
- Mil Uzunluğu: 10mm
- Tork: 4 kg/cm

Şekil 3.4 Redüktörlü DC motor ve özellikleri

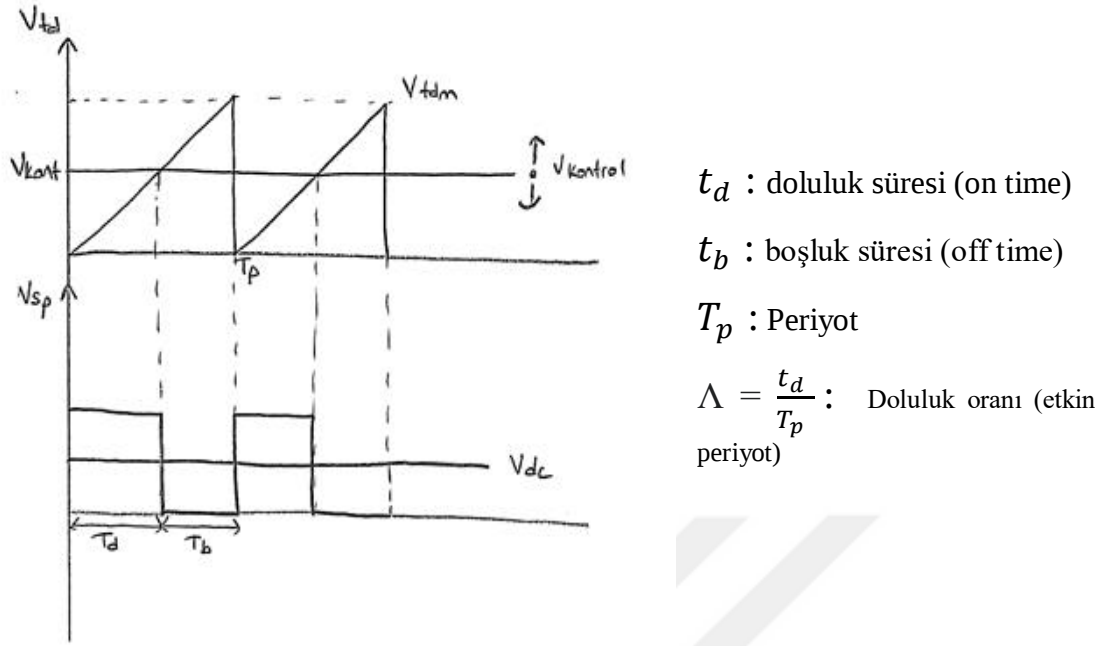
3.2.1 DC motorun hız ve konum kontrolü

Doğru akım motorlarının hızı, endüvi sargısından geçen akıma bağlı olarak endüvi akımının değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Endüviye uygulanan gerilim kontrol edilerek hız kontrolü sağlanmaktadır. Endüviye uygulanan gerilimin kontrolü için de bir A.C (alternatif akım) kaynağı gerekmektedir. Bununla birlikte, bu tasarımda ve endüstriyel uygulamalarda da çokça tercih edilen mikroişlemciden gelen kontrol sinyallerine göre Şekil 3.5’de gösterilen PWM olarak da bilinen teknik kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

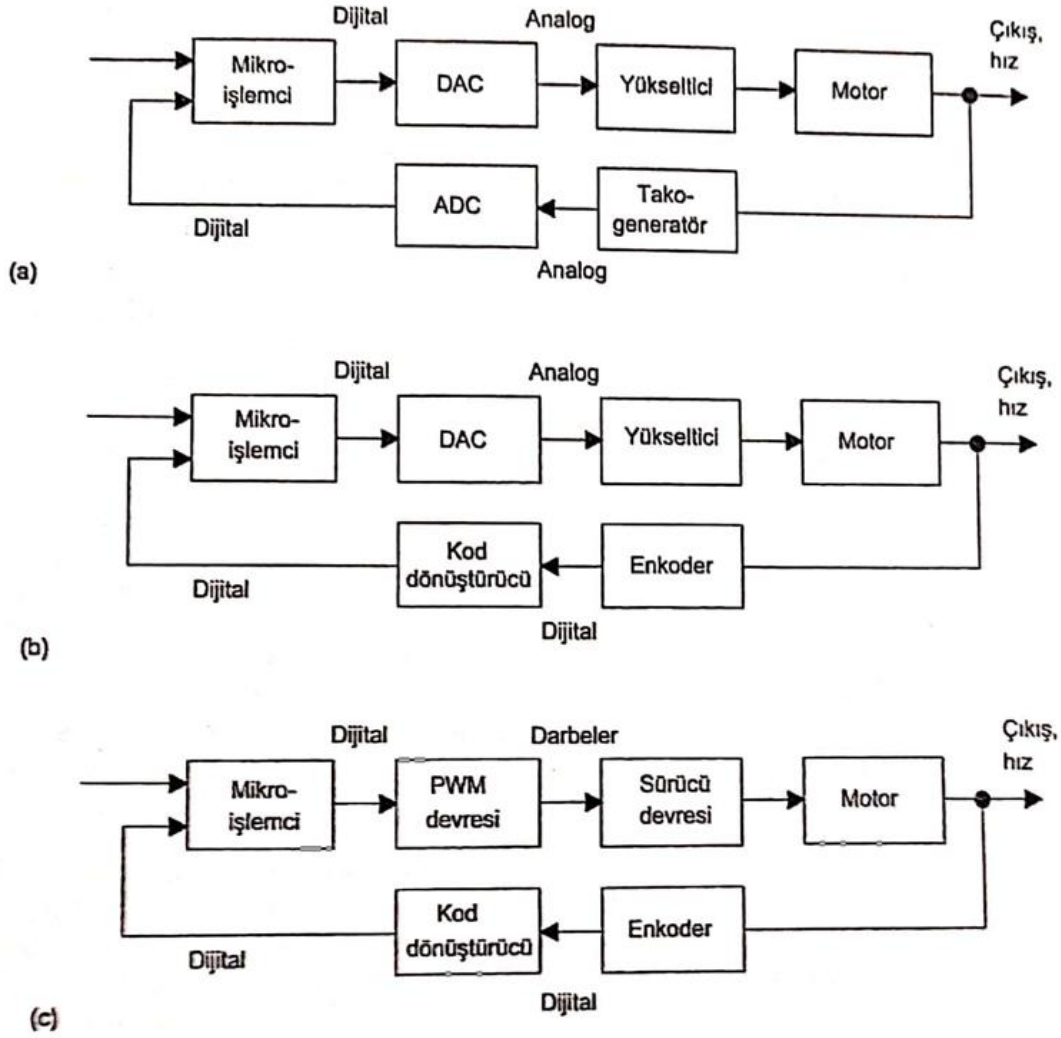
Testere dişi dalgası ile kontrol gerilimi karşılaştırılarak pozitif ve negatif olmak üzere iki çıkış sinyali üretilmektedir. Şekil 3.6’de gösterildiği gibi doluluk oranı, darbe periyot oranı, etkin periyot veya bağlı iletim süresi olarak tanımlanmaktadır. Kontrol gerilimi ile doluluk oranı $0 < \lambda < 1$ aralığında ayarlanmaktadır. Doluluk oranının değiştirilmesi ile güç kontrolü sağlanır. Doluluk oranının kontrolü genellikle frekansın sabit tutulması ve darbe genişliğinin değiştirilmesiyle sağlanır. Buna darbe genişlik modülasyonu denir (Kuç ve ark., 2015).



Şekil 3.6 DC PWM

Kaynak geriliminin ve motor tarafından sürülen yükün sabit kalacağını varsayarak yapılan DC motor hız kontrolü açık-devre kontrol olarak tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasındaki tasarımda da kullanılacağı üzere, motor hızını değiştirmek için geri besleme kullanılması ise sistemin kapalı-devre kontrol olduğunu göstermektedir. Kapalı-devre kullanılabilen metotların bazıları Şekil 3.7’teki blok diyagramlarda gösterilmiştir.

Şekil 3.7 (a)’da geri besleme sinyali bir takogeneratör tarafından sağlanır; bu, mikroişlemci girişi için bir Analog Dijital Dönüştürücü tarafından dönüştürülmek zorunda olan bir analog sinyaldir. Mikroişlemcinin çıkışı bir Dijital Analog Dönüştürücü tarafından analog bir sinyale dönüştürülür ve motorun endüvisine uygulanan gerilimi değiştirmek için kullanılır (Bolton, 2009). Bu tez çalışmasının tasarımında da kullanılacağı üzere, Şekil 3.7 (b)’de geri besleme sinyali bir encoder tarafından sağlanır; bu, mikroişlemciye doğrudan girilebilen kod dönüşümünden sonraki bir dijital sinyali vermektedir. Şekil 3.7 (a)’daki sistem, motor hızını kontrol etmek için değiştirilebilen bir analog gerilimi göstermektedir. Şekil 3.7 (c)’deki sistem tamamen dijitaldir ve PWM endüviye uygulanan ortalama gerilimi kontrol etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.7 Geri beslemeli hız kontrolü blok diyagramı (Bolton, 2009)

3.2.2 Göbek sargısı denetimli DC motorun modellenmesi ve transfer fonksiyonu

Göbek sargısı denetimli DC motoru, hızı veya açısal konumu göbek sargısı uçlarına uygulanan gerilim yoluyla denetlenen motordur. Alan sargısı akımı i_a sabit tutulan göbek sargısı denetimli DC motorunun basitleştirilmiş bir modeli Şekil 3.8’de verilmiştir. Sabit alan sargılarında hiçbir zıt EMK oluşmadığından alan sargısı akımını sabit tutmak göbek sargısı akımını sabit tutmaktan daha kolaydır. Göbek sargısı uçlarına uygulanan uyarı gerilimi e_g genellikle bir doğru akım kaynağıyla, düşük güç uygulamalarında ise elektronik kuvvetlendirici ile sağlanır. Motorun hızının sağladığı döndürme momenti göbek sargısı akımı i_g ve hava aralığı mıknatıs akısı çarpımı ile orantılıdır. Mıknatıs akısı ile alan sargısı akımı ile orantılı olan alan sargısı akımı sabit tutulduğunda akı da sabit kalır. Bu durumda döndürme momenti değişimi doğrudan

doğruya göbek sargısı akımı ile orantılı olup kısaca Eşitlik (1)'deki şekilde ifade edilebilir (Yüksel, 1991a).

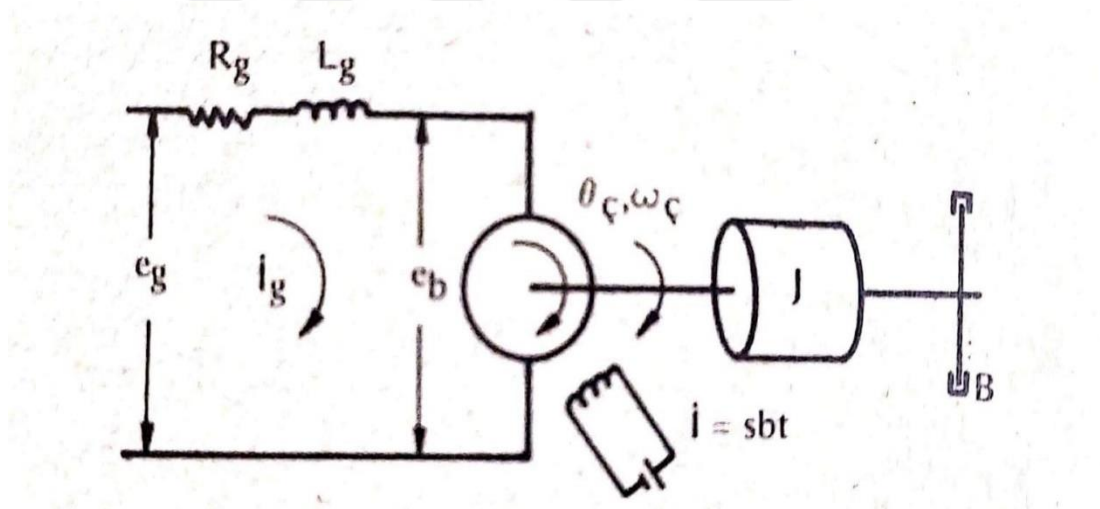
$$M = K_d \cdot i_g \quad (1)$$

Burada K_d [Nm/A]: motor-tork sabitidir.

Göbek sargısı, dönünce göbek sargısında mıknatıs akısı ve açısal hızın çarpımına orantılı bir gerilim meydana getirir. Sabit mıknatıs akısı için meydana gelen gerilim e_b doğrudan doğruya açısal hız ($\omega = d\theta / dt$) ile orantılı olup Eşitlik (2)'deki şekilde ifade edilmektedir.

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} = K_b \omega_\phi \quad (2)$$

Burada K_b [Volt/(rad/s)]: zıt emk sabitidir.



Şekil 3.8 Göbek sargısı denetimli DC motor (Yüksel, 1991a)

Sistemin girişi göbek sargısı uçlarına uygulanan gerilim e_g ve çıkışı motor milinin açısal konumu veya açısal hızı olarak tanımlandığına göre transfer fonksiyonu çıkartılabilmektedir.

Sistemin elektriksel kısmına göre diferansiyel denklemi;

$$e_g - e_b = L_g \frac{di_g}{dt} + R_g I_g \quad (3)$$

olmaktadır. Mekanik kısmının diferansiyel denklemi;

$$M = K_m \cdot I_g = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

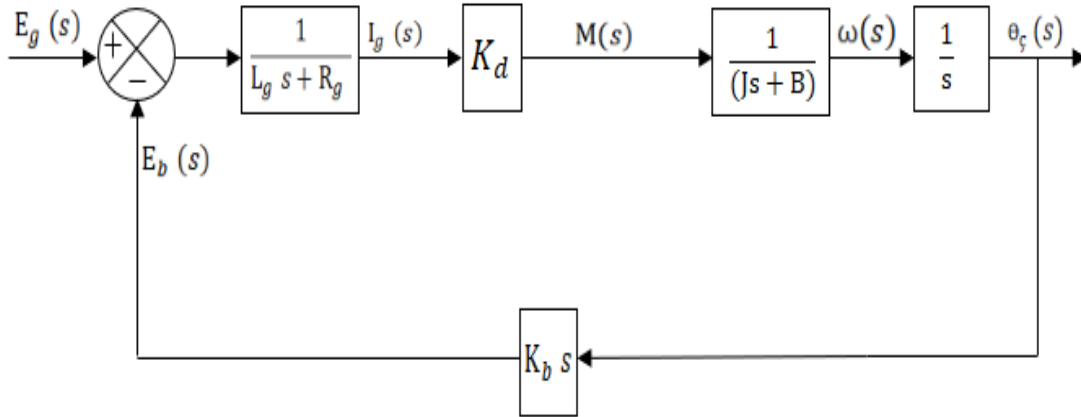
olarak elde edilmektedir (Yüksel, 1991a). (1), (2), (3), (4) nolu denklemlerin Laplace dönüşümleri alındığında,

$$E_g(s) - E_b(s) = [(L_g s + R_g)] I_g(s) \quad (5)$$

$$E_b(s) = K_b s \theta(s) \quad (6)$$

$$M(s) = K_d I_g(s) = [Js^2 + Bs] \theta(s) \quad (7)$$

Eşitlik (5), (6), (7) 'ye göre Şekil 3.9'deki blok diyagramı elde edilmektedir. Zıt EMK'nın etkisi motor hızına orantılı geri besleme sinyali olarak ele alınmakta olup, sistemin etkisini artırır. Şekil 3.9'deki blok diyagramın indirgenmesinden sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde elde edilir.



Şekil 3.9 Göbek sargılı DC motor blok diyagramı (Yüksel, 1991b)

$$\frac{\theta_{\check{c}}(s)}{E_g(s)} = \frac{K_d}{s[L_g Js^2(L_g B + R_g J)s + R_g B + K_d K_b]} \quad (8)$$

Göbek sargısı indüktansı L_g genellikle çok küçük olduğundan pratikte ihmal edilebilmektedir. L_g yaklaşık olarak sıfır alınırsa Eşitlik (8) aşağıdaki şekilde basitleşmektedir.

$$\frac{\theta_{\check{c}}(s)}{E_g(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \quad (9)$$

Burada $K_m = K_d / (R_g B + K_d K_b)$: Motor kazanç katsayısı

$T_m = R_g J / (R_g B + K_d K_b)$: Motor zaman sabiti

Eşitlik (8), (9)'da görüldüğü gibi sistemin transfer fonksiyonu $1/s$ ifadesi içermektedir. Bu nedenle sistem indükte özellik taşımaktadır. Eşitlik (9)'u yakından inceleyecek olursak küçük R_g ve J değerleri için motor zaman sabiti ihmal edilecek mertebeye düşer ve bu durumda motor ideal alıcı integral eleman gibi etki edecektir (Yüksel, 1991b).

Eşitliklerde kullanılan bütün ifadeler, isim ve birimleri ile birlikte Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 DC motor fiziksel parametreleri

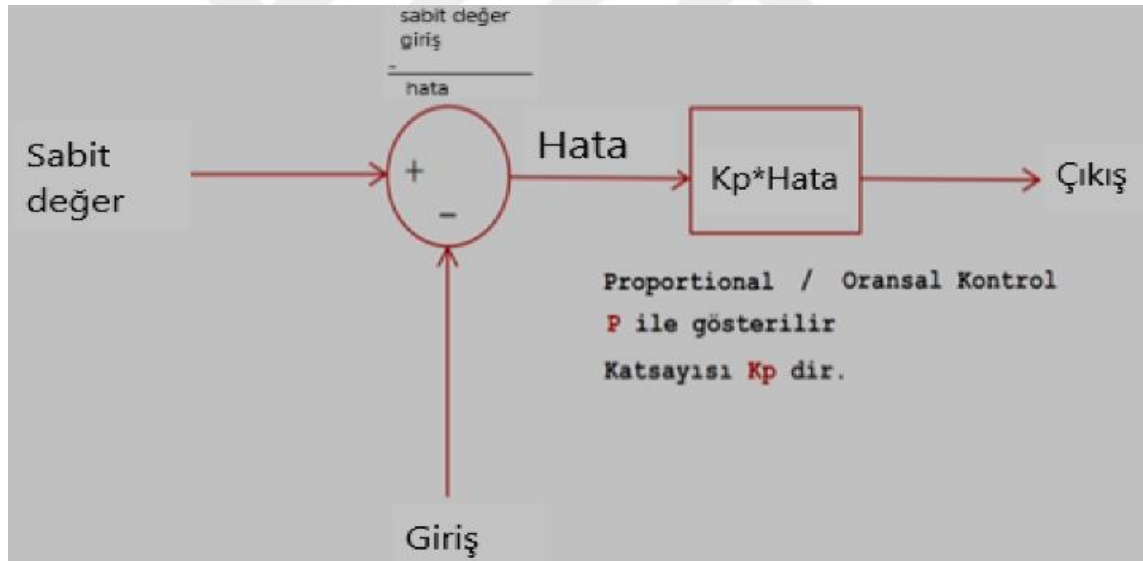
Sembol	İsim	Birim
R_g	Endüvi direnci	Ω
L_g	Endüvi endüktansı	H
I_g	Endüvi akımı	A
J	Eylemsizlik momenti	kg. m^2
B	Viskoz sönüm katsayısı	Nm/rpm
K_m	Motor kazanç sabiti	Nm/A
K_b	Zıt EMK sabiti	V/(rad/s)
K_d	Döndürme momenti değişim sabiti	M/ Ia
e_g	Alan sargısı gerilimi	V
e_φ	Endüvi çıkış gerilimi	V
ω	Açısal hız	Rad/s
e_b	Zıt EMK	V
θ_φ	Mil açısı	rad
M	Moment	Nm
T_m	Motor zaman sabiti	sn

3.3 PID (Oransal – Integral – Türev Denetim Organı)

PID kontrol ve algoritmasından bahsetmeden önce oransal, integral ve türev gibi temel kavramları tanımlamak gerekmektedir.

3.3.1 Oransal kontrol (P – kontrol)

Bir sistemi kontrol etmek için, kontrol edilmesi gereken sistemin öncelikle ölçülebilir (hız, sıcaklık, konum, kuvvet, nem vs.) olması gerekmektedir. Ölçülebilen ve değiştirilebilen her türlü fiziksel büyüklük aynı zamanda kontrol edilebilir. Örneğin; bir otomobilin kontrol edilebilmesi için öncelikle hız bilgisinin bilinmesi ve bu hızın göstergede görülebilmesi gerekmektedir. Aracın hızının 80 km/sa hıza çıkartılması gerektiği varsayıldığında mevcut hız bilgisi ile hız arttığında veya azaldığında göstergeden feedback (geribildirim) alınarak aracın kontrolü sağlanabilmektedir. İşte bu kontrol sistemlerinin geneli geribildirim üzerine kuruludur.



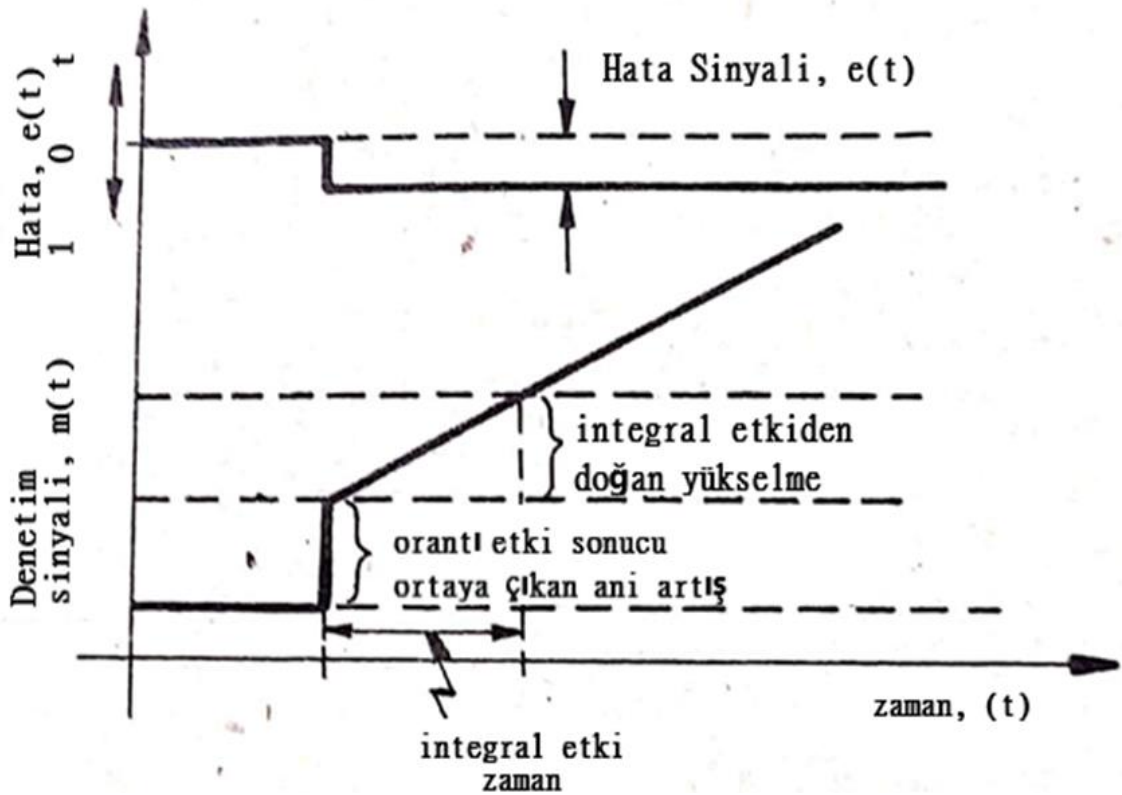
Şekil 3.10 Oransal kontrol

Oransal kontrolde Şekil 3.10’de görüldüğü gibi, Input bir giriş elemanı (sensör, buton, anahtar vb.) olarak tanımlanıp kontrol edilmesi gereken değişkenin anlık değeri olarak ifade edilmektedir (Yuksel, 1991c). Setpoint değeri ise sistemi sabit tutmayı sağlayan ayar noktası olarak tanımlanabilir. Bu noktada oransal kontrolde, kontrol sistemi çıkışı bir oransal sabit yoluyla kontrol sistemi girişine oranlanmaktadır. Bir diğer önemli parametre de error (hata) parametresidir. Hata olmayan bir durumda kontrolden söz etmek mümkün görülmemektedir. Çünkü amaç hatayı düzelterek kontrol sağlamaktır. Hatanın

büyüklüğü ise oransal kontrolün çıkışını belirlemektedir. Hata küçük olduğunda ise kontrol elemanı yeteri kadar etkili düzeltici sinyal üretemez. Bu nedenle oransal kontrolle çalışan sistem kalıcı hata verebilmektedir. Oransal kontrol P ile gösterilir ve katsayısı K_p 'dir.

3.3.2 Oransal - integral kontrol (PI – kontrol)

Integral kontrol, kontrol sistem uygulamalarında bir değişkenin zamana bağlı değişen değerlerinin toplamını ifade etmektedir (Yüksel, 1991c). Daha önce de oransal kontrol çıkışı hata değeri ile doğru orantılı olduğu ve hata büyüdükçe oranın da büyüyeceği ifade edilmiştir. Ancak oransal kontrol, dinamik bir yapıda değildir. Yani sistem hata oranı bir değerde dengeye gelip sabitlendiğinde, o hata oranı hep aynı çıkışı üretmektedir. Bu şekilde sistem hatayı sıfırlayamaz ve set edilen değer kontrolünü sağlayamamaktadır. Fakat integral kontrolde, hata oranı bir sonraki seferde bir önceki seferin üzerine eklenen bir döngü halinde devam ederek, devamlı olarak hata pozitif ise artan, negatif ise azalan bir çıkış kontrolü vardır.



Şekil 3.11 Orantı-integral etki (PI) (Yüksel, 1991c)

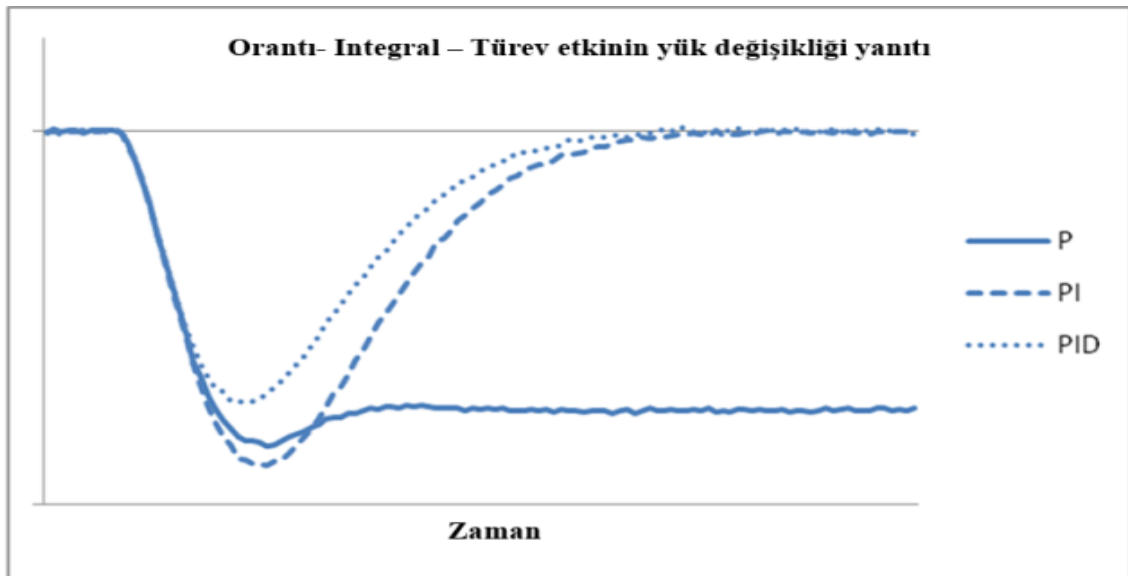
Oransal kontrol çıkışı hareketle birlikte sürtünme gibi başka enerjilere de dönüşerek denge durumuna gelebilmektedir. Ancak integral kontrolü sisteme dahil edildiğinde döngü ve hata devam ettikçe yeni hatadan elde ettiği çıkışı bir önceki hatadan elde ettiği çıkışın üzerine eklemektedir. Böylece sistem bir bozucu ile bile karşılaşsa hatayı sıfırlayacak kadar çıkışını artırabilir. Hatada bir değişim karşısında PI kontrol çıkışındaki değişim Şekil 3.11’de verilmiştir (Yuksel, 1991c).

3.3.3 Orantı – integral – türev kontrol (PID)

Matematiksel olarak türev (derivative), değişimi ifade etmektedir. Hız-kontrol örneği üzerinden düşünüldüğünde, integral hızı ifade ederken türev ivmeyi ifade etmektedir. Bir başka örnek olarak sıcaklık kontrolü ele alındığında, sıcaklığın zamana bağlı değişimi türev kontrol olarak ifade edilebilmektedir.

Oransal–integral -türev kontrol çıktılarının, daha önce belirtilen “hata varsa çıktı üretilebilir” durumu esas parametrenin hata olduğunu göstermektedir. Şu anki hata ile bir önceki hata arasındaki farkı alınıp iki hata arasındaki farka bölündüğünde anlık olarak hızın değişimi bulunabilmektedir. Zaman bağıllık olarak bahsedilen durum, bu şekilde ifade edilebilmektedir.

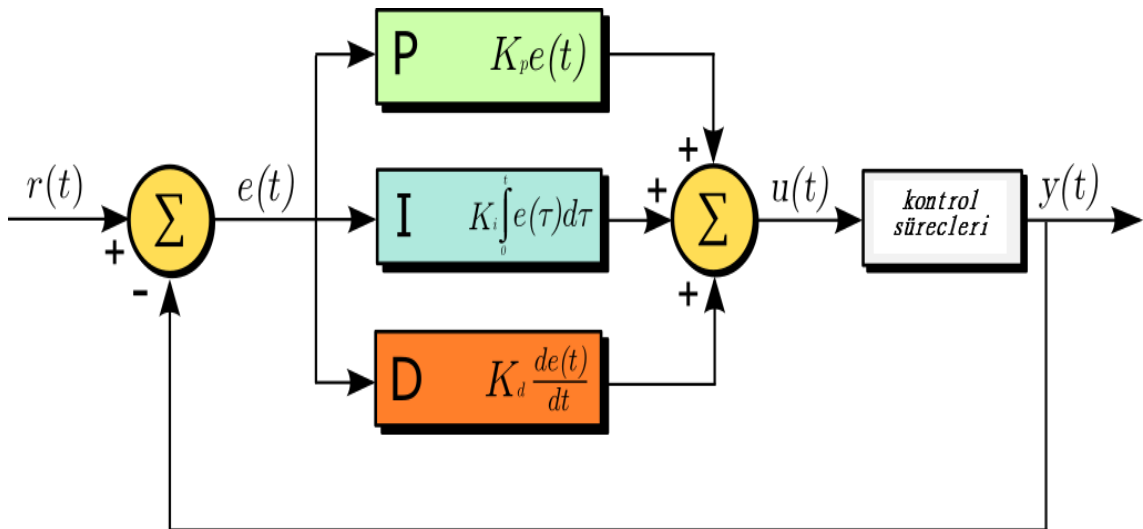
Türev, kontrol çıkışını her zaman oransal ve integral kontrolün aksi yönünde etkilemektedir. Oransal ve integral kontrolün hatanın sıfır olduğu noktaya doğru ivmeleme durumu varken, türev bu ivmeyi sürekli azaltma eğilimindedir.



Şekil 3.12 Orantı- integral – türev etkinin yük değişikliği yanıtı (Smuts, 2010)

Kontrol çıkışını sağlamak için ikiye karşı bir kişinin bir ipi iki ayrı ucundan çekmeye çalışması olarak durumu örneklendirmek doğru olacaktır. Hata sıfır olmaya yaklaşıncaya kadar türevin bu negatif etkisi genelde integral ve oransal etkiye karşı devam etmektedir. Hata sıfır olmak üzereyken oransal etki gücünü kaybetmeye başlamaktadır ve neredeyse integral ve türev baş başa kalır denilebilmektedir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi türev integrali yendiğinde, sistem hatanın sıfır olduğu yani sistemin set ettiği noktaya oturmaktadır.

PID kontrol bir süreci izleyerek, sistemi istenen koşullarda veya yakın koşullarda tutmak ve daha önce belirtilen bazı değişkenleri ayarlamak için uygulanacak kontrolördür. Çeşitli dinamik özelliklerine rağmen mükemmel algoritmalar sağlayabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, çalışma sırasında sabit hız ve konum kontrolü sağlayabilmek için PID kontrol kullanımı çokça tercih edilmektedir. Şekil 3.13’de gösterildiği gibi oransal, integral ve türev kavramlarının PID algoritmasında üç kontrol modu vardır. Hangi modların kullanılacağına dair karar vermek ve kullanılan modlar için parametreleri veya ayarlamaları belirlemek PID algoritmayı kullanırken hayati önem taşımaktadır. Her kontrol modu bağımsız olarak ayarlanarak kontrol modlarının performansları gözlemlenir. Biri diğerini etkileyebileceğinden minimum hatayı elde edebilmek için üç kontrol modunu da ayarlayabilmek son derece karmaşıktır. Yukarıda verilen tanımlardan anlaşılacağı üzere genel olarak P, PI ve PID olmak üzere üç temel algoritma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, proje için kullanılacak kontrol modu PID denetim olacaktır.



Şekil 3.13 PID kontrolün blok diyagramı (Laurean ve ark., 2016)

PID kontrol algoritması oransal integral türev olarak sırasıyla K_p , K_i ve K_d kazanç sabitleriyle ifade edilmektedir. Buna göre PID kontrol algoritması şu şekilde formülize edilebilmektedir (Yuksel,1991c);

P (Oransal kontrol): $K_p e(t)$

I (Integral Kontrol): $K_i \int_0^1 e(t)dt$

D (Türev Kontrolü): $K_d \frac{de(t)}{dt}$

PID Kontrol: $V(a) = K_p e(t) + K_i \int_0^1 e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$

Kontrol sisteminin, performansını optimize edebilmek için yukarıda bahsi geçen sabitlerin sayısal değerleri deneme yanılma yöntemiyle ayarlanabilmektedir.

3.4 Optik Encoder (Sinyal Üreticiler)

Servo motorların pozisyon kontrolü için CNC işleme takımlarına, 3B yazıcılara veya endüstriyel robotlara entegre edilen encoderler yani sinyal üreticiler, basitçe dönel (rotary) ya da doğrusal (lineer) hareketleri elektriksel sinyallere çeviren elektromekanik cihazlardır. Elektriksel sinyallerin genelde iki farklı çıkış tipi bulunmaktadır. Bunlar analog (sinüzoidal) ve daha yaygın olan kare dalga (dijital) şeklindedir (Göztaş, 2018). Şekil 3.14’te gösterilen, rotary (dönel) olarak çalışan şaft encoder, doğrusal olarak çalışan encoder ise lineer encoder olarak adlandırılmaktadır.

Hareketli aşamalara sahip mekanizmaların gerçek pozisyonlarını tam olarak göstermeyi sağlayan shaft encoder’lar,

- Açısal konum,
- Doğrusal ve dönel pozisyon,
- Dönme hızı,
- İvme, gibi fiziksel nicelikleri ölçmek için kullanılabilmektedir.

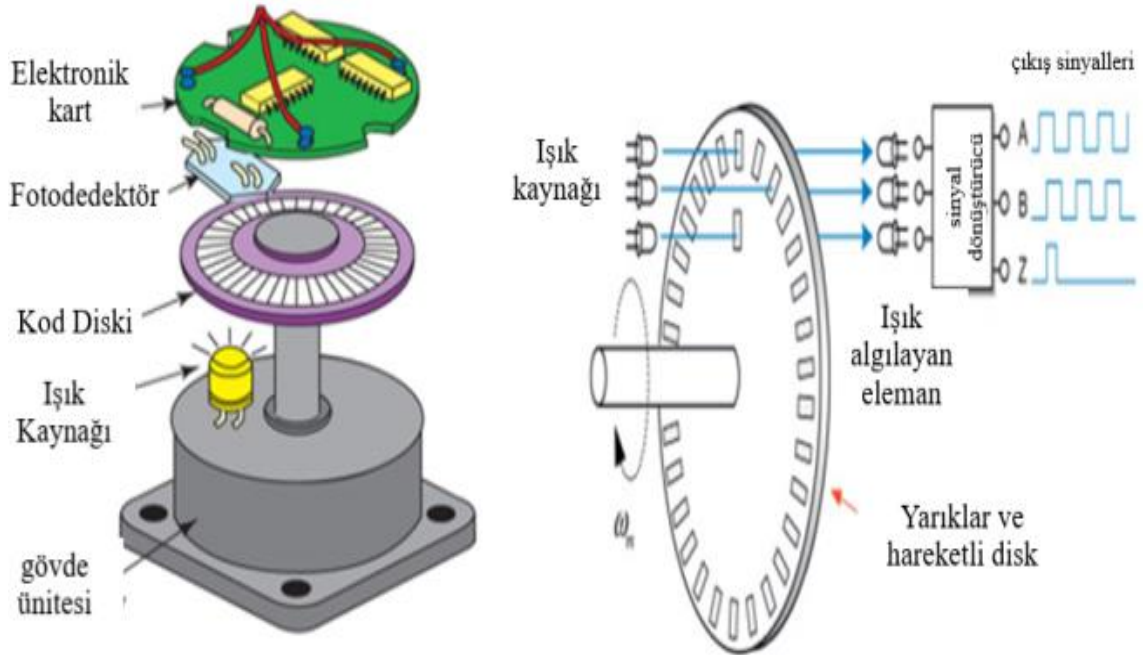
Çıkış tiplerine göre mutlak tip ve artımsal tip olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Koybasi, 2013).



Şekil 3.14 Encoder çeşitleri (Anonim, 2020)

3.4.1 Artımsal tip (incremental) encoder

Artımlı encoderlerin iç yapısında basitçe, eşit aralıklı saydam bölümler içeren diskler ve karşılıklı olarak yerleştirilen LED (ışık yayan diyot) ve fototransistör kullanılmaktadır (Şekil 3.15).

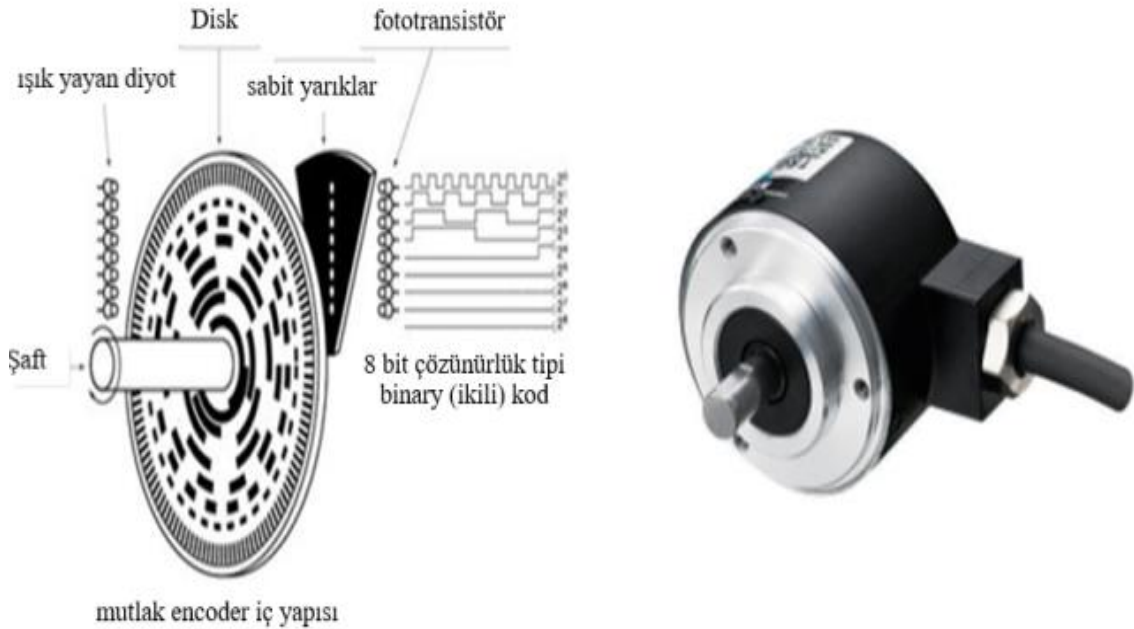


Şekil 3.15 Incremental (artımlı) encoder ve çıkış yapısı (Anonim, 2021)

Işık yayan diyot, göndereni okuyarak ışığı bir fototransistör aracılığı ile algılamaktadır. Bu şekilde artımsal encoder darbe (pals) üretebilmektedir. Çıkış devir başına pals cinsinden ölçülerek, pozisyon ve devir sayısı tespit edilebilmektedir. Dönüşü algılayabilmek için encoder iki çıkışa ihtiyaç duymaktadır. A ve B çıkışı olarak adlandırılan kare dalga sinyalleri 90° faz farkı ile gelmektedir. Bu sayede encoderin hangi yöne döndüğü tespit edilebilmektedir. Z çıkışı olarak adlandırılan kare dalga ise artımsal encoderin her bir tam turunda bir kez pals üretmektedir. Bu sayede Z çıkışından elde edilen her pals değeri, artımsal encoderin kaç tur döndüğü bilgisini verir.

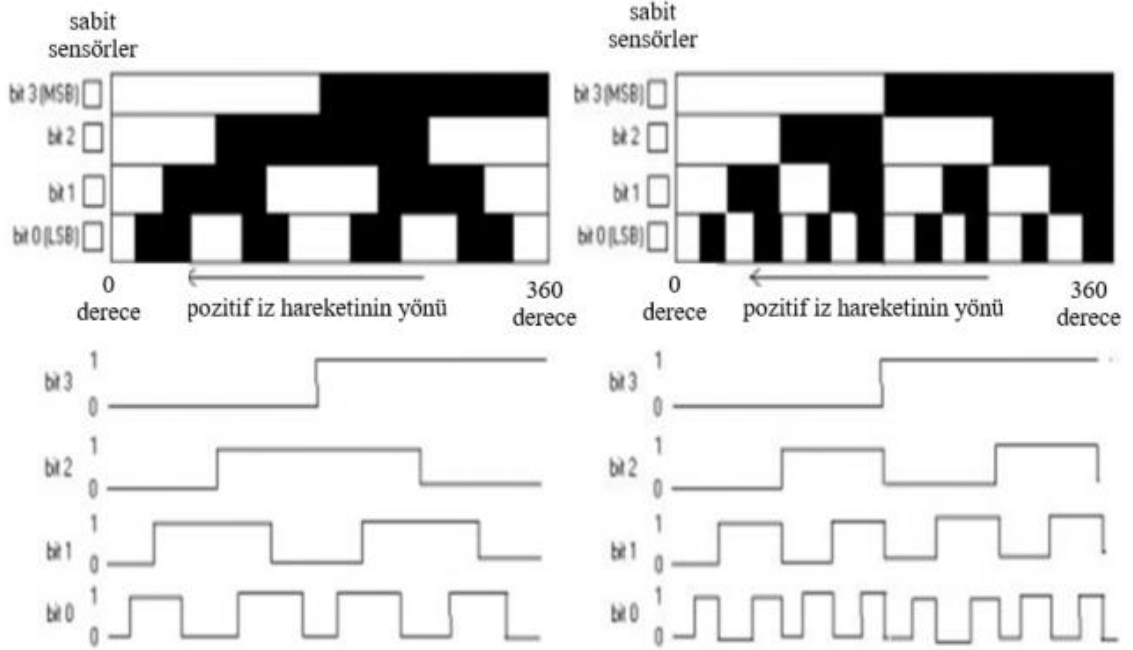
3.4.2 Mutlak tip (absolute) encoder

Mutlak tipteki bir encoderin yapısı, bir kod çözücüye (decoder) ihtiyaç duyması sebebiyle artımsal encodere göre daha komplike bir yapıdadır (Şekil 3.16). Ancak milin herhangi bir açisal pozisyonunun, enerji kesintisinden sonra bile okunabilmesi büyük bir fayda sağlamaktadır. Enerji kesildiğinde dahi konum bilgisini sürdürebilen mutlak encoder enerji verilmesi ile birlikte hemen mevcut konumuna geçmektedir. Bu doğruluk sayesinde kalibrasyon ayarı gerektirmemektedir.



Şekil 3.16 Absolute (mutlak) encoder ve çıkış yapısı (Matteucci, 2021)

Daha önce de belirtildiği üzere pals bilgisi veren artımlı encoderlerin aksine, mutlak encoderler pozisyon bilgisi vermektedirler. Bu bilgi ise Şekil 3.17’de görüldüğü gibi binary çıkış tipi olarak adlandırılan ikili sistem metodu esas alınarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.17 Gray kod ve binary kod sistemli mutlak encoder çıkışı (Alciatore, 2018)

3.4.3 Mutlak ve artımlı encoder karşılaştırması

Mutlak Encoderlar milin her konumu için kendine özgü bir bilgi taşır ve bu bilgi okunduğunda motor milinin ya da robot kolunun hangi pozisyonda olduğu bilinmektedir. Ancak incremental yani artımlı encoder kullandığımızda motor milinin pozisyonunun tespiti için önce milin sıfır pozisyonuna getirilmesi daha sonra encoder çıkışından gelen 1 ve 0 sayılarak her defasında pozisyonun hesaplanması gerekmektedir.

Artımsal encoderlerin imalatına oranla daha komplike bir teknoloji gerektiren mutlak encoderler, pahalı olduğu için daha az tercih edilse de gerçek ve hassas konum bilgisinin önemli olduğu proje-uygulamalarda daha tercih edilir olmuştur.

Artımlı encoderın, bir elektronik devre eklentisi, harici bir batarya ile beslenen mikrodenetleyici tarafından pozisyonu sürekli hafızasında tutularak ve haberleşme yöntemlerinden (Canbus, profibus, fieldbus vb.) biri ile kontrol sistemine gönderilerek

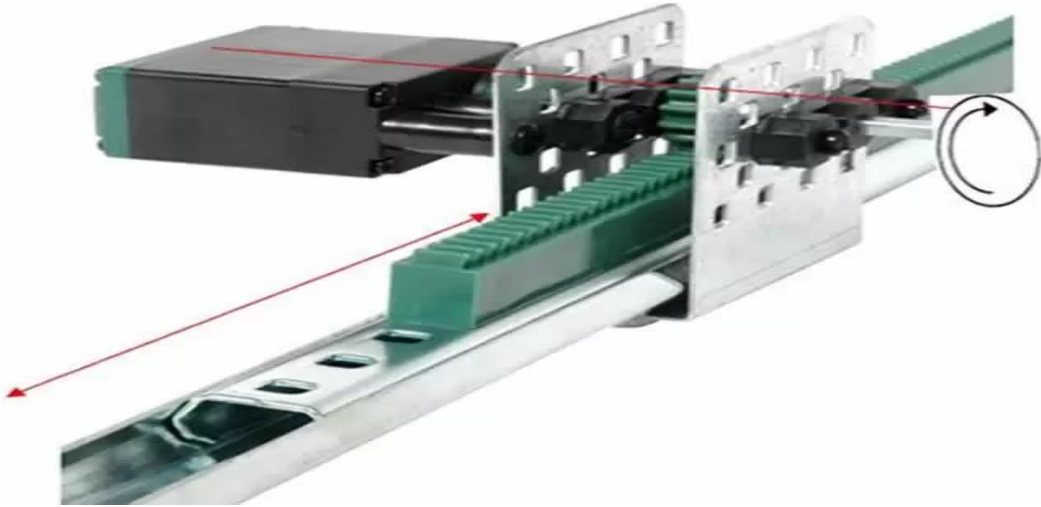
mutlak encoder gibi kullanılması sağlanabilir. Böylece daha ekonomik bir çözüm elde edilmiş olacaktır.

Yukarıda bahsedildiği üzere mikrodenetleyici harici bir pil ile beslendiğinde, sistemin enerjisi kesildiğinde dahi motorun, pozisyonu hafızasında saklayacağı öngörülmektedir. Bu durum gerçekleşmez ise sistemin artımsal encoder olma özelliği devam ediyor demektir. Harici pil yardımı ile sistem açılır açılmaz pozisyon bilgisi elde edilebilecektir.

Artımlı encoder ve mutlak encoder, motorun hız ve pozisyon bilgisini sağlıklı bir şekilde elde edebilmek için çokça tercih edilmektedir. Donanım ve yazılıma dayalı açık kaynaklı bir elektronik platform olarak nitelendirilebilecek “Arduino” ve bu kart üzerindeki mikrodenetleyiciye bir dizi talimat verilerek optik encoder ile çeşitli uygulamalarda hız ve pozisyon hesaplamaları incelenebilmektedir.

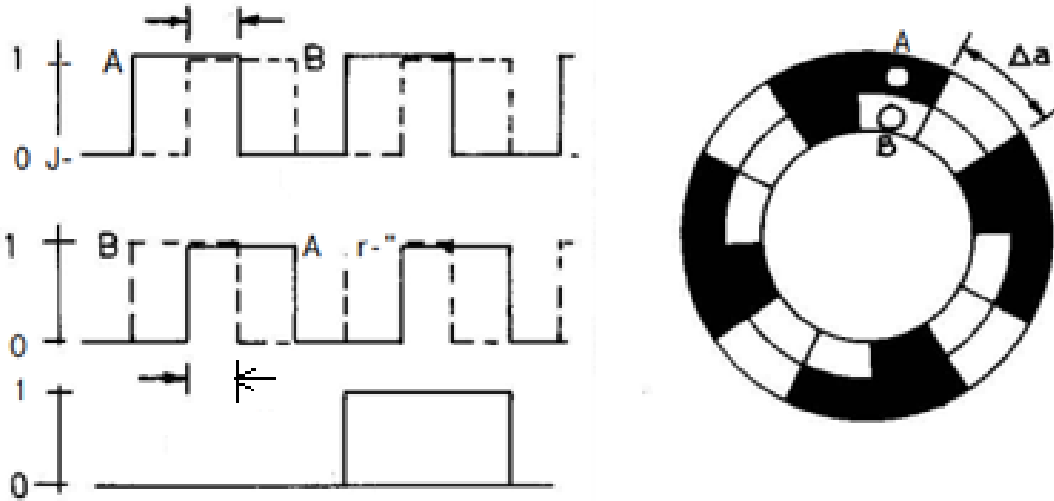
3.4.4 Encoderin çalışma prensibi

Bu projedeki DC motorun, hızını ve konumunu tespit için iki fazlı (quadrature) artımlı encoder kullanılmıştır. Şekil 3.18’de görüldüğü üzere krameyer ve pinyon gibi robotik uygulamalarda dönme hareketini doğrusal harekete çeviren mekanizmaların milinin hız ve konumunun tespitinde çokça kullanılmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi encoderler, döner harekete bağlı olarak sinyal üretebilmektedirler. Bu çıkış sinyalleri her pozisyonda benzer kare dalga şekilleridir. Encoderde, yön ve ilerleme bilgisi bu dalga şekillerine göre tespit edilmektedir.



Şekil 3.18 Krameyer dişli çiftinin robotik mekanizmalarda kullanımı (Anonim, 2014)

Artımsal encoderlerin sıfır referans çıkışı, bir referans noktası tespitinde kullanılmaktadır. Şekil 3.19'da A ile B ışık algılayıcılarının çıkışları arasında sürekli olarak 90° 'lik bir faz farkı bulunmaktadır. Disk saat yönünde dönmekteyse, B ışık algılayıcısı çıkışı A algılayıcısı çıkışından 90° geri kalmakta, disk saat yönü tersine dönmekteyse, 90° ileri yönde gittiği gözlemlenmektedir. Yön bilgisi tespiti, A ve B ışık algılayıcılarının çıkış pulslerini kullanan bir dijital elektronik devreyle sağlanmaktadır. Şekilde görülen artımsal encoder, özel olarak kodlanmış ve ışık algılayıcıları, şekildeki gibi yerleştirilen farklı bir dijitalleştirici disk kullanmaktadır. Diskin sağa ve sola dönme hareketi, A ve B ışık algılayıcılarını farklı konumlara getirmektedir. Bu sebeple, bir dijital elektronik devreyle, A ve B ışık algılayıcıları çıkışlarından dönüş yönü bilgisini elde etmeyi mümkün hale getirmektedir.

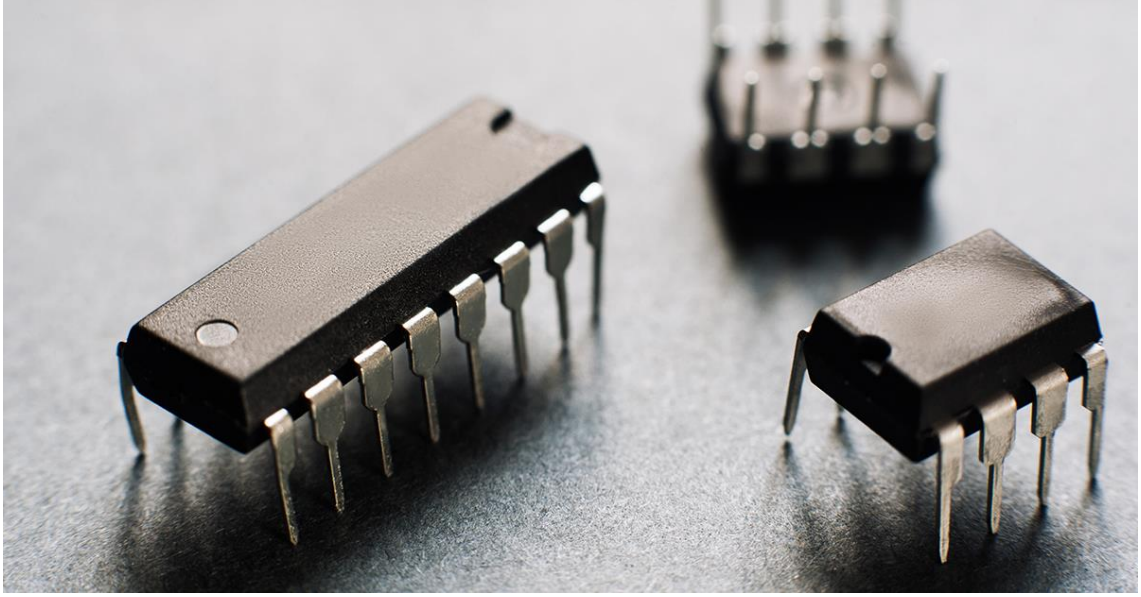


Şekil 3.19 Bir artımsal encoderin sayısallaştırıcı diskini yapı ve A-B çıkışları (Dalgıç, 1984)

Artımsal encoderler, hız ve konum kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Elektronik uygulamalarda, doğru ve hassas konum bilgisi bu tür dönel kodlayıcıların çıkışlarına göre değer üreten ileri - geri sayıcılarla saptanmaktadır. Bilgisayar kontrollü uygulamalarda ise, artımsal encoder çıkışları sürekli okunmakta ve yazılımsal olarak doğru ve hassas konum bilgisi elde edilebilmektedir (Dalgıç, 1984).

3.5 Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyiciler, tipik olarak CPU, RAM, ROM, G/Ç pinleri, zamanlayıcılar ve çeşitli komponentleri içeren entegre bir yonga olarak ifade edilebilmektedir. Tüm bu komponentleri içeren bir mikrodenetleyici, kontrol sisteminde çok özel işlevler sağlayabilmektedir.



Şekil 3.20 Mikrodenetleyici (Jokanovic, 2021)

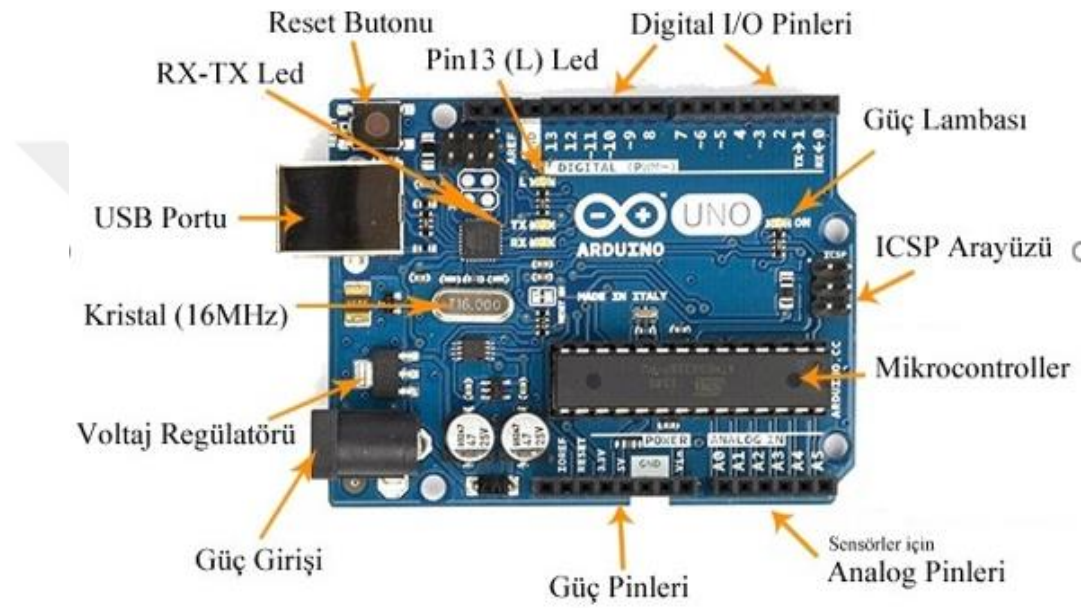
Endüstriyel uygulamalarda, Şekil 3.20’de gösterilen mikrodenetleyiciler, genellikle gömülü bir sistemin yani büyük cihazların parçası olarak nitelendirilebilmektedir. Bir DC motor kontrol edilmek istediğinde, programları saklama ve çalıştırma yeteneği ile kontrol sistemindeki en iyi seçimlerden biri olmaktadır. Ayrıca, matematiksel ve mantıksal işlev ve fonksiyonları, karmaşık mantığı ve elektronik devre tasarımına gerek duymadan bir ekosistem halinde kullanılabilmesi, düşük maliyet, program saklama ve çalıştırmadaki esnekliği de DC motor hız ve konum kontrol sistemi uygulamalarında mikrodenetleyicileri çokça tercih edilir hale getirmiştir. Bu ekosistemin en çok kullanılan, mikrodenetleyici kart tasarımlarından biri de ARDUINO IDE’ dir.

3.5.1 Arduino IDE

İlk olarak 2005 yılında açık kaynaklı bir donanım ve yazılım projesi olarak lansmanı yapılan Arduino, hem yeni başlayanlar hem de profesyonellerin entegre geliştirme ortamı (IDE) olarak tanımlanan platformda sensörler ve aktüatörler kullanarak

çevreyle etkileşimli cihazlar oluşturmak için tercih edilebilir bir yol haline gelmiştir (Allahverdi ve ark., 2019).

Arduino, geliştirme kartı kullanım alanlarına ve giriş-çıkış pinlerine göre farklılık göstermekte olup, 17 farklı çeşidi bulunmaktadır. 14 tane dijital, 6 tane analog giriş ve çıkışlara, 32KB Flash belleğe ve 16 MHz hızında açık kaynak donanımına sahiptir (Lee ve ark., 2014).



Şekil 3.21 Arduino Uno geliştirme kartı (Ozakinci, 2019)

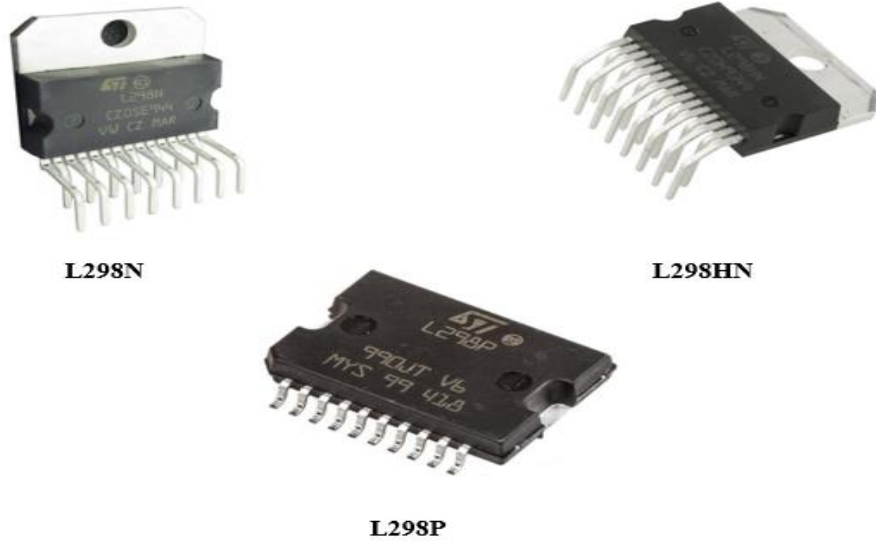
Arduino modellerinin giriş seviye kartı olarak da ifade edilebilen Şekil 3.21'deki Arduino Uno geliştirme kartının özellikleri aşağıda verilmiştir (Ozakinci, 2019) :

- ATmega328P mikrodenetleyici (8 bit)
- 14 digital giriş/çıkış pini
- 6 Analog giriş/çıkış pini
- PWM girişleri
- 16 Mhz kristal
- Bir USB kartı / güç jak girişi (5V)
- Bir yardımcı güç jak girişi (5V)

- 32 KB Flash Bellek
- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB
- Bir Serial Transmitter (verici) (Tx)
- Bir Serial Receiver (alıcı) (Rx)
- Bir voltaj regülatörü
- ICSP arayüzü
- Reset Butonu

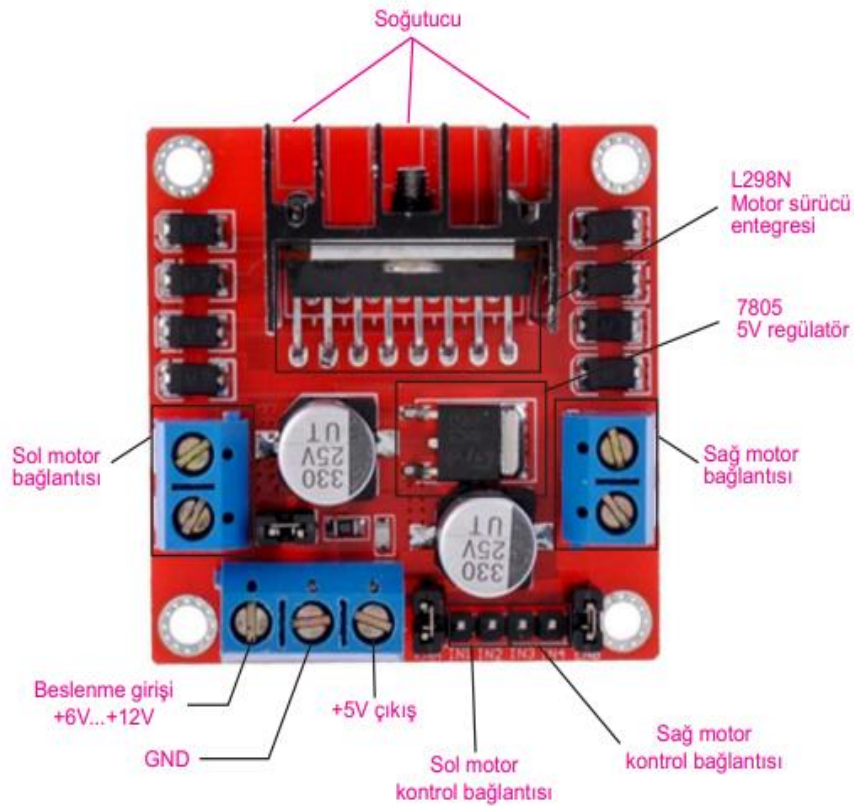
3.6 Harici H Köprülü L298N Motor Sürücüsü

DC motorları sürmeye (hızını ve yönünü kontrol etmeye) olarak sağlayan röle, selenoid ve indüktif yüklerle de kullanılabilen sürücülerdir. Şekil 3.22’te L298HN, L298D, L298P gibi farklı çeşitleri mevcut olsa da en sık karşılaşılan tip L298N sürücüdür. İçerisinde iki adet H köprüsü bulunmakta ve bu şekilde iki motoru birden bağımsız ve çift yönlü sürebilmektedir. Şekil 3.23’te modüler bir devre kartı şeklinde olan L298N, arduino, mikrodenetleyici bağlantı ve kullanımında büyük kolaylıklar sağlamaktadır.



Şekil 3.22 L298N, L298HN ve L298P motor sürücü (Izgol, 2020)

Arduino dijital pinlerinden alınan çıkış gerilimi 5V'tur. DC motor, alınan çıkış gerilimi (5V) ile çalışsa bile motorun çekeceği akım, Arduino pinlerinden çekilen 40mA akımın çok üzerinde olacağı için DC motorları doğrudan süremezler (İzgol, 2015). Şekil 3.23'deki modül sayesinde mikrodenetleyicilerden gelen komutları motora uygulayarak motoru sürmek için gereken güç sağlamaktadırlar. Bu modül 2A 'e kadar tepe akımına ve 5 ila 35 V arasında bir gerilime sahip DC motorlarda kullanılabilmektedir. Modül, iki motor için de vidalı bağlantı bloklarına, GND (topraklama) için başka bir vidalı bağlantı bloğuna, motor için ise VCC besleme voltajına ve giriş/çıkış sağlanabilen bir 5V pine sahip olup HIGH 'dan LOW'a veya LOW'dan HIGH komutuna atanabilen dijital pin ve IN1 ve IN2 girişleri ile kontrol sağlamaktadır (Özdemir ve ark., 2019). Daha önce de bahsedilen PWM (darbe genişlik modülü) sinyali ile hız ve konum kontrol için ENA ve ENB pinleri bulunmaktadır. Motorun ileri ve geri hız kontrolü enable (etkinleştirme) pinlerine gönderilen komutlarla sağlanmaktadır. L298N motor sürücüsüne ait pin durumları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23 L298N H köprülü motor sürücü (Altın, 2021)

Çizelge 3.2 L298N pin durumları

Pin	Açıklama
Out 1	Motor A çıkış pini
Out 2	Motor A çıkış pini
Out 3	Motor B çıkış pini
Out 4	Motor B çıkış pini
GND	Topraklama
5V	5V
ENA	Motor A için PWM
IN1	Motor A etkinleştirme
IN2	Motor A etkinleştirme
IN3	Motor B etkinleştirme
IN4	Motor B etkinleştirme
ENB	Motor B için PWM

3.7 Lipo Batarya Pil ve Şarj Cihazı

Yapısında lityum elementi ve polimer bileşiği bulunan lipo piller: robotik uygulamalarda, silahlardaki tetikleme mekanizmalarında v.b yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek akım verebilme özelliği bulunan lipo piller, hücrelerden (cell) oluşmaktadırlar. Bu hücrelerin hepsinin nominal voltaj değerleri bulunup; hücre sayısına göre nominal voltaj değerlerindeki değişiklik aşağıda gösterilmektedir. (Semiz, 2019).

$$1 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 1 = 3.7\text{V}$$

$$2 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 2 = 7.4 \text{ V}$$

$$3 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 3 = 11.1\text{V}$$

$$4 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 4 = 14.8\text{V}$$

$$5 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 5 = 18.5\text{V}$$

$$6 \text{ Cell} = 3.7\text{V} \times 6 = 22.2\text{V}$$

Bu bataryalar; yüksek kapasiteli, enerji yoğunluğu yüksek, yüksek deşarj oranlarına sahiptir (Schneider, 2017). Şarj etmek için balancer (dengeleyici) adı verilen cihazlar kullanılmaktadır. En yüksek voltaj değeri 4.2 V (full) iken en düşük voltaj değeri ise 3.7V (tamamen boş) dur. Şekil 3.24'deki TLP4056 şarj aleti ekonomik bir ürün olarak avantaj sağlamaktadır. Üzerindeki USB girişi ile lipo pili şarj etmeyi sağlayan TLP4056 kart üzerindeki IN+ ve IN- pinleri üzerinden de 5V besleme girişi olarak kullanılabilir.



Şekil 3.24 Lipo Pil ve TLP4056

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde daha önce tanımlanıp örneklendirilen malzeme ve materyallerin, bilgisayar destekli çizim (CAD) ve imalat (CAM) süreçleri; elektronik tasarım simülasyonu (Proteus Desing Suite) ve entegre geliştirme programı olarak adlandırılan Arduino IDE (Integrated Development Environment) ile yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçlarından bahsedilecektir.

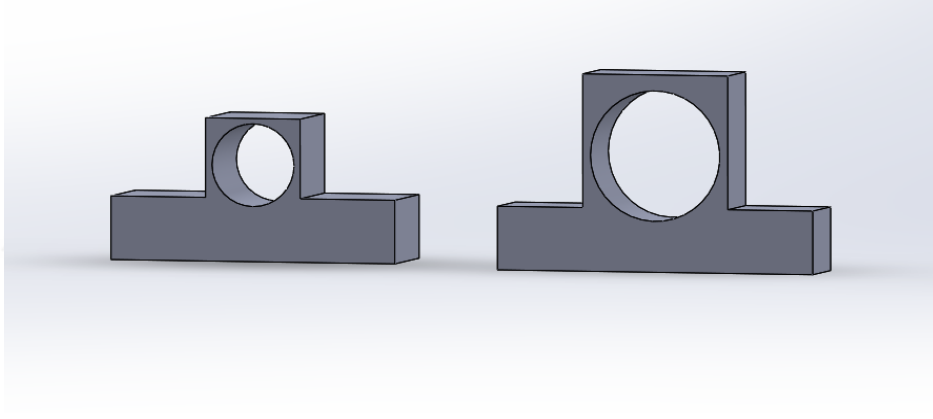
Deneysel çalışma aşamasında;

- Parça üretimi çizimi bilgisayar destekli 3 boyutlu katı modelleme ve tasarım yazılımı olan SOLIDWORKS programı,
- Çizimi yapılan parçanın üretimi için Simplify 3D baskı yazılım programı,
- Elektronik tasarım ve simülasyon Proteus PCB Design and Circuit Simulator Software yazılım programı,

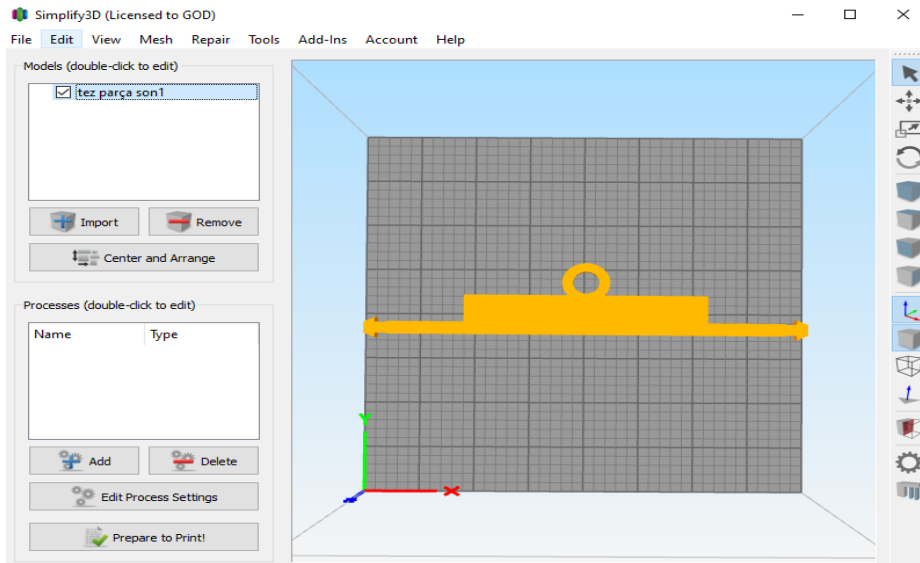
gerçekleştirilip, Şekil 4.5’de gösterildiği gibi Simplify 3D baskı yazılım programında üretimi yapılmıştır.



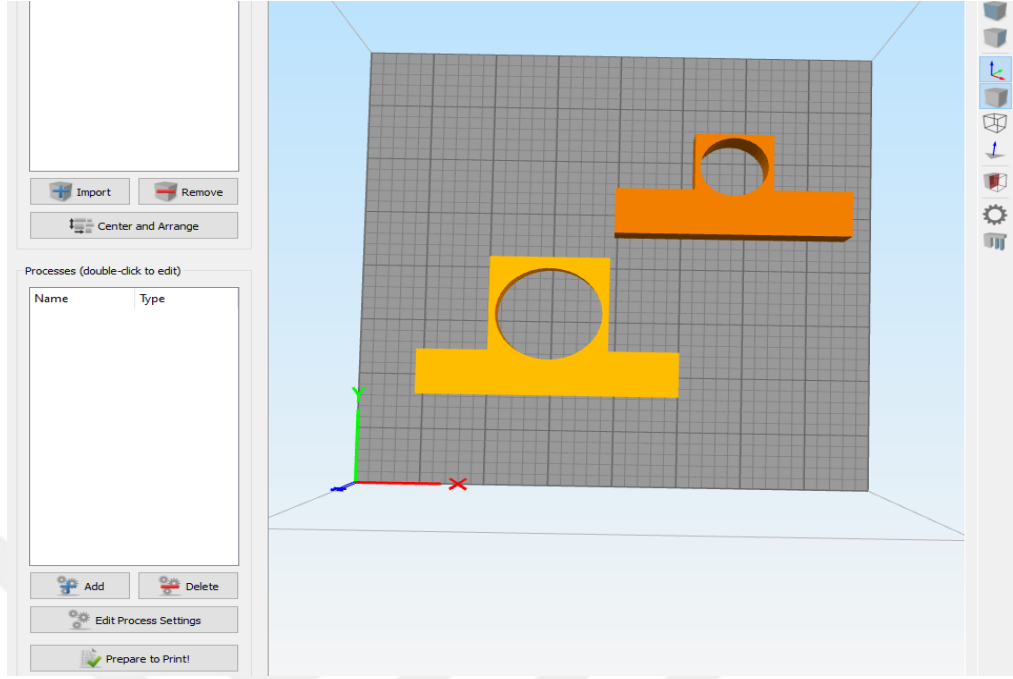
Şekil 4.2 Vidalı somun braket



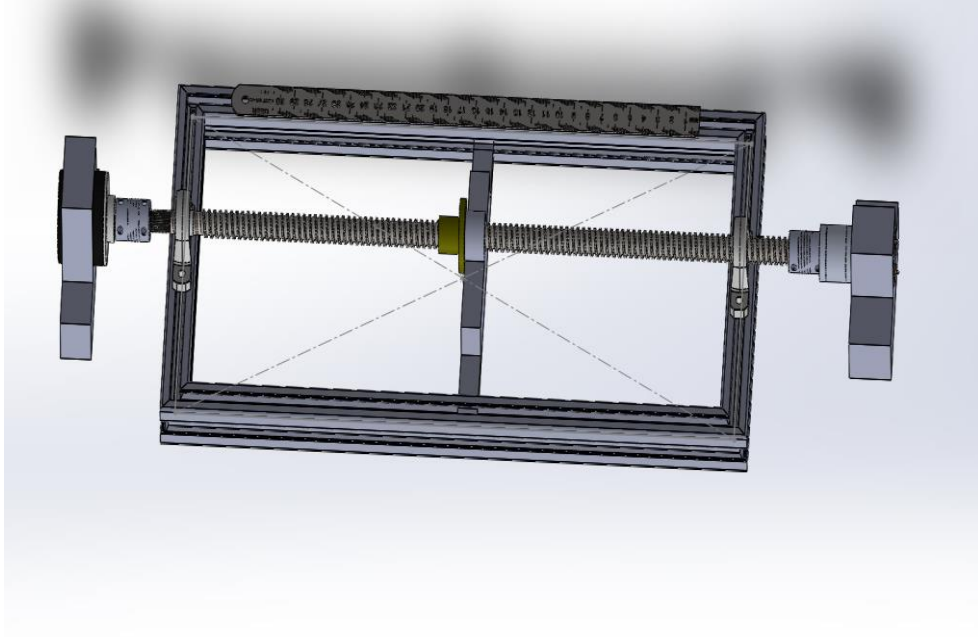
Şekil 4.3 Motor ve encoder yatakları



Şekil 4.4 Vidalı somun braket 3D Simplify görünümü

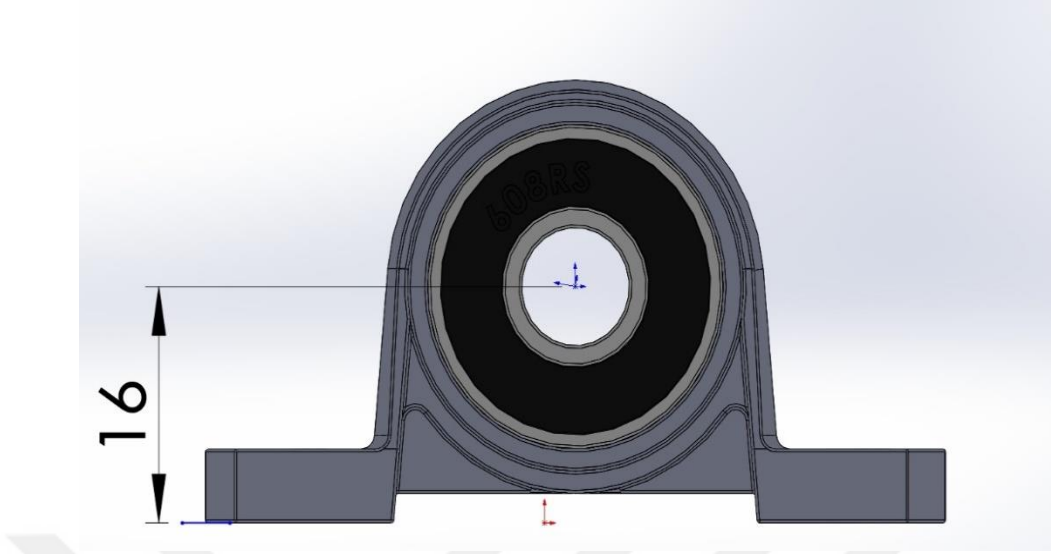


Şekil 4.5 Motor ve Encoder Yatakları 3D Simplify görünümü



Şekil 4.6 Projenin CAD programında montaj çizimi

Tez çalışmasının montaj çiziminde görüldüğü gibi mili destelemek için bilyalı rulman (bkz. Şekil 4.7) tercih edilmiş olup, amacı yükü eksenden alarak dönen ekseni desteklemektir. Şekil 4.6'de sigma profilin boşluklarından faydalanarak hareket amaçlanan vidalı somun braketini ile lineer bir şekilde tekrarlayan işlemlerle konumlandırma gerçekleştirilmektedir.

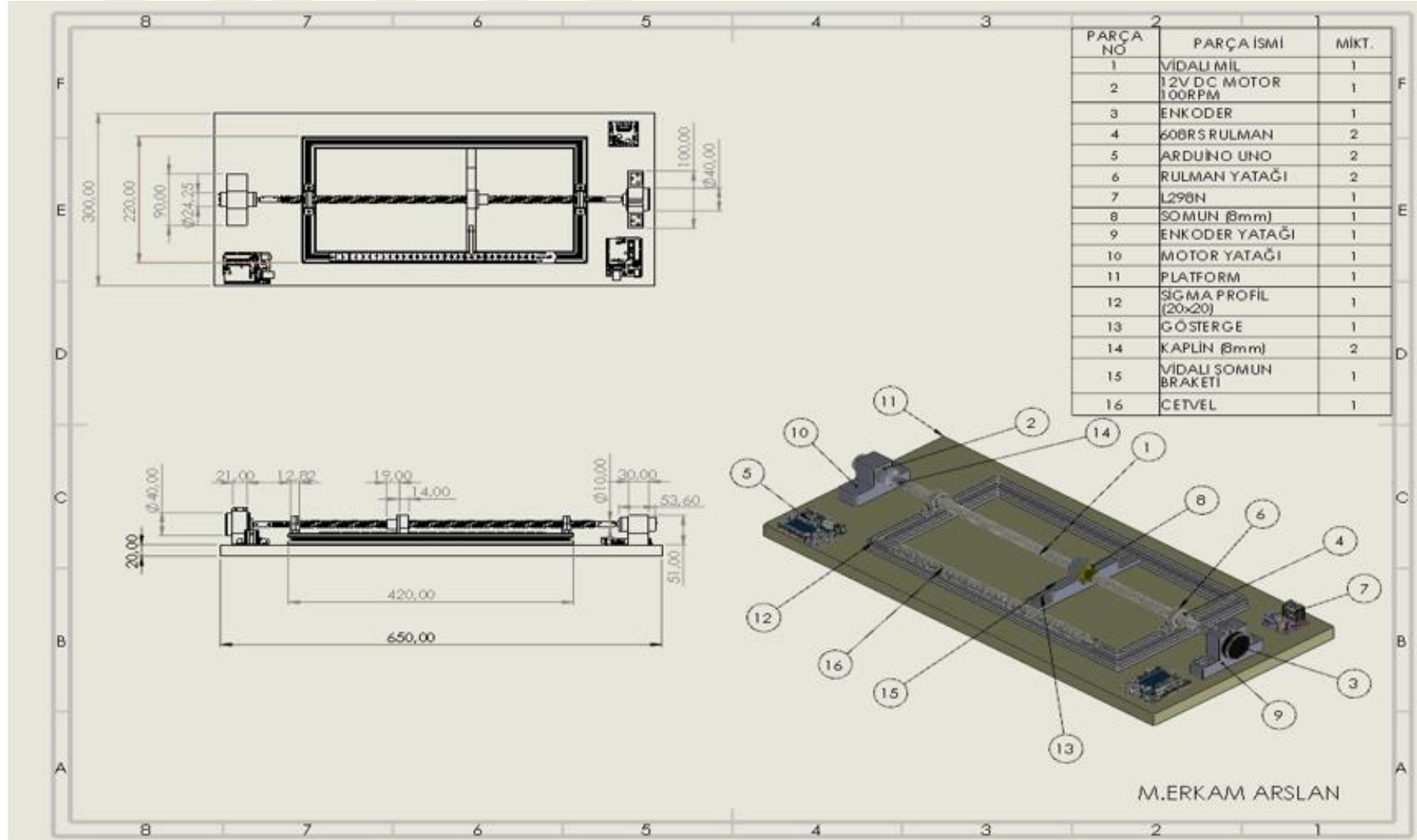


Şekil 4.7 Bilyalı Rulman

Motorun mile uyguladığı dönme kuvveti ile lineer bir şekilde hareket eden vidalı somun braketini sigma profile entegre edilen Şekil 4.8'deki 300 mm boyutundaki metal çelik cetvelden faydalanarak açısal konum tespiti amaçlanmaktadır.

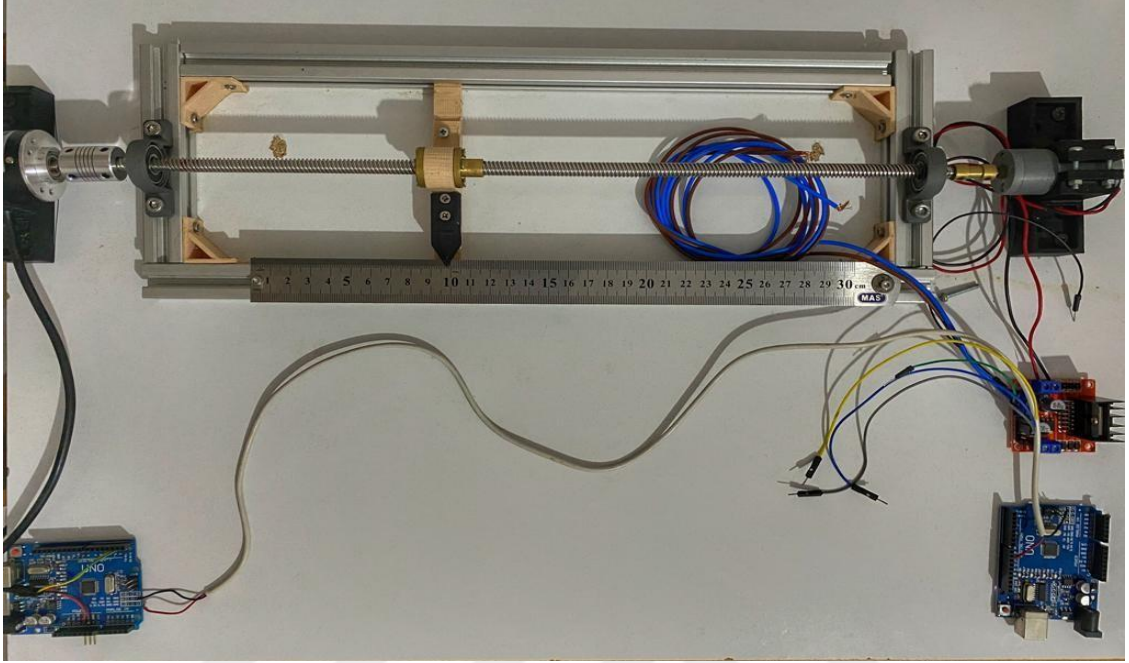


Şekil 4.8 Metal cetvel



Şekil 4.9 Projenin CAD programında çizilen teknik resmi

Tez çalışması için CAD programı kullanılarak oluşturulan Şekil 4.9'daki prototipin gerçek tasarımı aşağıda Şekil 4.10'daki gibi görülmektedir.

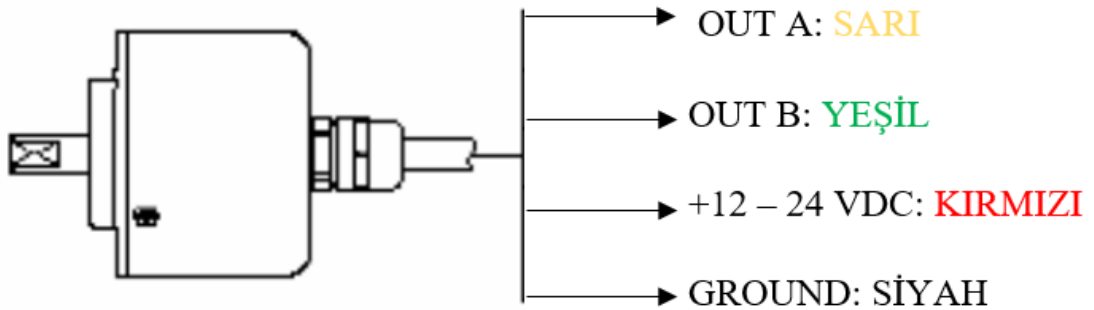


Şekil 4.10 Kullanılan materyallerin platform üzerinde konumlandırılması

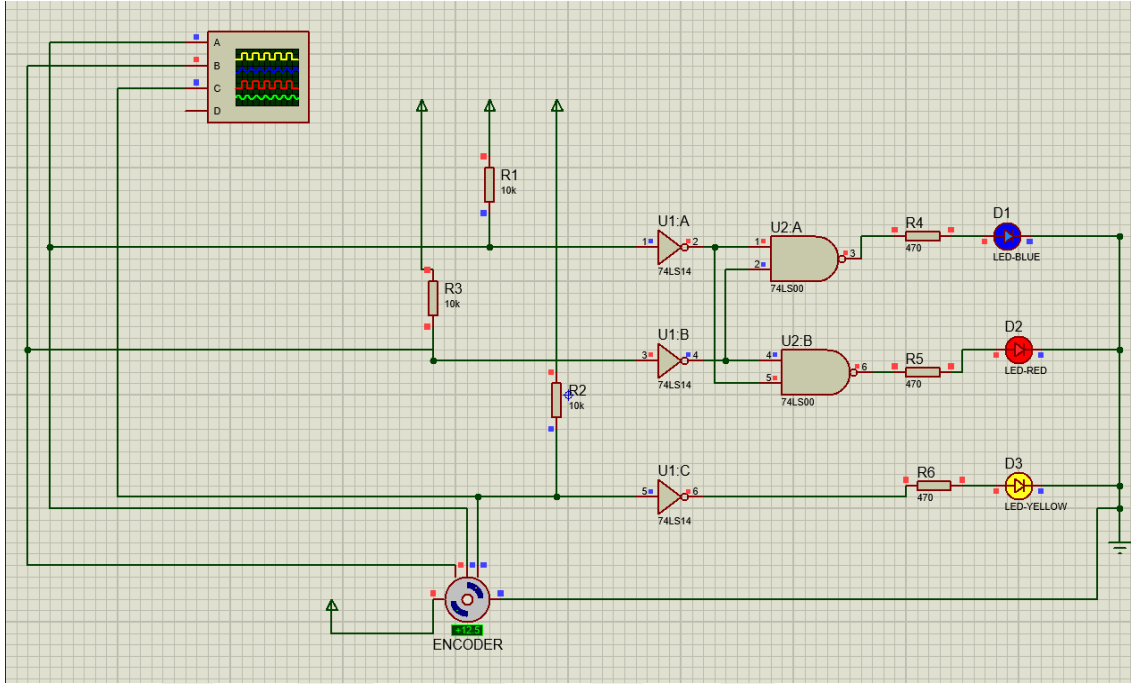
Encoder ve DC Motorun sağlıklı haberleşmesi ve hatasız konum tespiti için hassasiyetle konumlandırılan materyallerin tamamı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

4.2 Yazılım ve Simülasyon

Şekil 4.11'de gösterilen 5 tane çıkışı bulunan OVW6-04-2HC 400 P/R encoderdeki kırmızı kablo +5V, siyah kablo GND, sarı kablo A fazı, yeşil kablo B fazıdır.

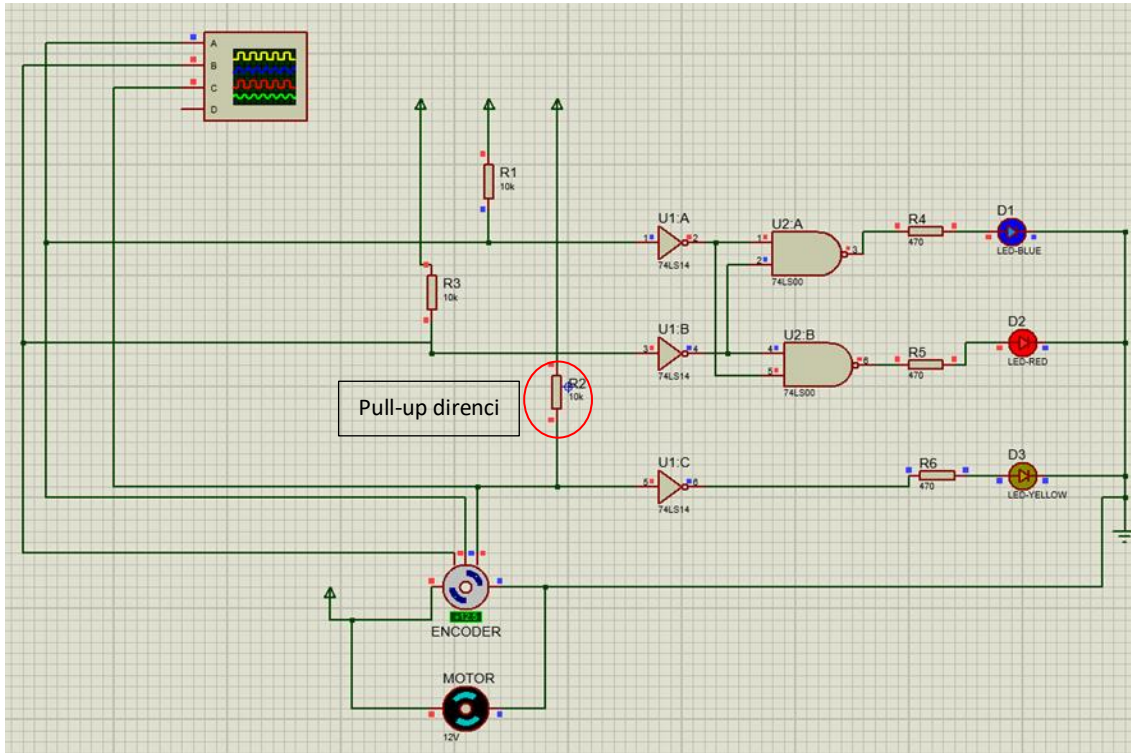


Şekil 4.11 Artımlı encoder kablo bağlantıları (Megep, 2009b)



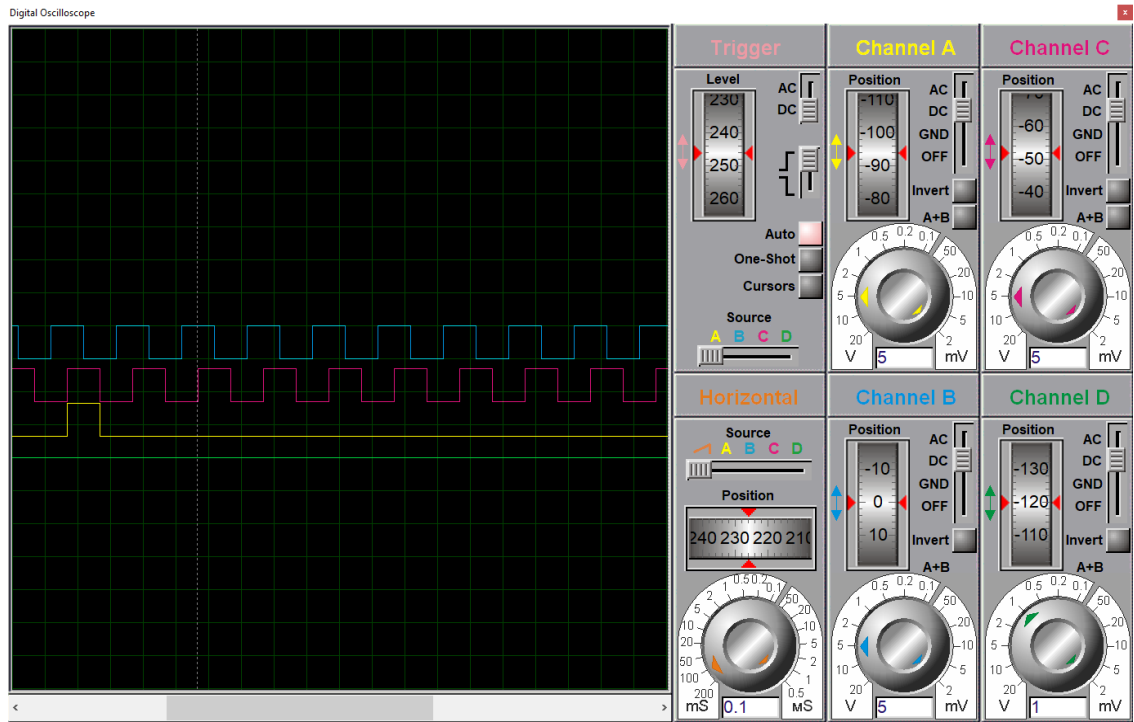
Şekil 4.12 Encoder çıkışları devre şeması

Artımlı encoderin A, B ve Z sinyal çıkışları Şekil 4.12’de Proteus PCB Design and Circuit Simulator Software yazılım programında elektronik tasarım ve simülasyon oluşturarak, ledlerin durumuna göre gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 Bir DC motora bağlı encoderin PROTEUS ISIS’te simülasyonu

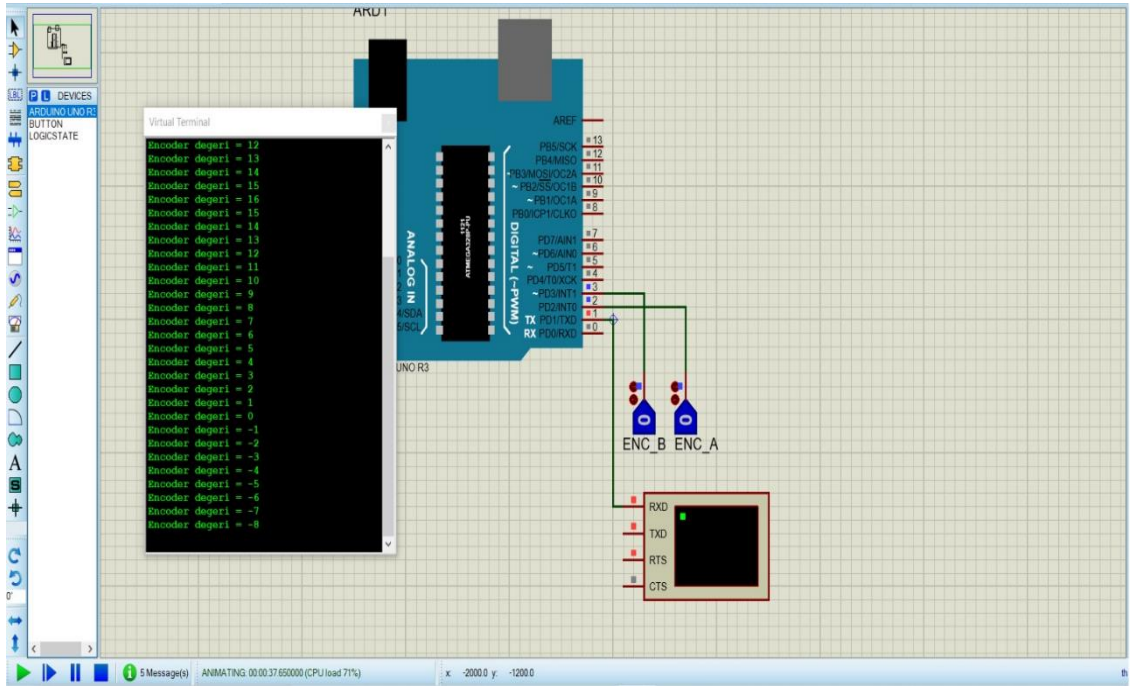
Simülasyonda, encoderin sağa ve sola hareketi sonucu ledlerin yanıp söndüğü ve bu şekilde pals ürettiği anlaşılmıştır. Şekil 4.13’de bir DC motora bağlı encoderin Proteus ISIS’te simülasyonu gösterilmiştir. Şekil 4.14’de ise devreye paralel bağlanan dijital osiloskop ile encoder çıkış işaretleri simüle edilerek dalga şekillerinin genlik ve frekansı gözlemlenmiştir. Her iki durumda da encoderin çalışmasında bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır.



Şekil 4.14 Osiloskop görüntüsü

Kablo ve elektriksel bağlantıları gösterilen artımlı encoderın A ve B faz sinyal çıkışlarına Şekil 4.12’deki devrede görüldüğü gibi 10k pull-up direnci bağlanmıştır. Pull-up direnç bağlanması ile amaçlanan, 0-12 V arası sürekli değişen gerilim değerini kararlı hale getirerek encoderi istenilen şekilde çalıştırmaktır. Ayrıca encoderin zarar görmemesi için; A ve B fazı çıkış kablolarının doğrudan besleme kaynağına bağlanmamasına dikkat edilmiştir.

Encoder, devir başına bir veya daha fazla pals üretebilmektedir. D/d olarak adlandırabileceğimiz rpm (revolutions per minute) değiştikçe periyot ve darbe genişliğinde farklılıklar oluşabilmektedir. Şekil 4.14’deki DC motorun konumunun açısı da darbe sayısı sayılarak elde edilmektedir.



Şekil 4.15 Encoder'ın PROTEUS ISIS'te simülasyonu

Proteus ISIS'te encoderin Arduino ile bağlantıları gerçekleştirildikten sonra Arduino IDE uygulamasında hazırlanan kod ile encoder, Şekil 4.15'deki gibi ileri geri sayma işlemine hazır hale getirilmiştir.

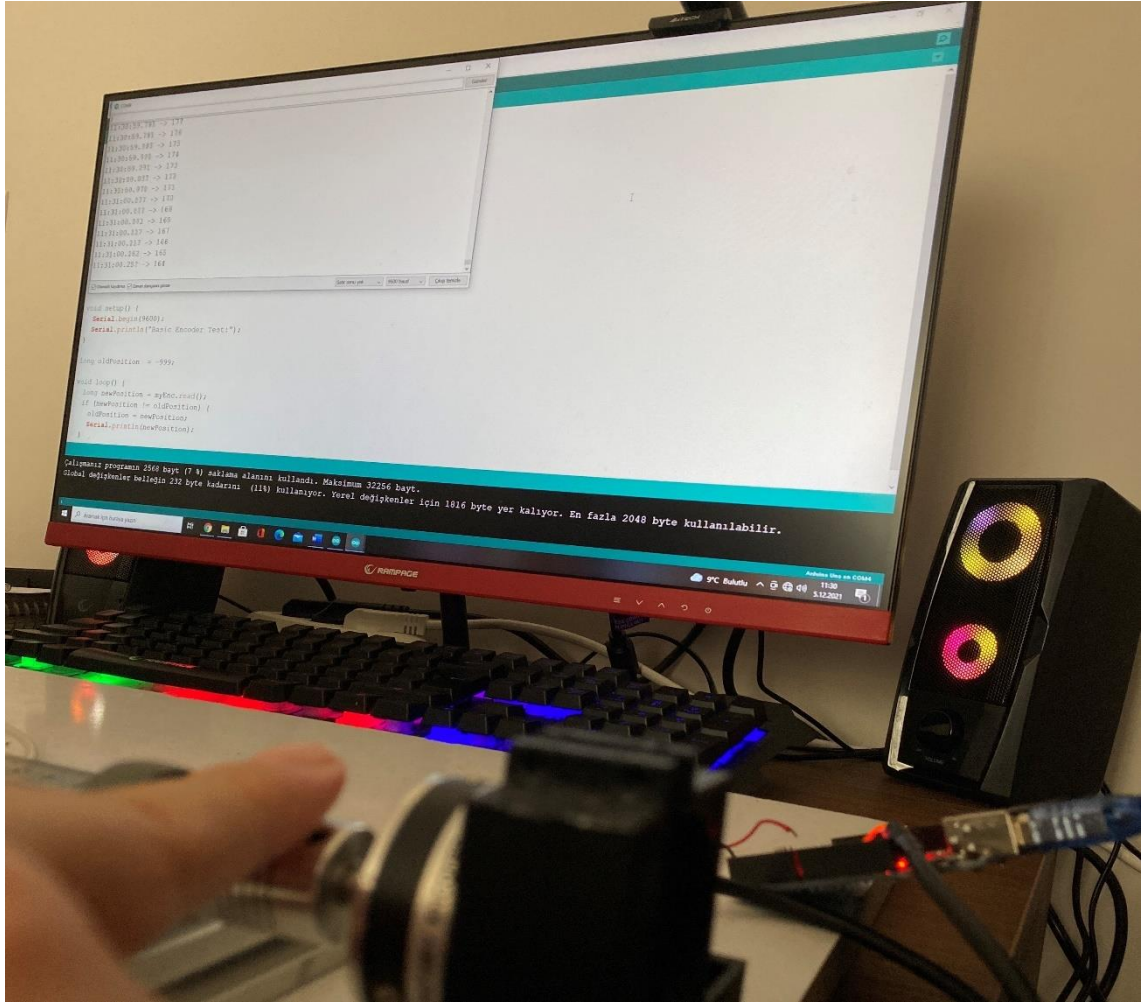
```
#include <Encoder.h>

Encoder myEnc(2, 3);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Encoder ileri-geri Testi:");
}

long eskiPozisyon = -999;

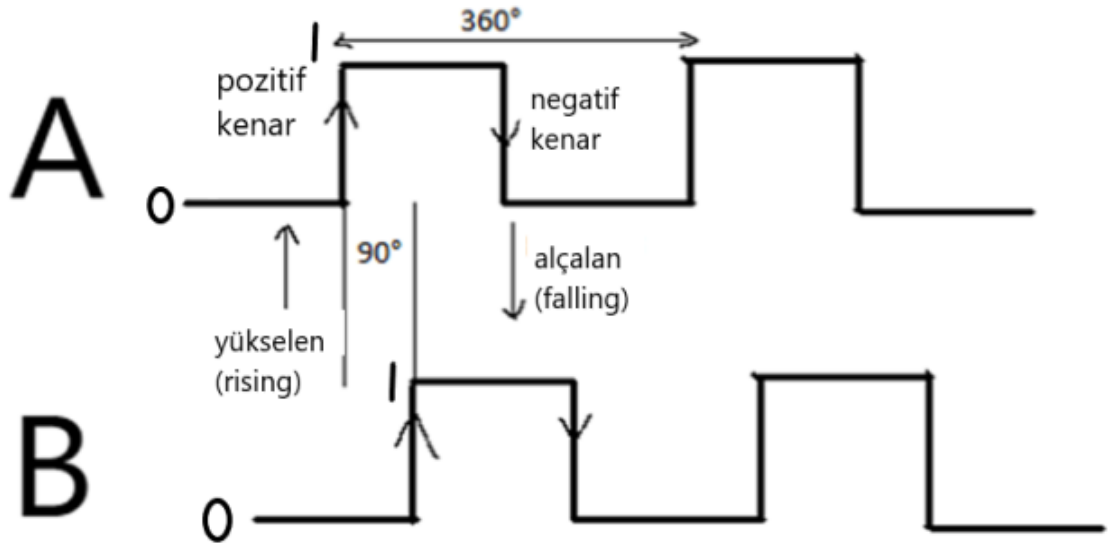
void loop() {
    long yeniPozisyon = myEnc.read();
    if ( yeniPozisyon != eskiPozisyon) {
        eskiPozisyon = yeniPozisyon;
        Serial.println(yeniPozisyon);
    }
}
```



Şekil 4.16 Encoder'ın ileri geri sayma hareketi

Artımlı encodere ait kablolar (bkz. Şekil 4.11) uygun pinlere bağlanarak ve Arduino IDE'de hazırlanan kod kullanılarak Şekil 4.16'da görüldüğü el ile ileri – geri sayma işlemi gerçekleştirilmiş, encoderden pals değeri alınıp alınmadığı kontrol edilmiştir.

Kod yazılımında encoder çıkışları Arduino'da 2 ve 3. pine bağlanmaktadır (Int 0>> Digital pin 2, Int 1>> Digital pin 3). Arduino Uno'da “interrupt” komutunun kullanılabileceği 2 pin vardır. Interrupt komutu ile mikro işlemcilerde farklı bir işlem yapılırken, işleme ara verilip interrupt komutundaki işlemler yapılabilir. Yani yapılan işlem kesilip farklı bir işleme geçilebilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere interrupt; kesme anlamında kullanılmaktadır. Özetle bir durumu sürekli ve belirli aralıklarla kontrol etmek yerine interrupt kullanılabilmektedir (Baser, 2017).

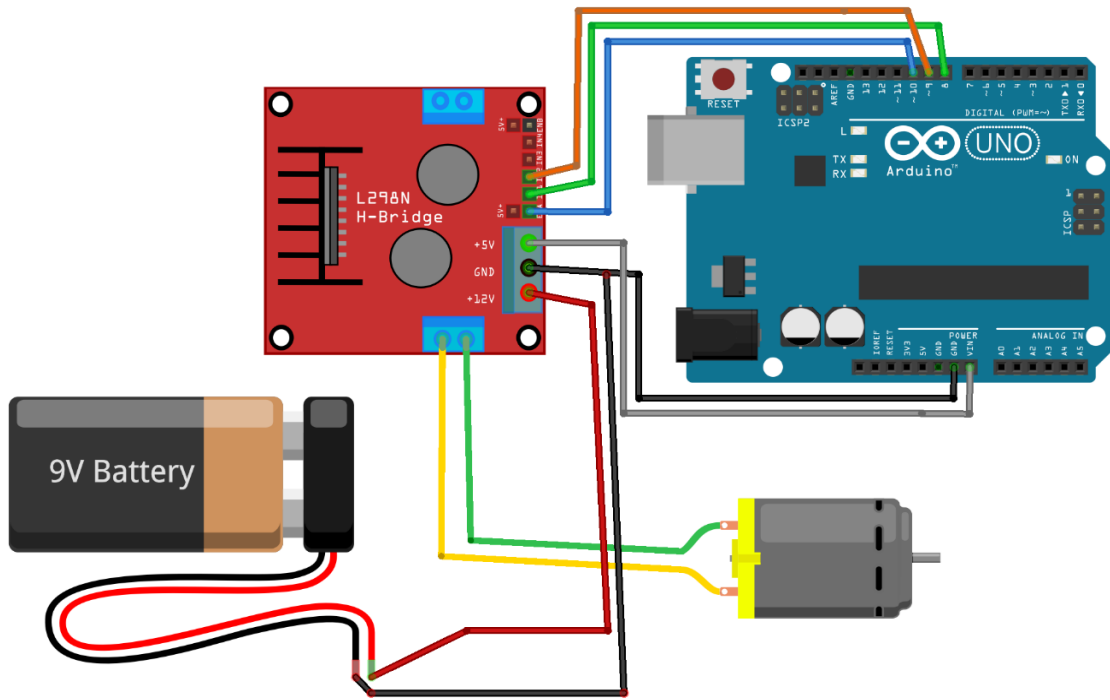


Şekil 4.17 Interrupt Rising – Falling (Wu ve ark., 2018)

Interrupt komutunda, 0'dan 1'e geçilen bölgeye pozitif kenar, 1'den 0'a geçilen bölge de negatif kenar olarak ifade edilmektedir. Dışarıdan bir işlem uygulandığında 1'den 0'a geçerken RISING, 0'dan 1'e geçerken ise FALLING komutları şekil 4.17'da görüldüğü gibi kullanılmaktadır.

```
int in1 = 8;
int in2 = 9;
int EnA = 10;
void setup() {
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    pinMode(10, OUTPUT); }
void TurnMotorA() {
    digitalWrite(in2, LOW);
    digitalWrite(in1, HIGH);
}
void loop() {
    TurnMotorA();
}
```

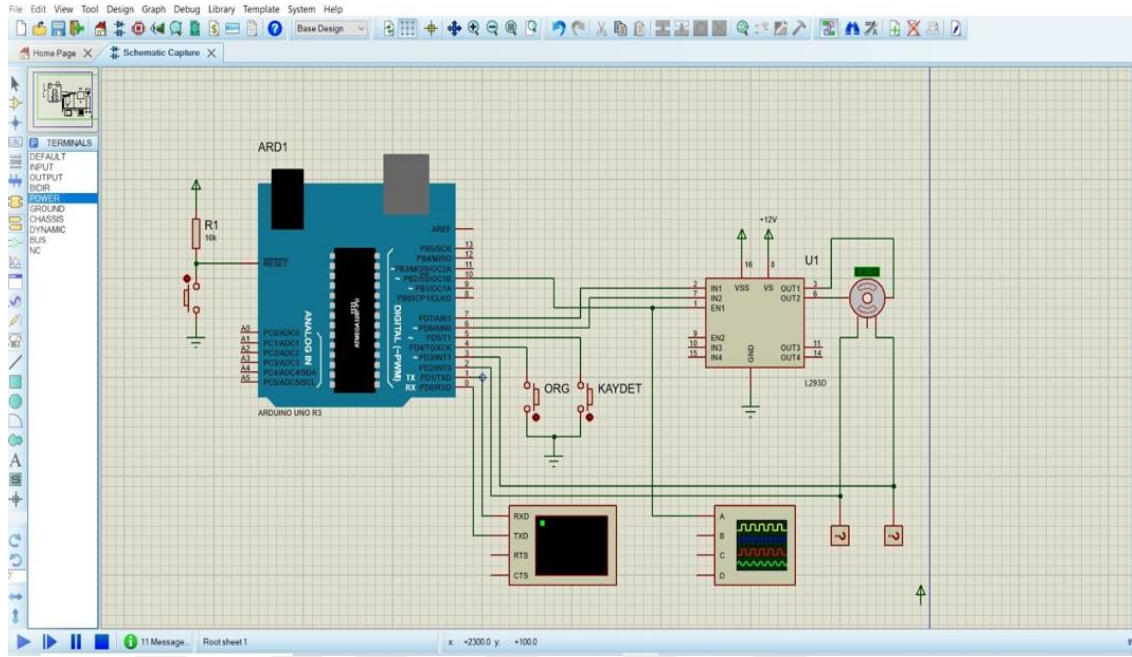
L298N H köprülü motor sürücüsünün, Arduino bağlantısında; motorun kutupları motor sürücüsünün OUT1 ve OUT2 girişlerine bağlantısı yapılarak, Arduino IDE yazılımında dönüş yönü kontrolü için IN1 ve IN2 int değişkeninde 8. ve 9. Pinler olarak tanımlanmıştır. Hız ve konum kontrolü için kullanılan motor sürücüsünün ENA (enable) pini ile Arduino'nun 10.pininin bağlantısı yapıp, ENA pini int değişkeni olarak tanımlanmıştır ve 8, 9 ve 10. pinler output (çıkış) olarak ayarlanmıştır. PWM (darbe genişlik modülü) sinyali ile hız ve konum kontrol için ENA kullanılmaktadır. Motorun ileri ve geri hız kontrolü ENA pinlerine gönderilen komutlarla sağlanmaktadır.



Şekil 4.18 L298N ile Arduino motor kontrolü

L298N H köprülü motor sürücüsünün Arduino IDE'de oluşturulan kod ile Şekil 4.18'deki simülasyonu yapılmış olup DC motorun sağlıklı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Proteus ISIS'te DC motor ve encoderin Arduino ile bağlantıları gerçekleştirildikten sonra Arduino IDE uygulamasında hazırlanan kod ile Şekil 4.19'da görüldüğü gibi oluşturulan simülasyonda hız ve konum kontrolü gerçekleştirildi.



Şekil 4.19 Proteus ISIS'te encoder ve motor bağlantı simülasyonu

```
#define PWM 10
#define IN2 8
#define IN1 9

byte enc_A = 0;
byte enc_B = 0;
byte eski_enc_A = 0;
byte eski_enc_B = 0;
int encoder_degeri;
void encoder_durum_tespiti_yap()
{
    if (eski_enc_B != enc_A) {
        //artırma yönünde
        if (eski_enc_A == enc_B) encoder_degeri++;
    } else {
        if (eski_enc_A != enc_B)
            //eksiltme yönünde
            if (eski_enc_B == enc_A) encoder_degeri--;
    }
}
```

```

    eski_enc_A = enc_A;
    eski_enc_B = enc_B;
    delay(5);
    Serial.println("Encoder degeri = " + String(encoder_degeri));
}
void encoder_A()
{
    enc_A = digitalRead(2);
    encoder_durum_tespiti_yap();
}
void encoder_B()
{
    enc_B = digitalRead(3);
    encoder_durum_tespiti_yap();
}
void setup()
{
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(3, INPUT_PULLUP);
    Serial.begin(115200);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), encoder_A, CHANGE);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), encoder_B, CHANGE);
    interrupts();
    pinMode(PWM, OUTPUT);
    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    Serial.println("target pos");
}
void setMotor(int dir, int pwmVal, int pwm, int in1, int in2){
    analogWrite(pwm, pwmVal);
}

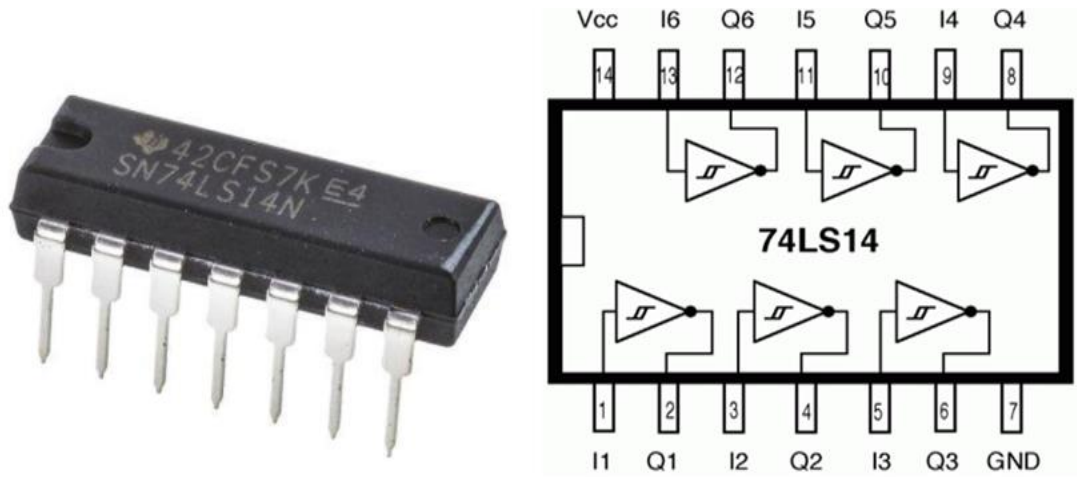
```

```
if(dir == 1)
{
    digitalWrite(in2,HIGH);
    digitalWrite(in1,LOW);
}
else if(dir == -1)
{
    digitalWrite(in2,LOW);
    digitalWrite(in1,HIGH);
}
else {
    digitalWrite(in2,LOW);
    digitalWrite(in1,LOW);
}
}
void loop()
{ }
```

Encoder'in önceki pin durumları ile yeni pin durumları karşılaştırılıp, encoderin dönüş yönü tespit edilmiştir.

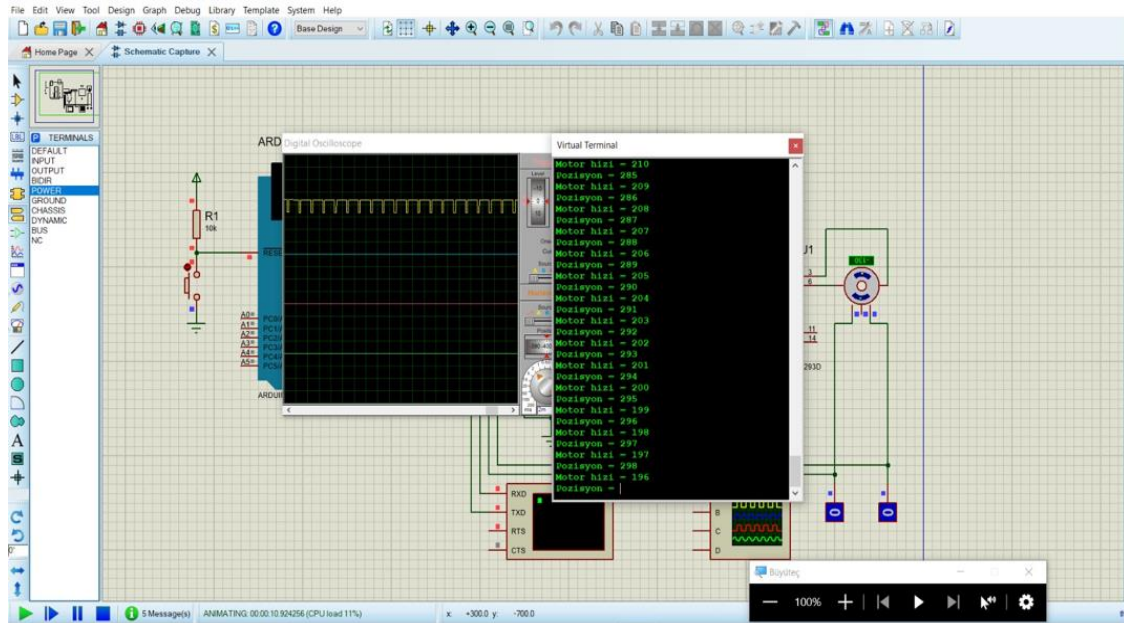
Encoder'in, pinlerindeki dalgalanmalardan etkilenmemesi için kısa bir süre gecikme (delay) kullanılmıştır. Giriş sinyalinin kararlı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Örneğin optik bir algılayıcıdan sinyal geliyorsa bu durumda kesme pinleri yönlendirilirken pull-up dirençler (bkz. Şekil 4.13) pasif hale getirilebilmektedir. Fakat mekanik bir algılayıcı kullanılıyor ise hem pull-up dirençlerinin etkin olması hem de kısa bir gecikme yarar sağlamaktadır. Süre gerekirse artırılıp azaltılabilmektedir.

Son olarak girişe gelen sinyal çok düzgün bir kare dalga değilse bu durumda Şekil 4.20'deki gibi bir 74LS14 Schmitt Trigger entegresi kullanılarak sinyal düzeltilmesi yapılabilmektedir (Akkaya ark., 2021).



Şekil 4.20 74LS14 Schmitt Trigger Entegresi (Hasan, 2020)

Encoder'ın A ve B pinlerinde gözlemlenen değişim sonucu durum değerlendirmesi yapılmıştır. Değerleri görmek için seri port ekranı başlatılmıştır. Int0 ve Int1 değişkenlerinin kesme (interrupt) durumu etkinleştirilmiştir.



Şekil 4.21 Proteus ISIS'te DC Motor konum ve hız kontrol simülasyonu

Encoder'dan alınan pals değerine göre DC motorun konum kontrolü Şekil 4.21'deki Proteus ISIS simülasyonunda gözlemlenmiş olup, yukarıda görülen parametre değerlerine ulaşılmıştır.

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <PID_v1.h>
#define motor_in1 8
#define motor_in2 9
#define motor_pwm 11
double Setpoint, Input, Output;
double Kp = 8, Ki = 3, Kd = 2;
int analogPin = A0, val;
const byte numChars = 32;
char receivedChars[numChars];
boolean newData = false;
unsigned int dataNumber = 0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
SoftwareSerial mySerial(10, 11);

```

DC motor hızını, potansiyometre ile kontrol etmek için analog girişler kullanılmıştır. Kullanılacak karakter adet sabiti “numChars = 32” olarak, seri haberleşmeden alınacak karakterlerin kaydedileceği değişken “char” olarak tanımlanmıştır. Yeni haberleşme datası geldiğinde durum değiştiren “boolean” değişken ve gelen datanın kaydedileceği “integer” değişkeni tanımlanmıştır. PID örnek değişkeni oluşturulup, yazılımsal seri haberleşme pinleri ayarlanmıştır.

```

void setup(){
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);
    pinMode(motor_in1, OUTPUT);
    pinMode(motor_in2, OUTPUT);
    pinMode(motor_pwm, OUTPUT);
    Input = 0;
    Setpoint = 0;
    myPID.SetOutputLimits(-255, 255);
}

```

Seri haberleşme “baudrate’i” (seri iletişimde gönderilen sinyalin saniyedeki değişim hızı, 9600 bps) ve ikinci seri haberleşme baudrate’i (9600 bps) ayarlanmıştır.

DC motor saat yönü ve saat yönü tersi dönüş pini için GPIO ve DC motor dönüş hızı için PWM pini ayarlanmıştır.

PID Input değişkeni ve PID Set Point değeri sıfıra eşitlenmiş ve PID çıkış limit değerleri ayarlanmıştır.

```
void loop()
{
    if(Setpoint <10)
    {
        myPID.SetMode(MANUAL);
    }
    Else {
        myPID.SetMode(AUTOMATIC);
    }
    if (Serial.available() > 0)
    {
        int hedef_pozisyon = Serial.parseInt();
        Setpoint = hedef_pozisyon-2;
        //constrain(Setpoint, 0, 50000);
        //Serial.println("Yeni hedef pozisyon: " +
        //    String(hedef_pozisyon));
        Serial.read();
    }
    //Serial.print("SetPoint:");
    //Serial.println(Setpoint);
    Input = (double) dataNumber;
    //constrain(Input, 0, 50000);
    myPID.Compute();
    if(abs(Setpoint-Input) <= 1 ) Output = 0;
```

```

    if(Input > 250 ) Output = 0;
    //Serial.print("Output: ");
    //Serial.println(Output);
    //Serial.print("Input: ");
    //Serial.println(Input);
    if (Setpoint < Input) {
        digitalWrite(motor_in1, LOW);
        digitalWrite(motor_in2, HIGH);
    }
    else {
        digitalWrite(motor_in1, HIGH);
        digitalWrite(motor_in2, LOW);
    }
    //constrain(Output, 0, 1023);
    analogWrite(motor_pwm,abs(Output));
    recvWithEndMarker();
    showNewNumber();
}

```

Mekanik hareketin sonunda çarpışma gerçekleşmemesi için “Setpoint” (istenilen sabit değer) değerinin 10’dan küçük olduğu bir “if” bloğu tanımlanmıştır. 10’dan küçük olduğunda PID kapatılıp 10’dan büyük bir değer olduğunda PID açılmıştır.

Seri haberleşme gerçekleştiğinde hedef pozisyon değeri Setpoint değişkenine kaydedilmiştir.

Encoder mevcut pozisyon değeri PID parametresi olarak “Input” değerine atanmıştır.

PID hesaplaması yapılp, salınımı önlemek için 1 ve 1’den küçük hatalar yok sayılarak filtreleme yapılmıştır. Cetvelin sonuna gelindiğinde PID çıkışı kapatılmıştır.

Setpoint değerini yakalamak için motor saat yönü ve saat yönünün tersinde dönmüştür. Motor dönüş hızı için PWM duty cycle'ı (doluluk – boşluk oranı) ayarlanmıştır.

Serial haberleşme için veri okuma fonksiyonuna gidilip, sağlama için gönderilen data serial haberleşmeden geri gönderilmiştir.

```
void recvWithEndMarker() {
    static byte ndx = 0;
    char endMarker = '\n';
    char rc;
    if (mySerial.available() > 0) {
        rc = mySerial.read();
        if (rc != endMarker) {
            receivedChars[ndx] = rc;
            ndx++;
            if (ndx >= numChars) {
                ndx = numChars - 1;
            }
        }
        else {
            receivedChars[ndx] = '\0';
            ndx = 0;
            newData = true;
            //Serial.flush();
            //delay(10);
        }
    }
}
```

Seri haberleşme için okuma fonksiyonu, 1 byte'lık sayma değişkeni, haberleşme stop bilgisi için yeni satır karakteri ve alınan data için “char” değişkeni tanımlanmıştır.

Haberleşmenin gerçekleştiğine dair şart fonksiyonu ve okunan karakter daha önce tanımlanan “rc” değişkenine yazılmıştır. Satır sonuna gelmediyse her defasında alınan karakterler kaydedilmiştir. Her karakter için “ndx” değişkeni 1 artırılıp “numchars” değişkeni ve “ndx” değişkeni eşit ise “numchars” değişkeni 1 azaltılmıştır.

Gelen karakter kayıt dizisi boşaltılıp “ndx” sıfırlanmış ve yeni datanın geldiği bilgisi için “newData” değişkeni “true” olmuştur.

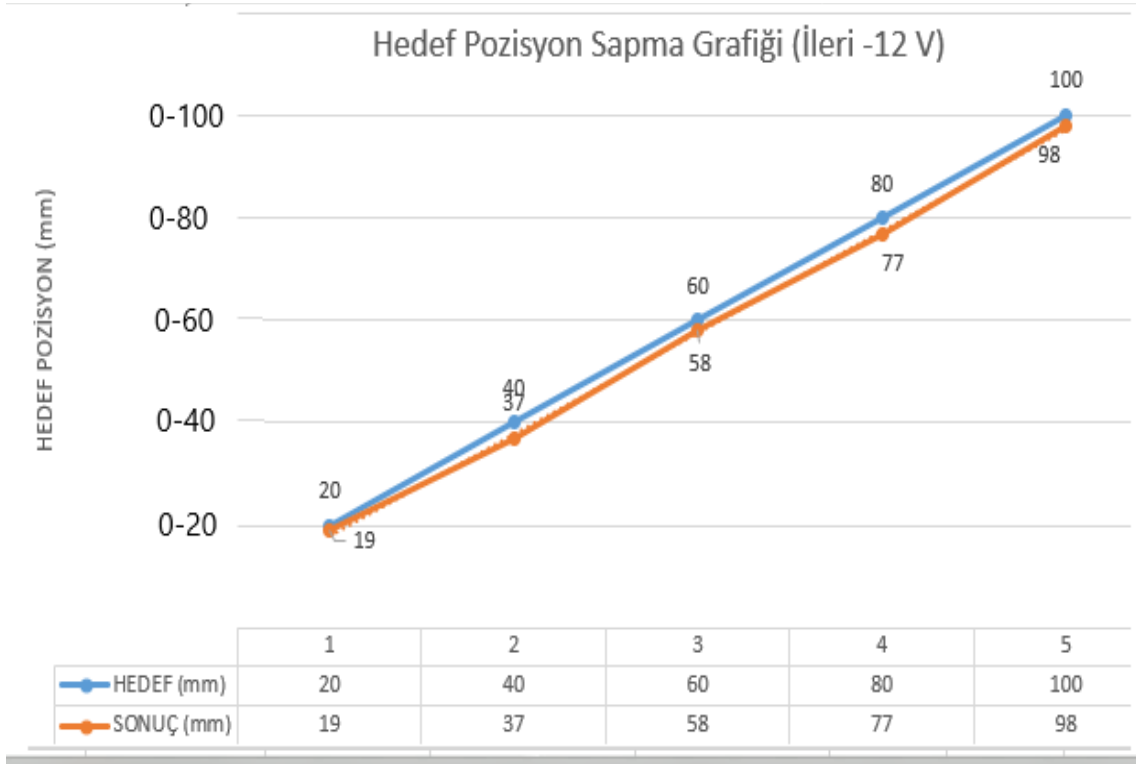
```
void showNewNumber() {  
    if (newData == true) {  
        dataNumber = 0;  
        dataNumber = atoi(receivedChars);  
        Serial.println(dataNumber);  
        //Serial.println(Output);  
        newData = false;  
    }  
}
```

Mevcut pozisyonun serial haberleşme ile gönderilmesi için fonksiyon yazılmış ve yeni “datanumber” kayıt işlemi için sıfırlanmıştır. Serial haberleşmeden alınan veri “datanumber” değişkenine yazılıp gelen yeni data sağlama için serial haberleşme ile arayüze gönderilmiştir. Yeni data işlemi tamamlandıktan sonra bir sonraki data gelene kadar “newdata” false olarak ayarlanmıştır.

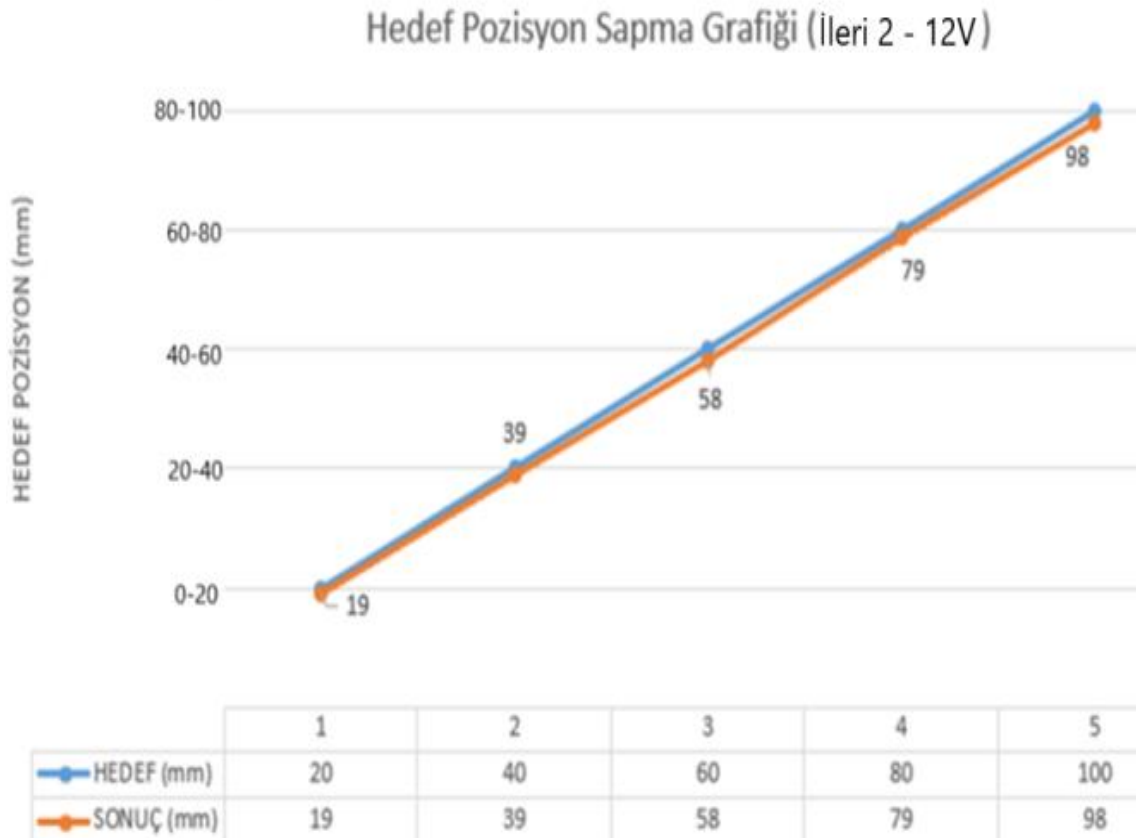
5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 DeneySEL Sonuçlar

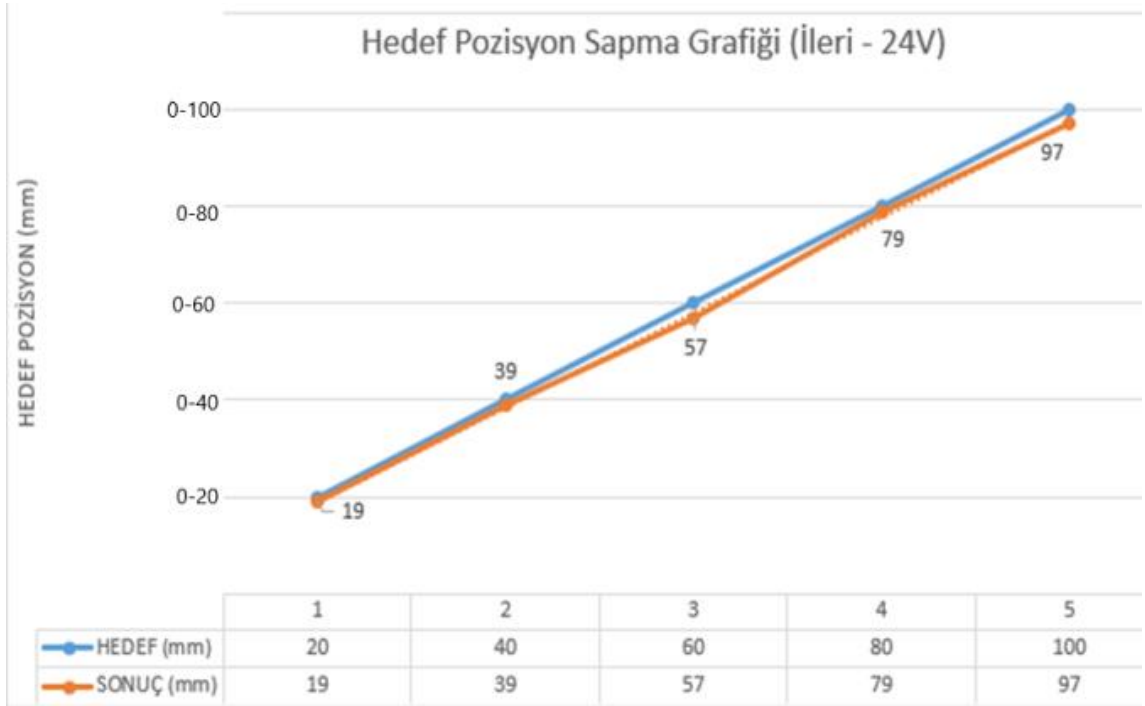
Tez çalışmasında yapılan deney sonuçları aşağıdaki grafiklerle gösterilmiş olup, Şekil 5.1’de güç kaynağından her bir deneme için 12 V değer verilerek, başlangıçtan (0) 20 mm’ye kadar veya 0’dan 40 mm’ye gitmesi gibi talimatlar ile hedef pozisyon ve sonuç pozisyon arasındaki doğruluk tespiti yapılmış, hedef pozisyon ve sonuç pozisyon arasında sapma gözlemlenmiştir. Şekil 5.2’deki gibi aynı voltaj değeri (12 V) ile mesafeler (mm) kısaltılıp hata paylarında bir değişim olup olmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 5.1 Hedef pozisyon sapma grafiği (İleri-12V)

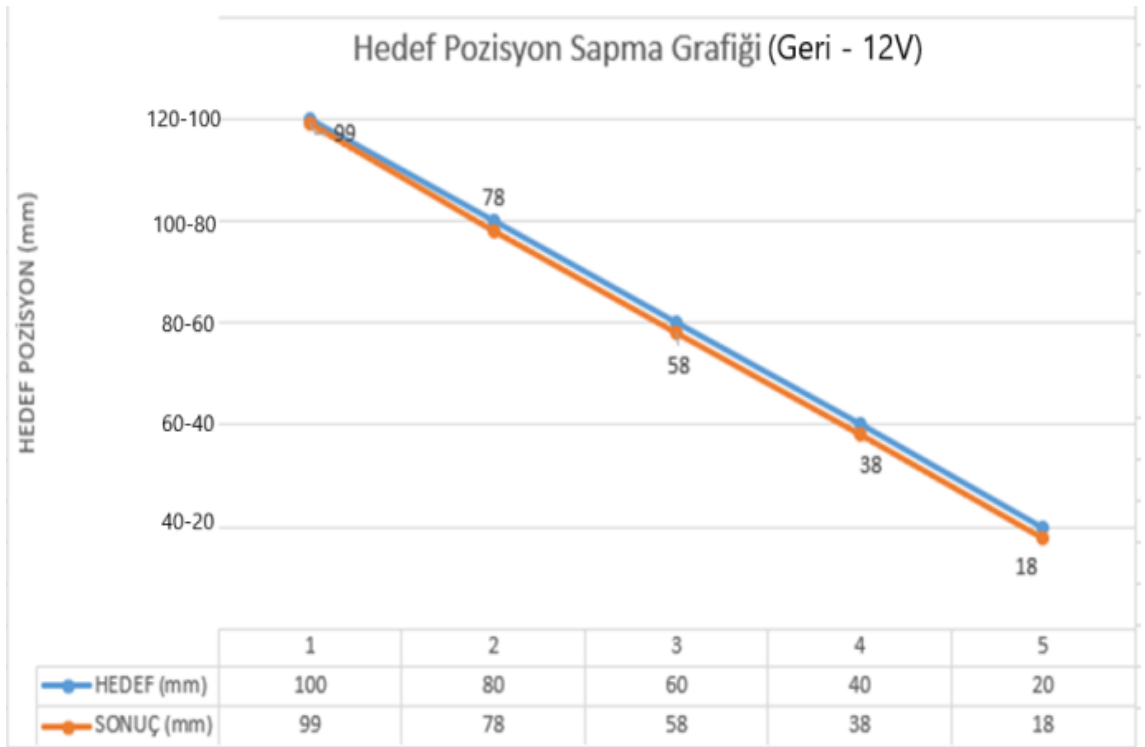


Şekil 5.2 Hedef pozisyon sapma grafiği (İleri2 -12V)



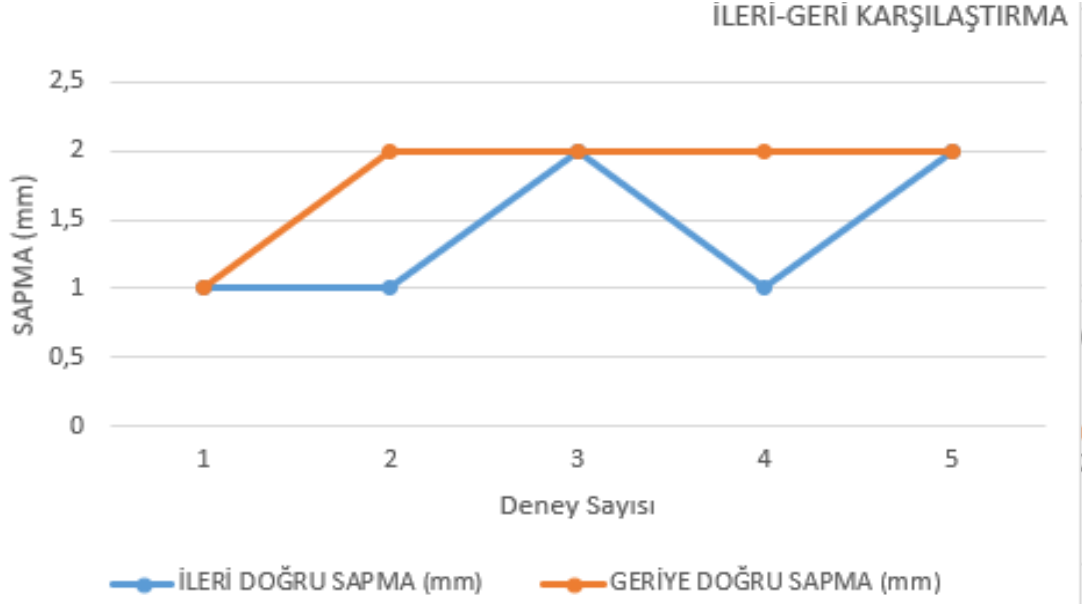
Şekil 5.3 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri – 24V)

Şekil 5.3’te verilen grafikte ise voltaj değerini 24 V ‘a çıkartarak hedef pozisyon ve sonuç pozisyonun arasındaki sapma değerindeki değişiklikler tespit edilmiştir.



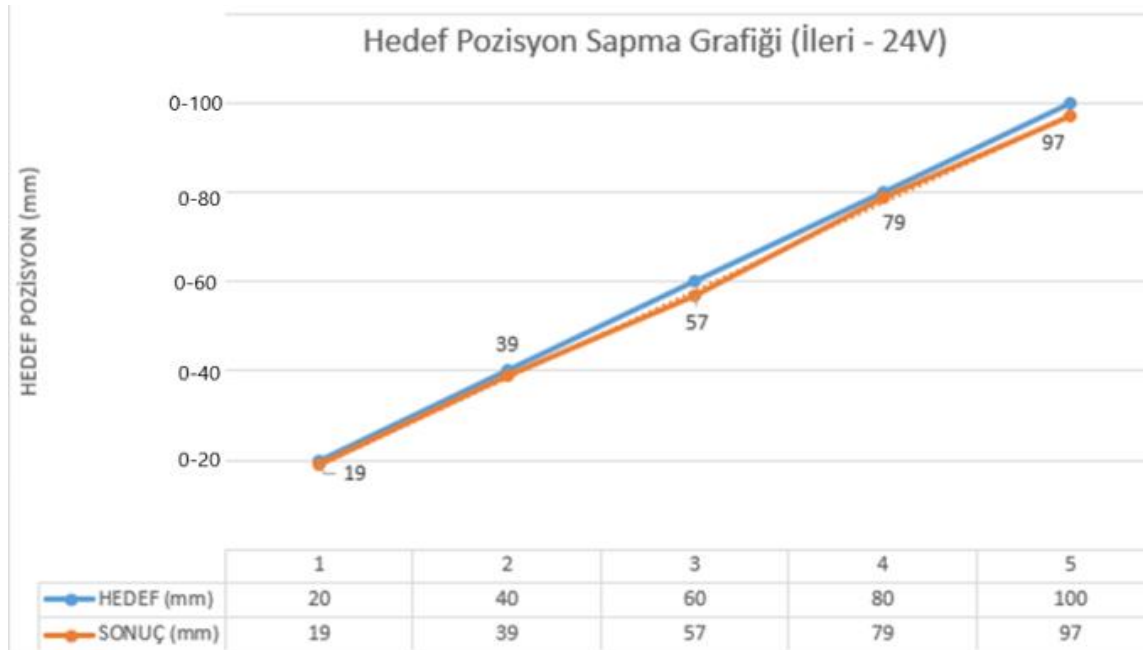
Şekil 5.4 Hedef pozisyon sapma grafiği (geri-12V)

Daha önce ileriye doğru komut verdiğimiz (bkz. Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3) sisteme Şekil 5.4'te; 12 V verilerek, geriye doğru komut verilmiştir. İleri doğru (0 mm'den 100 mm'ye) giderken alınan sonuçlar ile geriye doğru (100 mm'den 0 mm'ye) giderken alınan sonuçlar arasındaki sapma farkları Şekil 5.5'te gözlemlenmiştir.

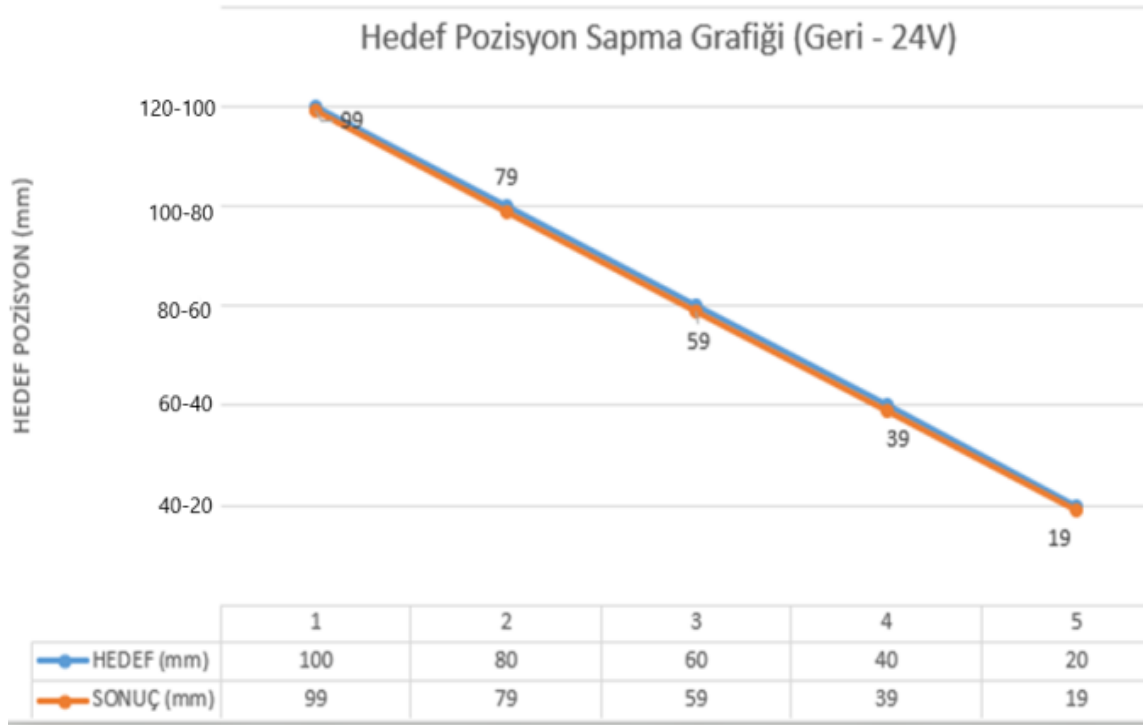


Şekil 5.5 İleri – geri sapma değeri karşılaştırma

Daha önce 12 V verilerek çalıştırdığımız tasarım sistemine 24 V verilmiş ve alınan sonuçlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

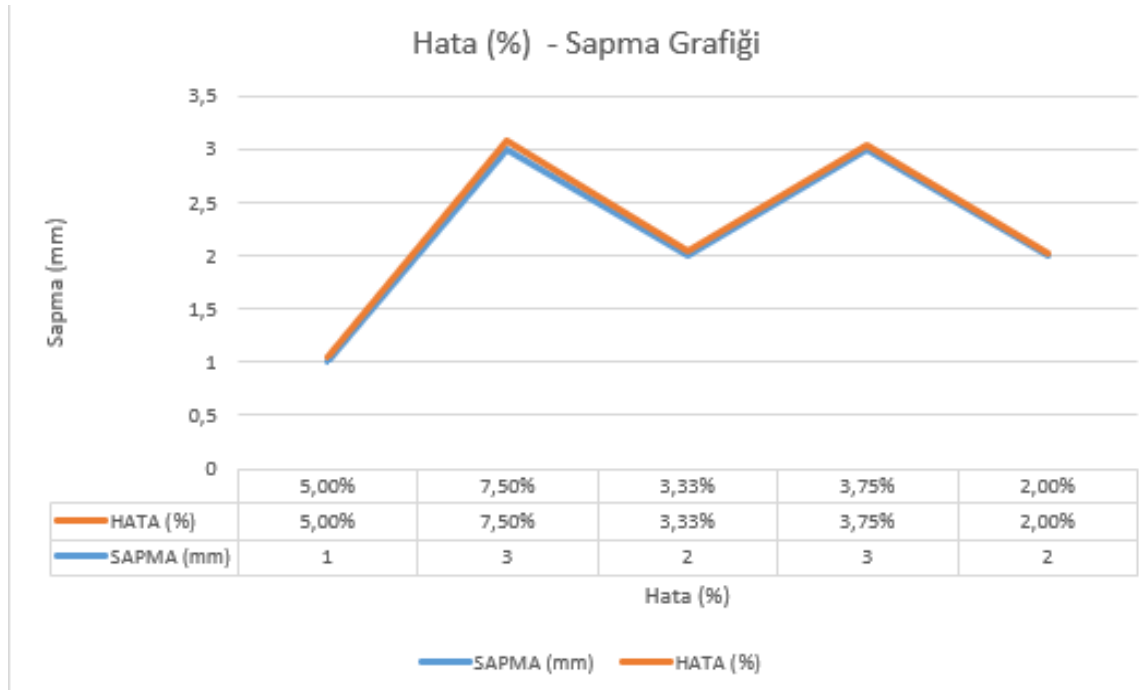


Şekil 5.6 Hedef pozisyon sapma grafiği (ileri – 24V)



Şekil 5.7 Hedef pozisyon sapma grafiği (geri – 24V)

Şekil 5.7’de 24 V ‘a yükseltilerek geriye doğru komut verdiğimiz sistemin hedef pozisyon sapma grafiği verilmiş olup, ileri (bkz. Şekil 5.6) ve geriye doğru giderken sapma değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8 Hata – sapma grafiği

Şekil 5.8’de ileri (12V) doğru komut verilen deney sonucu baz alınarak, hata – sapma grafiği oluşturulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda sapma – hata durumları analiz edilmiştir. Mekanik sistem ve PID kontrol sisteminde olabilecek hata payları göz önüne alındığında, tez çalışmasında elde edilen sonuçlardaki değerlerin birbirlerine yakın olduğu ve elektromekanik sistemin sağlıklı çalıştığı gözlemlenmiştir.

5.2 Değerlendirme

Gerçekleştirilen bu kapsamlı tez çalışmasında, giderek önem kazanan ve gündelik yaşam dahil otomasyon sistemlerinin dinamiklerinden ölçme ve kontrol alanında çalışılmış olup, açısal konum ve hız bilgisi üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Geliştirilen mekanik sistemlerde maksimum verim, minimum maliyet ve zaman tasarrufu hedeflenmiştir.

Uygulama sürecinde yaşanan güç kesintisi veya arıza durumunda artımsal encoderlerden alınan pals bilgisi ve dolaylı olarak konum bilgisi sürücü hafızasından silinir ve gücün geri gelmesi veya arıza giderilmesi ile sistemin en baştan başlatılması gerekir. Bu noktada önem kazanan ve artımsal encoderden ayrılan mutlak encoder, enerji yeniden sağlandığında gelen konum bilgisini vereceği için işlem kaldığı yerden devam etmektedir.

Mutlak encoder, her konum için kendine özgü bir bilgi taşırken, artımsal encoder konum bilgisini elde etmek için motor milinin sıfır pozisyonuna getirilmesine daha sonra encoder çıkışından 1 ve 0 sayılarak her defasında pozisyonun sayılmasına ihtiyaç duymaktadır. Böyle bir durumda artımsal encoderin kullanılması daha önce de belirttiğimiz; zaman, maliyet vb. gibi kalemleri arttırır.

Yukarıda da bahsedilen tespitler sonucunda tez çalışmasında, devir başına 400 pals değer veren bir incremental encoder tercih edilmiş ve 8 mm çapında 2mm hatvesi olan bir vidalı mil kullanılmıştır. Milin 1 tur dönmesi için encoderin 400 pals değer vermesi gerekmektedir. Encoderin verdiği pals değeri analitik hesaplamalarla mm’ye çevrilerek doğru ve hassas ölçüm hedeflenmiştir.

Projenin tasarım ve uygulaması aşamasında gerçekleştirilen işlemleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Öncelikle ölçme ve kontrol sistemlerinde yapılan çalışmalarda hassas ve doğru ölçüm için kullanılan optik algılayıcılar araştırılarak, çalışma prensipleri detaylıca incelenmiştir.
- Yapılan incelemeler sonucunda günümüz teknolojisinde gittikçe önem kazanan zaman tasarrufu, maliyetlerin düşürülmesi, verimin ve performansın artırılmasına yönelik literatür araştırmaları yapılmıştır.
- Encoder çeşitlerinin hangi noktada birbirlerinden ayrıldığı incelenmiş, ölçme ve kontrol sistemlerindeki eksiklikler tespit edilmiştir.
- Artımsal encodere bir mikroişlemci ve harici pil entegre ederek pozisyonun sürekli hafızada tutulması sağlanmıştır.
- Tez çalışmasında, tüm otomasyon sistemlerinin esasını teşkil eden DC motorun, PID (Orantı – Türev – İntegral etki) kontrolü etkin bir şekilde yapılmıştır.
- Haberleşme yöntemlerinden biri ile de pozisyon bilgisinin kontrol sistemine gönderilmesi mümkün hale getirilmiştir.
- Test düzeneği için malzeme tedariki gerçekleştirilip, sistem tasarımının tamamlanarak deneysel çalışmalara başlanmıştır.
- Çeşitli programlarda gerçekleştirilen simülasyonlar ile programların güvenilirliği ve verdikleri sonuçların benzerliği karşılaştırılmıştır. Proje, simülasyonlarla desteklenip hedeflenen değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu şekilde artımsal encoder’i, mutlak encoder karakteristiğinde kontrol ederek çeşitli hesaplamalara gerek kalmadan, endüstriyel uygulamalarda; servo motorlar ve sistemleri, endüstriyel robotlar, endüstriyel kontrol işlemleri, vinçler, CNC tezgahları v.s hareketli aşamalara sahip mekanizmaların gerçek pozisyonlarını tam olarak göstermeyi sağlayan inovatif bir ürün elde edilmiştir.

Tez çalışmasında tercih edilen düzenlemeler, projenin olası varyasyonlarını sınırlamaz, projenin kapsamını aşmayan çeşitli modifikasyonlar ve değişiklikler yapılabileceği gibi, tez çalışmasının ilkesi dahilinde benzer veya geliştirilmiş özelliklere sahip herhangi bir değişiklik projeye katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Akkaya, A. Z., İsençer, B., & Uytun, E. (2021, June 9). *Analog-Dijital Elektronik Atölyesi*.
http://meslek.eba.gov.tr/upload/dk10/analog_dijital_elektronik_atolyesi_10_9.pdf
- Alciatore, D., & Hystand, M. (2018). Introduction To Mechatronics And Measurement Systems. In *Introduction To Mechatronics And Measurement Systems* (Pp. 405–405).
<https://agromet.sanru.ac.ir/wp-content/uploads/2018/11/introduction-to-mechatronics-and-measurement-systems.pdf>
- Allahverdi, Ç., Şahan, A., & Özdemir, M. Y. (2019). *Mühendislik Ve Temel Bilim Projelerinde Arduino Kullanımı*. 70–70. <https://doi.org/10.36287/setsoci.4.5.016>
- Altın, A., Akpınar, E., & Karayigit, H. (2021, August 15). *Meslek Eba Portalı | Doküman İndirme | Robotik Ve Kodlama 10*.
- Anonim. (2016, July). *Df Product Lines - Angular Position Sensors*. Netzer Precision Motion Sensors Ltd. <http://netzerprecision.com/wp-content/uploads/2016/07/electrical-encoder-concept-2016-03.pdf>
- Anonim. (2021). *Enkoder Nedir? - Plc247.Com*. <https://plc247.com/what-is-encoder/>
- Bal, G. (2011). *Ozel Elektrik Makinaları* (S. Yayincilik, Ed.). Seckin Yayıncılık.
- Baser, O. (2017, June 27). *Arduino İle Interrupt Kullanımı Ve Uygulamaları - Elektrobot*.
<http://www.elektrobot.net/arduino-ile-interrupt-kullanimi-ve-uygulamalari/>
- Bolton, W. (2009). *Mechatronics: Electronic Control Systems In Mechanical And Electrical Engineering* (K. Tuncalp, Ed.; Koray Tuncalp). Dahi Yayınları.
- Cronin, D. V. (1968). *Electro-Optical Encoder Having Transmission Variation Compensation* (Patent No. Us3364359a). Dynamics Research Corp.
- Dalgıç, A. (1984). Optik Şaft Kodlayıcıları. *Elektrik Mühendisliği*, 308, 110–110.
- Ellis George, & Siegfried Held. (2007). *Encoder For A Motor Controller* (Patent No. 7,187,305). United States Patent .
<https://patentimages.storage.googleapis.com/9c/59/d6/9bd04e9144ba9c/us7187305.pdf>
- Engin, D. (2014). *Ege Üniversitesi Ege Myo Mekatronik Programı*.
- Fuchs, P. (2020). *Hochaufgelöstes Bild Liegt Uns Noch Nicht Vor Contents*. 1–1.
- Gears, V. (2014). *Gears & Vex*. 12–12.
- Göztaş, M. (2018). *Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlarda Konum Tespiti İçin Bir Deney Düzeninin Gerçekleştirilmesi Murat Göztaş Yüksek Lisans Tezi Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ağustos 2018*. 16.
- Gumus, F. (2018, November 26). *Enkoder Nasıl Seçilir - Mühendis Beyinler*.
<https://www.muhandisbeyinler.net/enkoder-nasil-secilir/>
- Hasan, S. (2020, June 17). *74ls14 Schmitt Trigger Hex Inverter Ic - Veri Sayfası*. <https://Circuits-diy.com/74ls14-schmitt-trigger-hex-inverter-ic-datasheet/>
- Howard, M. (2019). *Endüktif Sensörler Nasıl Çalışır*. 4–5.

- Izgol, K. (2015, September 11). *Arduino Temelleri 12: Dc Motor Hız Kontrolü*.
<https://maker.robotistan.com/arduino-dersleri-12-dc-motor-hiz-kontrolu/>
- Ishizuka Ko, & Kaisha Canon Kabushiki. (2014). *Absolute Rotary Encoder* (Patent No. 8,785,838). United States Patent.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/c9/ca/03/e9436c445a0d87/us8785838.pdf>
- Izgol, K. (2020, April 20). *Arduino Temelleri 15: Arduino İle L298n Motor Sürücü Kartı Kullanımı*.
<https://maker.robotistan.com/arduino-ile-l298n-motor-surucu-karti-kullanimi/>
- John C. Hartmann, C. G., & Nicholas F. Maxenchuk. (1980). *Bi-directional Digital Position Encoder* (Patent No. 4,194,184). United States Patent.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/c2/32/84/20c160d195064c/us4194184.pdf>
- Jokanovic, N. (2021, July 12). *2021'de En İyi Operasyonel Yükselteçler | Kaynak Motor*.
<https://www.sourcengine.com/blog/top-10-operational-amplifiers-in-2019>
- Kimura, F., Gondo, M., Yamamoto, A., & Higuchi, T. (2009). Resolver Compatible Capacitive Rotary Position Sensor. *2009 35th Annual Conference Of Ieee Industrial Electronics*.
- Korkmaz, S. A., & Kürüm, H. (2013). Calculating Momentum With Matlab Programming Language According To Values Of Different Slip Of Motor And Induction Motor Analysis With Finite Element Method. *Mühendislik Dergisi*, 4(12).
- Koybasi, E. (2013). *Dijital Kamera Kullanılarak Robotun Bilgisayar Sistemiyle Birleşik Çalıştırılması*.
http://dSPACE.balikesir.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12462/3061/erman_k%c3%b6yba%c5%9f%c4%b1.pdf?sequence=1&isallowed=y
- Kuç, A., Nil, M., Kılıç, İ., & Koçyiğit, Y. (2015). Belirsiz Katsayılar Metodu İle Pwm Kontrollü Buck Tipi Dönüştürücü Devre Analizi. *Cbu J. Of Sci*, 11(2), 211–216.
<https://doi.org/10.18466/cbujos.25222>
- Lee, S., Jo, J., Kim, Y., & Stephen, H. (2014). *A Framework For Environmental Monitoring With Arduino-Based Sensors Using Restful Web Service*. <https://doi.org/10.1109/scc.2014.44>
- Li, X., Meijer, G. C. M., De Jong, G. W., & Spronck, J. W. (1996). Sq S1 S 2 S3: An Accurate Low-Cost Capacitive Absolute Angular-Position Sensor With A Full-Circle E. *Ieee Transactions On Instrumentation And Measurement*, 45(2).
- Machine, Measuring - Wire Measuring Machine | Maine Historical Society*. (2004).
<https://mainehistory.pastperfectonline.com/webobject/49706703-922b-46aa-8b37-303667163051>
- Madni, A. M. (2006). *The Next Generation Of Position Sensing Parts 1 And 2: Sensors The Journal Of Applied Sensing Technology* (Patent No. 7,015,832). United States Patent.
- Fukuda, N. O. (2018). *Rotary Encoder* (Patent No. Us 2018 / 0259369 A1). United States Patent Application Publication .
<https://patentimages.storage.googleapis.com/53/7e/60/eb0e85306ff160/us20180259369a1.pdf>
- Matteucci, M. (2021). *Robotics*. 13–13.

- Megep. (2009a). Megep - Servomotorlar Modülü. *Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, 51–52.
- Megep. (2009b). *Megep (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi)*. 29–29.
- Mergen, F., & Dr. Kocabas, D. A. (2006). *Elektrik Makineleri Iv - Doğru Akım Makineleri* (B. Yayınevi, Ed.). Birsen Yayınevi.
- Ozakinci, T. (2019, March 14). *01 – Arduino’nun Yapısı – Türker Özakıncı*.
<http://www.turker.gen.tr/2019/03/14/arduino-ile-robotik-kodlama-atolyesi/>
- Özdemir, Z., Tekerek, M., Serdar Yılmaz, A., Sütçü, K., Üniversitesi, İ., Mühendisliği, E.-E., Fakültesi, E., Ve, B., Teknolojileri, Ö., Bölümü, E., Kahramanmaraş, T., & Yazar, S. (2019). *International Symposium On Advanced Engineering Technologies Doğru Akım Motorları İçin Nesnelerin İnterneti Tabanlı Kontrolcü Tasarımı Design Of Internet Of Things Based Controller For Direct Current Motors*.
- Ozkilic, O. (2016). *Proses Güvenliğinde Fonksiyonel Güvenlik (Sıl) Ve Atex Direktifi İlişkisi Relationship Between Atex Directives And Functional Safety (Sıl) İn Process Security Özlem Özkılıç*.
- Rammelsberg, G.-D. (1986). *Absolute Incremental Encoder* (Patent No. 4,599,601). United States Patent.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/18/b3/36/d0852e866c6045/us4599601.pdf>
- R.M Kennel, St. B. (2008). New Developments İn Capacitive Encoders For Servo Drives. *Speedam 2008 International Symposium On Power Electronics, Electrical Drives, Automation And Motion*.
- Schneider B. (2017). “A Guide To Understanding Lipo Batteries.” *Roger’s Hobby Center*.
- Semiz, T. (2019, August 25). *Lipo Pil Nedir? Çeşitleri İle Kapsamlı Lipo Batarya Rehberi*.
<https://maker.robotistan.com/lipo-pil-rehberi/#lipo-pil-nedir>
- Sevik, S. (2017). *Elpc 108 Elektrik Makinaları -I - Pdf Free Download*.
<https://docplayer.biz.tr/47330158-elpc-108-elektrik-makinalari-i.html>
- Smuts, J. (2010, May 3). *3. Pid Controllers | Control Notes*.
<https://blog.opticontrols.com/archives/category/pid-controllers/page/5>
- Staretu, I., & Laurean, B. (2016, January). *(Pdf) Sistem Masoterapeutic Pentru Întreținerea Și Recuperarea Musculară Sistem Integrat Pentru Acționarea Cu Turație Variabilă A Unui Motor Asincron Comandat De Plc – Studiu De Caz*.
https://www.researchgate.net/publication/306553653_sistem_masoterapeutic_pentru_intretinerea_si_recuperarea_musculara_sistem_integrat_pentru_actionarea_cu_turatie_variabila_a_unui_motor_asincron_comandat_de_plc_-_studiu_de_caz
- Takayama, M. (2005). *Encoder* (Patent No. Jp2007114032a).
<https://patentimages.storage.googleapis.com/86/1a/db/54a3a34dd7953a/jp2007114032a.pdf>
- Thomsen, V. (1997). Precision And The Terminology Of Measurement. *The Physics Teacher*, 35(1), 15–17. <https://doi.org/10.1119/1.2344579>

- Ueda. (2017). *Encoder, Encoder Installation Method, Torque-Limiting Mechanism, Driving Apparatus, And Robot Apparatus* (Patent No. US 9,534,931 B2). United States Patent .
- Williams, D., & Wrigglesworth Walter. (2006). *Absolute Incremental Position Encoder And Method* (Patent No. 7,034,283). United States Patent .
- Wu, J. Y., Chen, Z., Deguet, A., & Kazanzides, P. (2018, October 5). *FPGA-Based Velocity Estimation for Control of Robots with Low-Resolution Encoders*. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* | 10.1109/IROS.2018.8594139.
- Yuksel, I. (1991a). *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri* (U. Üniversitesi, Ed.; Uludag Üniversitesi). Uludag Üniversitesi Basımevi 1991.
- Yuksel, I. (1991b). *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri* (Uludağ Üniversitesi). Uludag Üniversitesi Basımevi 1991.
- Yuksel, I. (1991c). *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri* (U. Üniversitesi, Ed.; Uludağ Üniversitesi). Uludag Üniversitesi Basımevi 1991.