

T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ



TURBOJET MOTORUN RADYAL FANININ
PID KONTROLÜ
BİTİRME TEZİ

Hazırlayanlar

Hilal SUBAŞI	2015010225071
Eren TÜRKOĞLU	2014010225045
Kerim YAZICI	2013010225055
Sefer ÇELİK	2014010225093
Özge ERDOĞAN	2015010225055

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ Cihan MIZRAK

KARABÜK-2019

İçindekiler

1.GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması.....	2
1.2 Turbo Jet Motor Çalışma Prensibi.....	3
1.3 Turbo Jet Motorun Bileşenleri.....	4
1.3.1. Hava giriş alığı	6
1.3.2. Kompresör	6
1.3.3. Yanma odası	7
1.3.4. Türbin	9
1.3.5. Egzoz lülesi	11
2. KULLANILAN MALZEMELER.....	13
2.1 Arduino / Genuino Uno.	13
2.1.1 Arduino Uno Teknik Özellikleri	15
2.1.2 Güç	15
2.1.3 Giriş ve Çıkışlar.....	16
2.1.4 Haberleşme	16
2.1.5 Programlama.....	17
2.1.6 USB Aşırı Akım Koruması	18
2.2. DC Motor.....	18
2.2.1 DC Motor Çeşitleri	18
2.2.2 Fırçalı DC Motorlar:	19
2.2.3 Redüktörlü DC Motorlar:	22
2.2.4 Redüktörsüz DC Motorlar:	22
2.2.5 Fırçasız DC Motorlar:.....	23
2.3 Encoder Nedir?	25
2.3.1 Encoder Çeşitleri Ve Çalışma Prensibi	26
2.3.2 Encoder Seçiminde Nelere Dikkat Etmeliyiz?	26

2.4. Arduino Dc Motor Bağlantısı	27
2.4.1 Enkoder Kullanımı:	27
2.5. DC Motor Sürücü Kartları:	28
2.5.1 Arduino Motor Sürücü Bağlantısı	29
2.6 Potansiyometre	29
2.6.1 Potansiyometre Ne İşe Yarar?	30
2.6.2 Potansiyometre Nasıl Bağlanır?	31
2.6.3 Arduino İle Potansiyometre Kullanımı.....	31
2.6.4 Potansiyometre Ardiuno Bağlantısı.....	32
3.PID KONTROL.....	33
3.1 Bir Sistemi Kontrol Etmek	33
3.2 PID Denetleyiciler	33
3.3 PID Kontrolörün Parametrelerinin Hesaplanması	35
3.4 PID Kontrol Çalışma Mantığı	36
3.4.1 PID'ye örnek verecek olursak;	36
4. DC MOTORUN PID KONTROLÜ	37
5.TASARIM	39
6. PROJEMİZDE KULLANDIĞIMIZ ARDUINO KODLARI	43
7. GENEL SONUÇLAR	45
8. KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ 1	49
ÖZGEÇMİŞ 2.....	50
ÖZGEÇMİŞ 3.....	51
ÖZGEÇMİŞ 4.....	52
ÖZGEÇMİŞ 5.....	53

Hilal SÜBASİ
Eren TÖRKÖĞLÜ
Sefer GELİK
Varin YATICI
Öğr. Gör. E. N. ÖZKAN

KABUL VE ONAY

Türbojet Motorunun
"Dijital Kontrol" başlıklı bu tezin
tarafından hazırlanan "Dijital Kontrol" başlıklı bu tezin
Lisans Bitirme Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım. 18.06.2019.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üy. C. İ. KIZILAK

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Mekatronik Mühendisliği
Anabilim Dalında Lisans Bitirme Tezi olarak kabul edilmiştir. 18.06.2019.

Tez Jürisi

Başkan: Dr. Öğr. Üy. Kenan İLİK

Üye : Dr. Öğr. Üy. Sn. Bülent FİDAN

Üye : Arş. Gör. Ömer KARTALTEPE

KBÜ Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Mezuniyet Komisyonu ve Bölüm
Başkanlığı bu tezi Lisans Bitirme Tezi olarak onamıştır. 18.06.2019.

Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU
Mekatronik Müh. Bölüm Bşk.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başlangıcından sonlandırıldığı ana kadar karşılaştığımız her türlü sorunun aşılmasında bize yardımcı olan, hoşgörüsü, desteği ve bilgisiyle bize yol gösteren değerli hocamız ve tez danışmanımız Dr. Öğr. Üyesi CİHAN MIZRAK'a teşekkür ederiz. Ayrıca bize malzeme ihtiyacı bakımından yardımcı olan diğer kuruluşlara teşekkür ederiz. Çalışmanın uygulamasının ve yapılmasında deneyimlerini ve desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

ÖZET

Bu güç, motorun bağlı olduğu aracı ileri hareket ettirir. Genellikle, normal uçaklara göre çok daha seri, daha hızlı olan ve daha yükseğe çıkabilen jet uçaklarında kullanılan bu motorlar, modern savaş uçaklarının geliştirilmesini sağladı. Jet motorların prensibi: Jet uçaklar ve füzeler başta olmak üzere insansız hava araçları, roket motorları, model roketler ve uzay araçlarında kullanılır. Hatta bazı yüksek hızlı otomobillerde de bu tür motorlara rastlamak mümkün. Endüstriyel gaz türbinleri veya deniz santralleri gibi uçak dışında uygulamalara sahiptir. Basit bir çalışma prensibi ile mühendislikte muhteşem bir makinenin ortaya çıktığını söyleyebiliriz. Çalışma mantığı, motorun ön bölümünde bulunan devasa fan, atmosferdeki havayı motorun içine çeker. Yanma odasında, kompresörün sıkıştırdığı hava ısıtılır ve yakıtla püskürtülür. Bujiler aracılığı ile oluşan kıvılcım, sıkışan hava ve yakıtı ateşler. Yanma odasında büyük bir patlama ve basınç meydana gelir. Sıkışan ve yanan gaz veya egzoz gazı genişler, hızlı bir şekilde dışarı çıkmaya çalışırken büyük bir itme kuvveti oluşturur. Bu kuvvet, havaya uygulanan etkinin tepkisidir. Bu gazlar, her yöne eşit kuvvet uygular. Egzoz gazları tarafından üretilen itme, motorun bağlı olduğu uçağı iter ve ileri doğru hareket ettirir. Bizim projemizde turbo jet motoru prototipini yapmış bulunmaktayız. İç ve dış katmanını 3d yazıcıyla çıkartıp arduino ve dc motor sayesinde çalışmaya hazır hale getirdik. Çalışma mantığı kısaca dc motorun hız kontrolü PID denetleyici ile arduino üzerinden gerçekleştirilmiştir. PID denetleyicinin Kp, Ki, Kd katsayıları değiştirilerek katsayıların sistem dinamiği üzerinde etkisi görülmüştür. Katsayılar değıştikçe de sistemin yerleşme zamanının değıştiğı ve çeşitli dalgalanmaların oluştuğı gözlemlenmiştir.

SUMMARY

This power moves the vehicle to which the engine is connected. These engines, which are often used in jet aircraft, which are much sherry, much faster and higher than normal aircraft, have led to the development of modern combat aircraft. Type of jet engines; jet aircraft and missiles, especially unmanned aerial vehicles, rocket engines, model rockets and spacecraft are used. In some high-speed cars it is even possible to come across such engines. It has applications outside the aircraft such as industrial gas turbines or marine power plants. With a simple operating principle, we can say that a great machine has emerged in engineering. Short-term start-up logic The giant fan in front of the engine draws air from the atmosphere into the engine. In the combustion chamber, the air compressed by the compressor is heated and sprayed with fuel. The spark produced by the spark plugs ignites the trapped air and fuel. A large explosion and pressure occur in the combustion chamber. Trapped and burnt gas or exhaust gas expands, creating a great push when trying to get out quickly. This force is the response of the effect applied to the air. These gases apply equal force in all directions. The thrust generated by the exhaust gases pushes the forward plane of the engine and moves it forward. In our project, we made the turbo jet engine prototype. We removed the inner and outer layer with 3D printer and made it ready to work with arduino and dc motor. In short, the speed control of the DC motor is carried out via the arduino with PID controller. K_p , K_i , K_d coefficients of PID controller were changed and effect of coefficients on system dynamics was observed. As the coefficients change, the settlement time of the system changes and various fluctuations are observed.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A : Kesit Alanı [m²]

BLDC : (Brushless Direct Current) Fırçasız Doğru Akım

l : Uzunluk [m]

m : Kütle [kg]

M : Mach Sayısı **m** : Kütle Akışı [kg/sec]

Q : Isıl Enerji [J]

R : Evrensel Gaz Sabiti [286,9Nm/kgK]

U : Enerji [J]

V : Hacim [m³]

W : İş [J]

ρ : Özgül Ağırlık [kg/m³]

α : Açısal İvme [1/sec²]

P : Basınç [Pa]

T : Sıcaklık

v : Akış Hızı

J : Atalet Momenti

τ : Tork vektörü

ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL 1.1	TURBOJET MOTOR KESİTİ.....	3
ŞEKİL 1.2	MERKEZKAÇ AKIMLI KOMPESÖR.....	7
ŞEKİL 1.3	EKSENEL AKIMLI KOMPRESÖR (ROTOR VE STATOR)	7
ŞEKİL 1.4	TÜRBİN ŞAFTINI ÇEVRELEYEN YANMA ODASI HÜCRELERİ	8
ŞEKİL 1.5	İZOLE EDİLMİŞ YANMA ODASI HÜCRESİ	8
ŞEKİL 1.6	İZOLE EDİLMİŞ TEK TÜRBİN TEKERİ	9
ŞEKİL 1.7	İTME KANAT MONTAJI	10
ŞEKİL 1.8	KANAT MONTAJI	10
ŞEKİL 1.9	KOMPRESÖR VE TÜRBİNİN BİRBİRLERİNE BAĞLI OLDUĞU ŞAFT	10
ŞEKİL 1.10	TURBO JET MOTOR EGZOZ LÜLESİ	11
ŞEKİL 1.11	BİR NOKTADA BİRLEŞEN EGZOZ LÜLESİ	11
ŞEKİL 1.12	EGZOLDAN ALINAN GAZIN DİNAMİKLERİ	11
ŞEKİL 1.13	TURBO JET MOTORU SICAKLIK , HIZ VE BASINÇ DEĞİŞİMLERİ	12
ŞEKİL 2.1	ARDUİNO UNO	13
ŞEKİL 2.2	ARDUİNO PİNLERİNİN GÖSTERİMİ	14
ŞEKİL 2.3	ARDUİNO PROGRAMLAMA AYARLARI	17
ŞEKİL 2.4	FİRÇALI DC MOTOR	18
ŞEKİL 2.5	FİRÇALI DC MOTORUN MANYETİK ALAN GÖSTERİMİ	19
ŞEKİL 2.6	H- KÖPRÜSÜ	20
ŞEKİL 2.7	REDÜKTÖRLÜ DC MOTOR	21
ŞEKİL 2.8	FİRÇALI REDÜKTÖRSÜZ DC MOTOR	22
ŞEKİL 2.9	FİRÇASIZ DC MOTOR	22
ŞEKİL 2.10	INRUNNER TİPİ FİRÇASIZ DC MOTOR	23

ŞEKİL 2.11 OUTRUNNER TİPİ FIRÇASIZ DC MOTOR	23
ŞEKİL 2.12 FIRÇASIZ MOTOR ESC (ELEKTRONİK SPEED CONTROL)	24
ŞEKİL 2.13 ENKODER	26
ŞEKİL 2.14 ARDUİNO ENKODER BAĞLANTI ŞEMASI	27
ŞEKİL 2.15 DC MOTOR SÜRÜCÜ KARTI	27
ŞEKİL 2.16 ARDUİNO MOTOR SÜRÜCÜ BAĞLANTI ŞEMASI	28
ŞEKİL 2.17 POTANSİYOMETRE GÖSTERİMİ	28
ŞEKİL 2.18 100K POTANSİYOMETRE ÇALIŞMA PRENSİBİ	29
ŞEKİL 2.19 POTANSİYOMETRENİN 2.BAĞLANTI YÖNTEMİ	30
ŞEKİL 2.20 ARDUİNO POTANSİYOMETRE BAĞLANTISI	31
ŞEKİL 3.1 BİRİM GERİ BESLEMELİ PID DENETİM	32
ŞEKİL 3.2 PID DENETLEYİCİNİN ORANSAL YA DA TÜREVSEL YAPISI	33
ŞEKİL 3.3 PID KONTROLÖRÜN TRANSFER FONKSİYONU	34
ŞEKİL 3.4 PID DENETLEYİCİLERİN OP-AMPLAR İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	35
ŞEKİL 4.1 DC MOTORUN ELEKTRİKSEL VE MEKANİKSEL YAPISI.....	36
ŞEKİL 4.2 MODEL PARAMETRELERİNİN TANIMLARI.....	37
ŞEKİL 5.1-5.2 TURBOJET MOTORU BİLEŞENLERİNİN 3D PRINTER ÇIKTILARI.....	38
ŞEKİL 5.3 TURBOJET MOTORU BİLEŞENLERİNİN SOLIDWORKSTE MONTAJLANMIŞ SON HALİ	39
ŞEKİL 5.4 – 5.5 TURBOJET MOTORU BİLEŞENLERİNİN 3D ÇIKTILARININ MONTAJLANMIŞ HALİ	39
ŞEKİL 5.6 ENKODERLİ DC MOTOR VE L298N MOTOR SÜRÜCÜ DEVRESİNİN ARDUİNO İLE BAĞLANTISI	40
ŞEKİL 5.7 ENKODERLİ DC MOTOR,L298N MOTOR SÜRÜCÜ DEVRESİ VE POTANSİYOMETRENİN ARDUİNO İLE BAĞLANTISI	41
ŞEKİL 5.8 PROJENİN SON HALİ	41

BÖLÜM 1

1.GİRİŞ

İnsanoğlunun en önemli teknolojik başarılarından biri de özellikle havacılık sanayisi olmak üzere dünyanın her yerine ulaşmamızı kısa zaman dilimine indirgemeyi sağlayan uçakların gelişimini sağlamasında jet motorlarının katkısı şüphesiz epeyce fazladır.

Uçaklar 1900'lerin ilk dönemlerinden 1935 dönemine kadar içten yanmalı motor kullandılar. İçten yanmalı yıldız tipi motorlar pervaneleri çalıştırıyor ve buradan sağlanan itme gücü ile havalanıyorlardı. Fakat bu sistem yeterli değildi. Belli bir yüksekliğin ve hızın üstüne çıkmak mümkün olmuyordu. Frank Whittle adında hava pilotu 1930 senesine gelindiğinde gaz türbini ile difüzörü beraber kullanmak üzere ilk jet motorunu geliştirdi ve patent başvurusunda bulundu. Tam manadaki jet motorlu uçak üretimi İngiltere tarafından 1941 yılında geliştirilmiş ve kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı' nın sonlarına doğru Almanlar en başarılı jet motorlu uçakları geliştirmiş ve kullanılmaya başlamışlardır. Sonraki yıllarda turbojet motorları uçakların dışında insansız hava araçlarında (İHA) ve füzelerde kullanılmıştır.

Ülkemizde ise ilk yerli turbojet motoru olma özelliğine sahip KTJ-3200, 2009 yılının nisan ayında test edilmiştir. Bu motorun özellikle seyir füzeleri, hedef uçak ve insansız hava araçlarında kullanılması planlanmıştır.

Küçük jet motorlarının güçlendirdiği hava araçlarını

- insansız hava araçları
- bazı füzeler
- eğitim araçları
- helikopterler
- bölgesel yolcu uçakları
- iş jetleri şeklinde sınıflandırabiliriz.

Günümüzdeki jet motorları, daha hafif, daha az yakıt tüketen, daha sessiz ve daha az maliyetli olacak şekilde geliştirilmektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda bu projede; hava alığı, kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz kısımlarından oluşan deneysel küçük bir turbojet motorun performans modellemesi elde edilerek turbojet motoru radyal fanının PID kontrolü sağlanmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

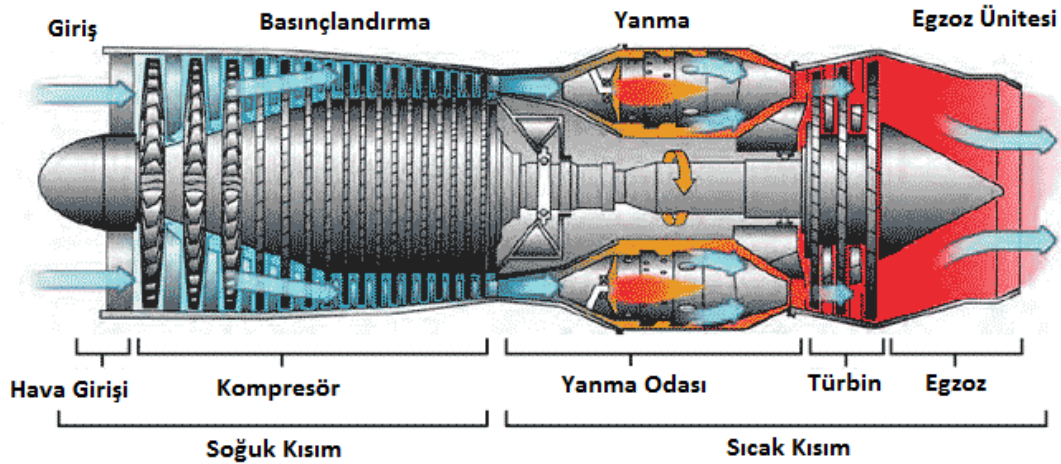
Turbo jet motorlar 21. Yüzyıl için oldukça önemli bir köşe taşıdır. Hava taşımacılığı ve askeri gelişmeler bu motor doğrultusunda gerçekleşmiştir. Turbo jet motorların matematiksel olarak modellenmesi eski bir problemdir. Kurt Seldner'ın Nasa'da 1972 yılında yaptığı genelleştirilmiş turbojet sistem analiz teknikleri makalesi, turbo jet motorlarının matematiksel modellemenin ilk geniş çaplı çalışmasıdır.

Jet motorların modellenmesi; ticari uçuşlardaki çalışma koşulları içinde motordan en yüksek oranda verim almak, NASA ve bir çok ülkenin hava endüstrisinin yaptığı bilimsel çalışmalarla motorun çalışma zarflarını genişletmek ve daha kötü şartlarda çalışmasını sağlamak adına araştırmak ve geliştirmek amacıyla önemli bir pozisyonadadır. Akademik alanda yapılan çalışmalardan Ar-Ge firmalarının desteği ile olanlar, küçük ya da büyük ölçekli motorların analizi ve geliştirilmesi hedef alınmıştır. Aynı zamanda akademik olarak kullanılan simülasyon programları ve modelleme yöntemleri ile simülasyon sonuçlarının gerçek sonuçlarla olan uyumu incelenir. Modelleme; jet motorların uçuşu sırasında çalışma zarflarına bağlı olarak karşılaşacağı problemleri en aza indirmek için gereklidir. Bu alışma düzensizliklerinin başlıcaları; ani basınç dalgalanması(surge), düzensiz çalışma(stall), yakıt azlığı sebebiyle sönme (combustor lean blowout) ve kararlı sönme(flame out) olarak sıralanabilir. Turbo jet motorların davranışları doğrusal olmadığından modellenmeleri ve kontrol edilebilmeleri bilinen bir problemdir. Gaz türbininin doğrusal olmayan dinamik denklemleri mühendislik prensiplerine göre geliştirilmelidir. Modelin tamamlanması için ardışık cebirsel denklemler de kullanılmalıdır. Bu denklemler, jet motorun çeşitli çalışma zarflarındaki statik davranışını simüle etmek amacıyla modelleştirilir. Simülatörler ve ölçülmüş değerlerin karşılaştırılmasıyla izlenen yöntemin doğruluğu kanıtlanabilir.[1] Geleneksel olarak; motor bileşenlerinin karakteristiklerini inceleyerek, statik türbin karakteristiklerini matematiksel olarak incelemek, durağan durum davranışlarını analiz etmemizi sağlamaktadır. Statik karakteristikler; hesaplamalar ve ölçümler sonucu geliştirilmiş polinomlar aracılığıyla tanımlanır.[2]

Durağan durum doğrusal olmayan detaylı modeli sayesinde turbo jet motorun, verilen bir operasyon noktasındaki dinamik davranışı anlaşılabilir.

1.2 Turbo Jet Motor Çalışma Prensibi

Turbojet motorları aldığı havayı sıkıştırıp şiddetli egzoz gazı üretmek suretiyle itme gücü elde ederler. Çalışma aşamaları içten yanmalı motorlara benzer. Fakat mantık farklıdır. Turbo jet motorlarının çalışma aşamaları şu şekildedir:



Şekil 1.1 : Turbo Jet Motor Kesiti [18]

Bir turbo jet motorun çalışma prensibi oldukça anlaşılabilir ve 5 temel bölümden meydana gelir. Inlet (havanın girdiği yer, hava alığı da denilmektedir), compressor (kompresör), combustor (yanma odası), türbine (türbin ve nozzle). Inlet(normal olarak gövdenin bir parçası olarak değerlendirilir) dinamik hava basıncını statik hava basıncına çevirir. Kompresör, büyük oranda havayı sıkıştırır ve yanma odasına gönderir. Burada hava iki yola ayrılır. Birincisi, yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 4,000°F) yanmanın olduğu yanma odasından geçer, ikincisi yanma odasının soğutulması için kullanılır ve 1,600 – 2,400°F arası bir sıcaklıkta gaz harareti üretmek üzere yanma odası çıkışı ile birleştirilir. Daha sonra sıcak gazlar, kompresör ve motora bağlı diğer bazı hareketli parçaları harekete geçirmek üzere enerjinin bir bölümünün alındığı türbinden akar. Gazlar daha sonra, bir duct (after burner olarak isimlendirilen ilave yakıtın verildiği yer) üzerinden geçerek türbin memesine gelir ve burada genişletilerek gazların momentumu çok yüksek düzeylere çıkarılır. Momentumun girişten nozzle çıkışına kadar olan değişmesi uçağı iten thrust kuvvetinin çoğunu meydana getirir.

Özellikleri:

- Uçaklarda kullanılan ilk gaz türbinli motor tipidir.
- Yüksek hızlara ulaşılabilir.
- Yakıt Turbo jet motorun çalıştı temel tüketimi fazladır.
- Çok sesli çalışır.
- En küçük özgül ağırlık (motor ağırlığı/tepki(lb))
- Uzun kalkış pisti gereklidir.
- Bu özelliklerinden görüldüğü gibi turbo jet motoru yüksek hız, yüksek irtifa, uzun mesafe uçuşları için en iyi ve en üstün motor tipidir.
- Turbo jet motorun çalıştığı temel bölümlerden özellikle , türbin ve kompresör bölümünün etkinliği thrust çıkışı için çok önemlidir. Yaklaşık olarak sıcak gazlarda bulunan enerjinin üçte ikisi kompresörü sürmek için türbin tarafından emilir. İlk modellerde yetersiz türbin ve kompresörlerin diğer konstrüksiyon malzemeleriyle birleşmesi sonucu başarısız olmuştur. Termodinamik kanunlarının, açığa çıkan enerjinin sıcaklık ve basınçtaki yükselme ile yükseleceğini belirlemesi sonucunda dizayn mühendisleri, daha büyük basınç oranları üretecek kompresörler ve en yüksek sıcaklıklara dayanacak türbinler geliştirmek için çalışmaya başladılar. [3]

1.3 Turbo Jet Motorun Bileşenleri

Turbo jet motorun ana bileşenleri hava giriş alığı, kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz lülesidir. Hava giriş lülesinin karakteristiği, akışın sesaltı ve sesüstü olmasına göre değişir. Her iki durumda da hava giriş lülesinin görevi; kompresör veya fana yüksek durgunluk basıncında, en az seviyede sıcaklık ve basınç değişimi sağlayacak şekilde hava emilimini sağlamaktır.

Uçak gaz türbinli motorlarda eksenel ve merkezci akımlı olmak üzere iki çeşit kompresör kullanılmaktadır. Merkezci kompresörlerde akış, eksene yakın ve merkezden dış yarıçapa doğrudur. Bu tip kompresörlerin avantajı birim kademe başına daha fazla sıkıştırma oranına sahip olmasıdır. Dezavantajı büyük ön alana sahip olması ve veriminin düşük seviyelerde olmasıdır. Kullanımda küçük motorlarda veya büyük motorlarda son kademe olarak kullanılır.

Yakıtın püskürtüldüğü, buharlaştığı ve yanmanın olduğu motor bileşeni ise yanma odasıdır. Zengin karışım, yanma odası hattından gelen soğuk havayla karışır. İyi bir yanma

odası tasarımı için en düşük basınç kaybıyla yakıtın tamamen yanmasını sağlayacak şekilde olmalıdır.

Uçak gaz türbinli motorlarda kullanılan türbinler aksenal akışlı türbinlerdir ve aksenal akışlı kompresörlerle birlikte kullanılırlar. Türbine giren gaz çok yüksek sıcaklıktadır ve ilk türbin kademesi kompresörden gelen soğutma havasıyla soğutulmalıdır. Türbin soğutması beraberinde motor performansında azalma meydana getirdiğinden yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme kullanılarak yüksek türbin giriş sıcaklığı sağlanmalıdır.

Uçak gaz türbinli motorun son bileşeni egzoz lülesidir ve bu bileşende yüksek basınçlı egzoz gazlarını atmosfere atılmasını sağlar. Farklı Mach sayılarında lüle çıkış basınç oranı da farklılık gösterir. Optimum lüle performansı, lüle çıkış basıncının atmosfer basıncına yakın bir değerde olması ile sağlanır.

Hava emişli motorlarda en fazla kullanılan iki parametre, Eşitlik 1’de gösterilen özgül itki kuvveti (itki kuvvetinin motordan geçen toplam hava debisine oranı) ve Eşitlik 2’de verilen özgül yakıt sarfiyatıdır.

$$\text{Özgül İtki} = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{Hava Debisi}} \left(N \cdot \frac{s}{kg} \right)$$

$$\text{Özgül Yakıt Sarfiyatı} = \frac{\text{Yakıt Debisi}}{\text{Kuvvet}} \left(\frac{g}{(kN \cdot s)} \right)$$

Bu iki parametre, ısı ve itki verimleriyle doğrudan ilişkilidir. Motordan elde edilen faydalı mekanik güç, egzoz lülesindeki kinetik enerjinin bir oranıdır. Aynı zamanda bu kinetik enerji, bir motor tasarımcısı için elde edeceği itki kuvvetidir. Yerel bir gaz türbinli motor için egzoz akımının kinetik enerjisi ilave bir türbin kademesi ile şaft gücüne çevrilir. Bu ilave bileşenlerin eklenmesiyle uçak motoruna göre, yerel gaz türbinli motorun ısı veriminin düşük olması ve bileşen verimlerinde daha çok kayıp meydana gelmesi gibi sonuçlar doğurur. İtki verimi, motorun ürettiği enerjinin uçuş aracına ilettiği faydalı güce oranıdır. İtki verimi, Eş.(3)’de verildiği gibi, itki kuvvetinin motorun ürettiği güce oranı olarak ifade edilmektedir.

$$\text{İtki verimi} = \frac{\text{İtki kuvveti} \times \text{Uçuş hızı}}{\text{Motordan elde edilen güç}}$$

Isıl verim ise motora giren enerjinin motordan elde edilen güce oranıdır.

$$Isıl\ verim = \frac{\text{Motordan elde edilen güç}}{\text{Yanma odasına giren güç}}$$

Toplam (overall) verim ise, itki ve ısı verimlerinin çarpımına eşittir ve motor verimi ifade edilirken toplam verim esas alınmaktadır.

$$\text{Toplam verim} = \text{İtki verimi} \times \text{Isıl Verim}$$

Turbojet motorlara ait çevrim analizleriyle ilgili eşitlikleri birçok kaynakta bulmak mümkündür. [4-6] Bu eşitlikler yardımıyla gerek teorik gerek deneysel amaçlı motorlara ait ölçülmeyen ve bilinmesi gereken motor istasyonlarına ait basınç, sıcaklık gibi değerleri bulmak mümkündür.

1.3.1. Hava giriş alığı

Turbo jet motorlarda atmosferdeki hava, hava giriş alığından geçerek kompresöre iletilir. Jet motorun sahip olduğu hız ve atmosferin anlık özellikleri, kompresör girişindeki havanın niteliklerini değiştirir. Aynı zamanda hava alığının aerodinamik tasarımı da verimini belirlemektedir.

1.3.2. Kompresör

Jet motorlarında havanın sıkıştırılması merkezkaç akımlı (centrifugal flow) veya eksenel akımlı (axial flow) kompresörlerle yapılır. Merkezkaç akımlı kompresör geliştirilmesi ve üretilmesi daha kolay olması ve daha sağlam ve dirençli olması açısından avantajlı olmaktadır.

Eksenel akımlı kompresör ise daha fazla hava alıp daha yüksek sıkıştırma oranlarına sahip olması bakımından avantajlıdır.

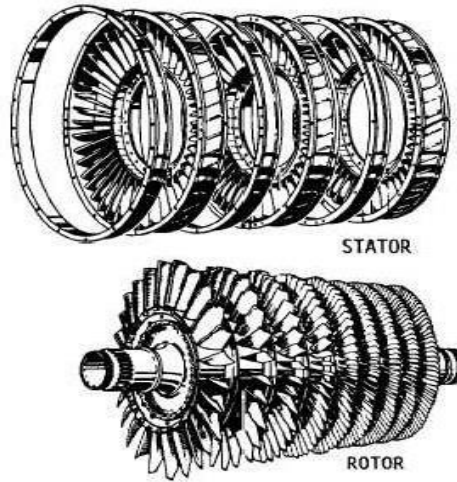
Merkezkaç akımlı kompresörün çalışma prensibi şöyledir: Çark, türbin tarafından yüksek hızlarla döndürülür ve hava devamlı olarak çarkın merkezine indüklenir. Merkezkaç kuvveti, havayı çarkın dışına hızlandırır ve basıncını artırır. Ulaşılan basınç çark hızıyla

doğru orantılıdır. Çarkın dış kısmında bu hız saniyede 500 metreye kadar çıkabilmektedir. Yüksek verim için dış lastik ile çark arası mesafe olabildiğince kısa tutulmalıdır. [7]



Şekil 1.2 : Merkezkaç Akımlı Kompresör [7]

Eksenel akımlı kompresör ise birden fazla dönen kanatçıklı parçadan oluşur. Motor şaftına bağlı rotor ve motorun dış çepherine sabitlenmiş stator bir kademe oluşturur. Her kademe aldığı havayı bir sonraki kademeye iletirken basıncını artırır. Rotorun bağlı olduğu şaft , turbine de bağlı olduğundan ,kompresörün ihtiyacı olan açısal hız türbin aracılığıyla sağlanır. Hava sürekli bir şekilde içeri alınır ve dönen kanatçıklar tarafından hızlandırılarak basıncı artırılır. Kompresörlerde basınca arttırılan hava yanma odasına gönderilir.



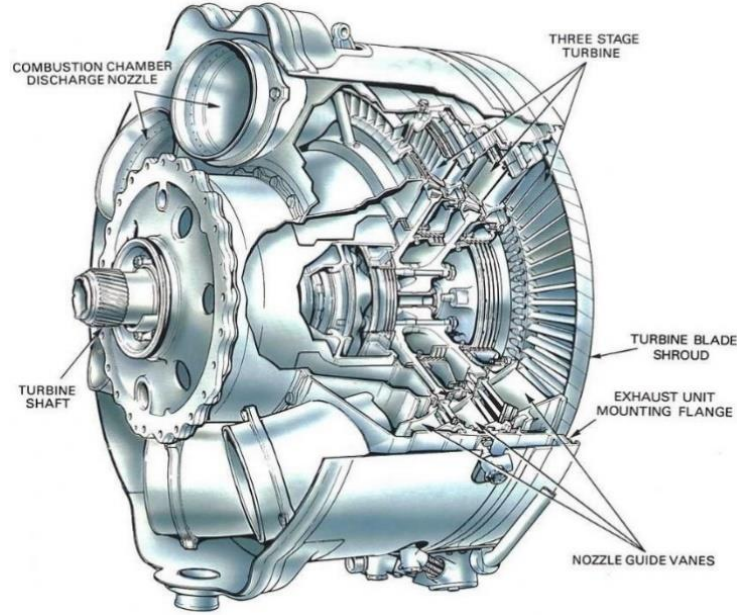
Şekil 1.3 : Eksenel Akımlı Kompresör (Rotor ve Stator) [8]

1.3.3. Yanma odası

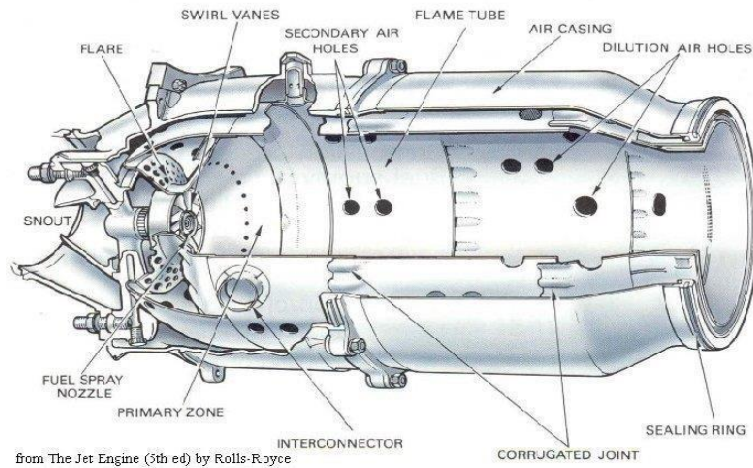
Yanma odasında kompresörlerden gelen yüksek basınçlı havayla enjektörlerden püskürtülen yakıtın karışımının yanması gerçekleşir.

Bu yanma sonucu oluşan sıcaklık seviyesi 1000 santigrat dereceyi aşar fakat türbin bıçaklarının dayanımı sebebiyle 1700 derece civarını aşmamalıdır.

Gelen hava kompresörlerden geldiğinde 200-550 santigrat derece civarındadır ve yanma ile oluşacak sıcaklık artışının 650-1150 santigrat derece olması gerekmektedir.



Şekil 1.4 : Türbin Şaftını Çevreleyen Yanma Odası Hücreleri [9]



Şekil 1.5 : İzole Edilmiş Yanma Odası Hücresi [9]

Kompresörden gelen hava saniyede 150 metreye kadar hıza ulaşabilir. Bu hız yanma için fazla olduğundan ilk olarak kısmen yavaşlatılır ve statik basıncı artırılır. Yakıt hava karışımı genelde yüzde 1-2 civarlarındadır fakat yakıt çeşidine göre değişiklik gösterir. Kerosen yakıtın en verimli yanması için havada yüzde 6,6 civarında bulunması gerektiğinden, yakıt giren havanın tümü ile değil bir kısmı ile yakılır. Bu hava, liner ile oranlı bir şekilde dağıtılır. Yakıtın havaya karıştırılması iki farklı şekilde yapılabilir. Sıklıkla kullanılan metot yakıtın enjektörler tarafından püskürtülmesidir.

Diğer metot ise yakıtın önce buharlaştırılarak havaya salınmasıdır. Havanın tutuşturulması hava gaz karışımının en az tutuşturulma enerjisi sağlanarak yapılmasıyla sağlanır. Çoğu motorda bu bir kapasitöre yüklenmiş yükün bir kıvılcımla boşalması ile yapılır. Yanan, ısısı ve hacmi yükselen hava türbinden geçerek türbinin dönmesini sağlar.

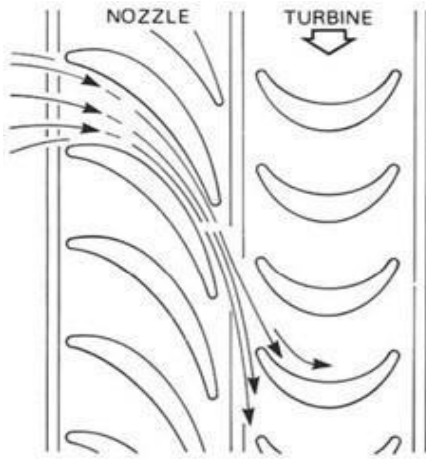
1.3.4. Türbin

Yanma odasından çıkan yüksek enerjili gaz, türbinden geçerek enerjisinin bir bölümünü türbini döndürmeye harcar. Türbinin görevi kompresörün dönmesini sağlamak ve alternatör gibi bir diğer enerji ihtiyacı olan parçalara dönme hareket enerjisi sağlamaktır.

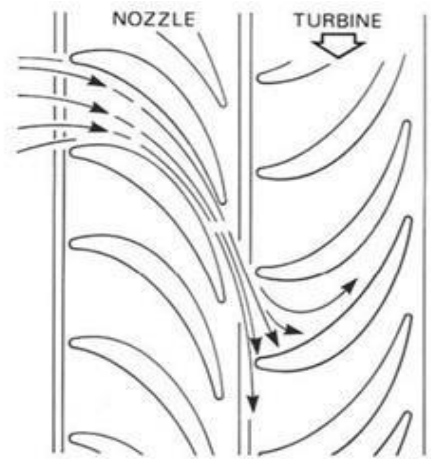


Şekil 1.6 : İzole Edilmiş Tek Türbin Tekeri [10]

Türbin kademe sayısı motordan motora değişebilir. Yüksek sıkıştırma oranına sahip motorlar genelde yüksek ve alçak basınçlı kompresörleri ayrı olarak süren iki şaftlı türbin sistemi kullanır. Türbin enerjisini gaz türbin arası enerji transferinden alır. Termodinamik ve mekanik kayıplar sebebiyle bu transfer %100 verim ile olmaz. Yanma odasından gelen havanın, türbinlerden geçerek, egzoz lülesinden dışarı çıkarken roket itiş sağlayışı aşağıdaki şekildeki gibi olur.

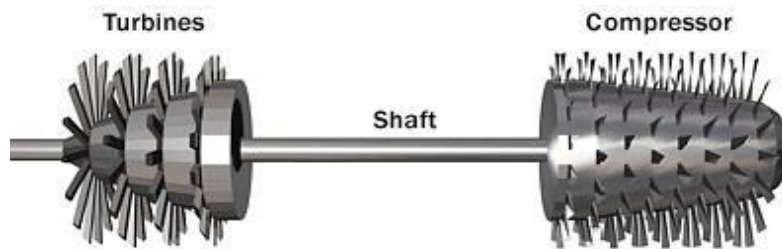


Şekil 1.7 : İtme Kanat Montajı [11]



Şekil 1.8 : Tepki Kanat Montajı [11]

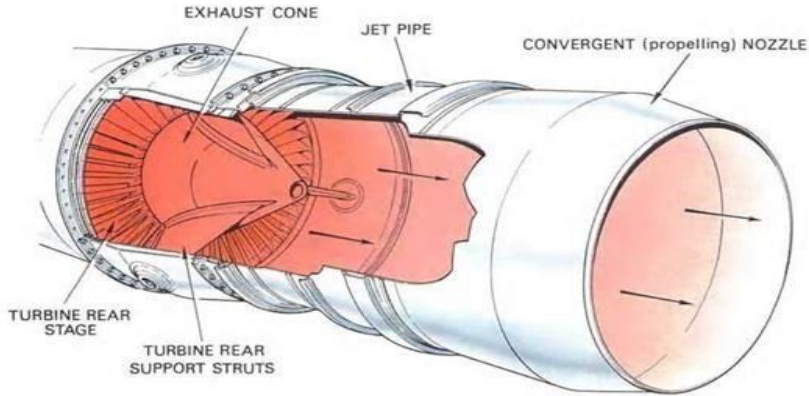
Türbinden geçen sıcak ve yüksek basınçlı hava; egzoz lülesinden çıkarken itki üretir. Aynı zamanda türbinin bıçak tasarımlarından (impulse blading – reaction blading) bağımsız olarak, türbin şaftı sayesinde kompresörü de döndürür. Açısal hız kazanmış kompresör atmosferden düşük basınçlı hava emmeye devam eder ve jet motorun yanma süreci, bu döngüde sürer. Jet motorun elektronik kontrol ünitesi ve diğer elektronik komponentlerinin ihtiyacı olan elektrik enerjisi, türbin şaftına bağlı olan jeneratör tipi bir bileşenden sağlanır.



Şekil 1.9 : Kompresör ve Türbinin Birbirlerine Bağlı Olduğu Şaft [12]

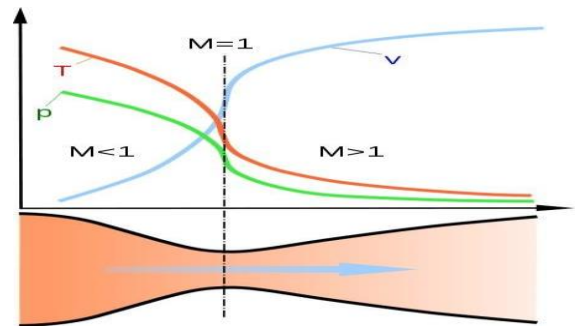
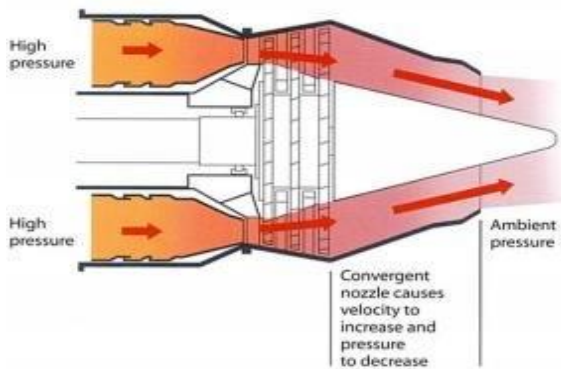
1.3.5. Egzoz lülesi

Turbo jet motorlar; türbinden geçen yüksek hızlı, yüksek hacimli ve yüksek sıcaklıklı havanın boşaltılarak ve itişin sağlandığı bir egzoz sistemine sahiptir.



Şekil 1.10 : Turbo Jet Motor Egzoz Lülesi [13]

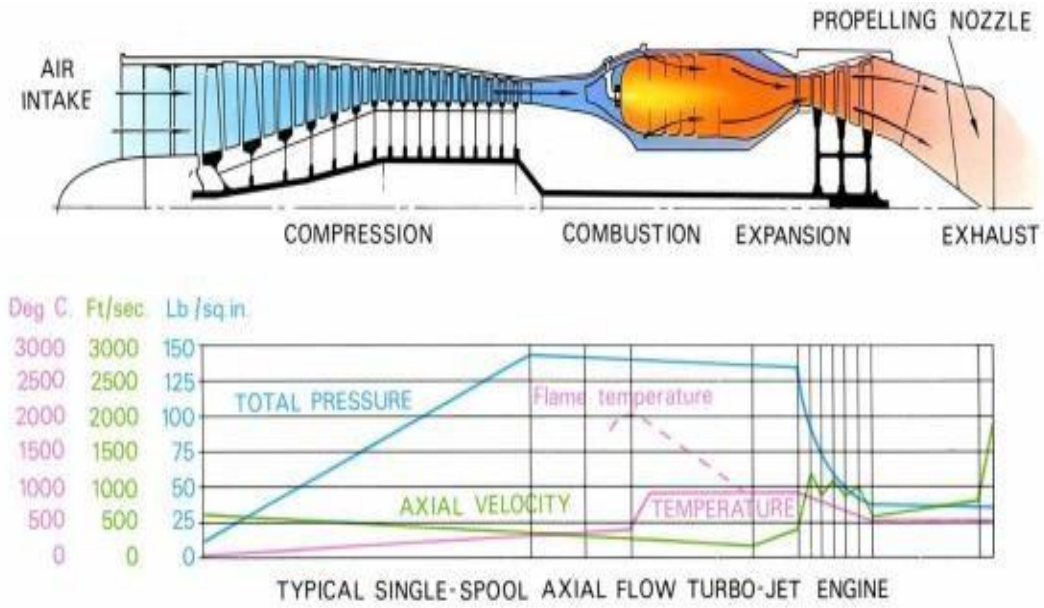
Türbinde gazın azalan enerjisi; sadece kompresörü sürmek, pompalara ve jeneratöre hareket enerjisi sağlayacak kadardır. Yani gaz enerjisinin büyük kısmı egzozda itiş sağlamak üzere muhafaza edilmiştir. Egzoz sisteminin görevi gazdaki potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirmektir. Bunu başaran şey egzoz sisteminin değişken kesit geometrisine sahip silindirik şeklidir.



Şekil 1.11 : Bir Noktada Birleşen Egzoz Lülesi [14]

Şekil 1.12 : Egzozdan Atılan Gazın Dinamikleri [15]

Tasarımı Laval Nozzle olarak adlandırılan egzoz lülesi kesitinin verildiği diyagramda; gaz akışı hızının (v), akış yönünde hızlandığı görülmektedir. Gaz akışının Mach hızına ulaştığı an akışın basıncı (p) ve sıcaklığı (T) dramatik bir şekilde azalmıştır. Gaz akış hızının ses hızını aştığı egzoz boğazından itibaren, gazın sahip olduğu termodinamik özelliklerin atmosferdeki seviyelerine inmesi Brayton Termodinamik Döngüsü'nün D noktasına tekabül etmektedir.



Şekil 1.13 : Turbo Jet Motor Boyunca Sıcaklık , Hız ve Basınç Değişimleri [9]

Şekil 2-17’de Turbo Jet motorun kesiti gösterilmiş ve hava alığından egzoz lülesine kadar motor boyunca değişen sıcaklık, eksenel hız ve basıncın değişimi görülmektedir. Toplam basınç değerleri göz önüne alındığında Brayton Termodinamik Döngüsü görülebilmektedir. Kompresöre giren hava atmosfer basıncından maksimum değerine çıkarılır, ardından yanma odasının içinde patlayarak hacmi arttırılır ve bu sebeple basınç değerinde kayıp oluşur. Yanma odasından çıkan gaz türbin ve egzoz lülesi aracılığıyla dışarı atılırken basıncında radikal bir düşüş olur. Bir noktada birleşen egzoz lülesi tasarımı sayesinde dışarı akan gazın hızı, basıncı azalırken artmaya başlar. Basınç değerindeki bu kayıp ve gazın dışarı çok yüksek hızlarla atılabilmesi motora itki sağlar. Yüksek hız ve düşük basınçta egzoz lülesinden atmosfere atılan gaz, atmosfer basıncına ve normal hacmine geri döner ve döngü tamamlanmış olur.

BÖLÜM 2

2. KULLANILAN MALZEMELER

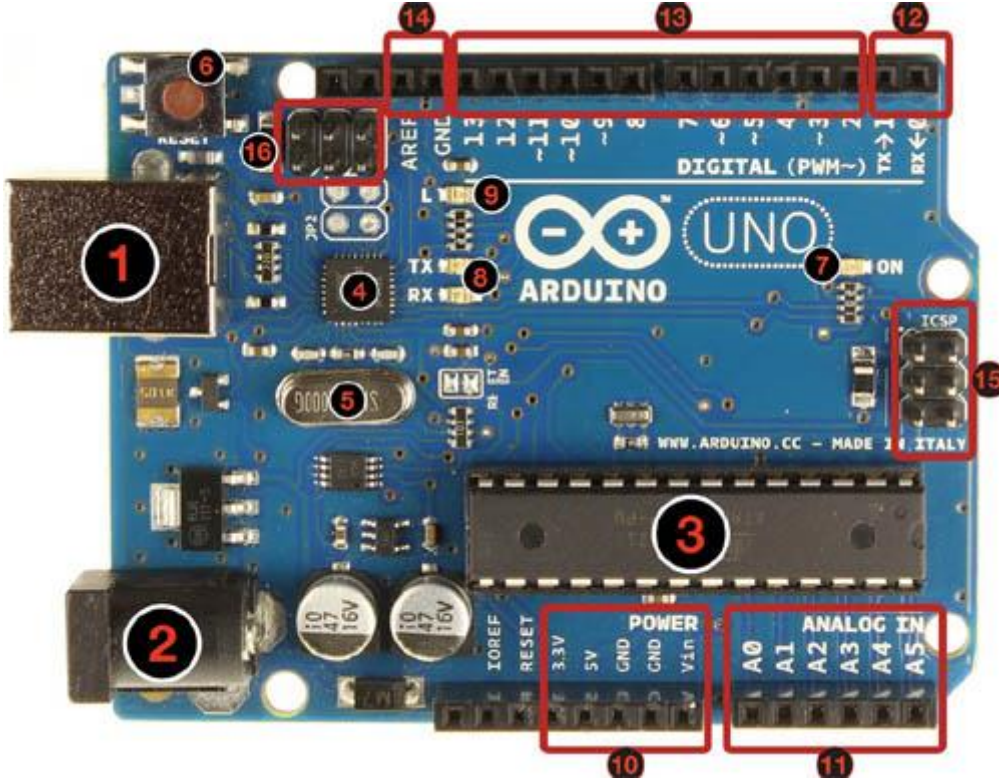
2.1 Arduino / Genuino Uno.

Arduino Uno, ATmega328 mikrodenetleyicili bir Arduino kartıdır. Arduino'nun en çok kullanılan kart olduğu söylenebilir. Arduino Uno'nun ilk modelinden sonra Arduino Uno R2, Arduino Uno SMD ve son olarak Arduino Uno R3 piyasaya sürülmüştür. Arduino'nun kardeş markası Genuino markasını taşıyan Genuino Uno kartı ile aynı özelliklerdedir.



Şekil 2.1 Arduino Uno[25]

Arduino Uno'da, 6'sı PWM çıkışı olarak kullanılabilecek 14 dijital giriş ve çıkış pini vardır. Aynı zamanda 6 analog giriş, 16 MHz kristal osilatör, bir güç konektörü, bir USB portu, bir ICSP başlığı ve bir reset butonu vardır. Arduino Uno, bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gereken tüm bileşenleri içerir. Arduino Uno'yu herhangi bir bilgisayara bağlarsanız, bir adaptör ya da şarj edilebilir bir bataryayla çalıştırabilirsiniz. Aşağıdaki resimde Arduino Uno R3'ün kısımlarını görebilirsiniz.



Şekil 2.2 Arduino Pinlerinin Gösterimi[25]

- 1 : USB jakı
- 2 : Power jakı (7-12 V DC)
- 3 : Mikrodenetleyici ATmega328
- 4 : Haberleşme çipi
- 5 :16 MHz kristal
- 6 : Reset butonu
- 7 : Power ledi
- 8 : TX / NX ledleri
- 9 : Led
- 10 : Power pinleri
- 11 : Analog girişler
- 12 : TX / RX pinleri
- 13 : Dijital giriş / çıkış pinleri (yanında ~ işareti olan pinler PWM çıkışı olarak kullanılabilir.)
- 14 : Ground ve AREF pinleri
- 15 : ATmega328 için ICSP
- 16 : USB arayüzü için ICSP

2.1.1 Arduino Uno Teknik Özellikleri

- Mikrodenetleyici : ATmega328
- Çalışma gerilimi : +5 V DC
- Tavsiye edilen besleme gerilimi : 7 - 12 V DC
- Besleme gerilimi limitleri : 6 - 20 V
- Dijital giriş / çıkış pinleri : 14 tane (6 tanesi PWM çıkışını destekler)
- Analog giriş pinleri : 6 tane
- Giriş / çıkış pini başına düşen DC akım : 40 mA
- 3,3 V pini için akım : 50 mA
- Flash hafıza : 32 KB (0.5 KB bootloader için kullanılır)
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Saat frekansı : 16 MHz

2.1.2 Güç

Arduino Uno, bilgisayarı bir USB kablosuna bağlayarak veya harici bir güç kaynağı kullanarak çalıştırılabilir. Harici güç kaynağı bir AC-DC adaptörü, bir pil veya bir batarya olabilir. Adaptörün 2.1 mm jak ucunun merkezi pozitif olmalı ve Arduino Uno'daki güç girişine bağlı olmalıdır. Pil veya bataryanın uçları, güç konnektörünün GND ve Vin pinlerine bağlanmalıdır.

VI: Arduino Uno kartına harici bir güç kaynağı bağlandığında kullanılan voltaj girişidir.

5V: Bu pin Arduino kartındaki regülatörden 5 V çıkış sağlar. Kart DC power yakından (2 numaralı kısım) 7-12 V adaptör ile, USB yakından (1 numaralı kısım) 5 V ile ya da VIN pininden 7-12 V ile beslenebilir. 5V ve 3.3V pininden voltaj beslemesi regülatörü bertaraf eder ve karta zarar verir.

3.3V: Arduino kart üzerindeki regülatörden sağlanan 3,3V çıkışıdır. Maksimum 50 mA dir.

GND: Toprak pinidir.

IOREF: Arduino kartlar üzerindeki bu pin, mikrodenetleyicinin çalıştığı voltaj referansını sağlar. Uygun yapılandırılmış bir shield IOREF pin voltajını okuyabilir ve uygun güç kaynaklarını seçebilir ya da 3.3 V ve 5 V ile çalışmak için çıkışlarında gerilim dönüştürücülerini etkinleştirebilir.

2.1.3 Giriş ve Çıkışlar

Arduino Uno'daki 14 dijital giriş ve çıkış pininin tümü pinMode (), digitalWrite () ve digitalRead () işlevleriyle giriş veya çıkış olarak kullanılabilir. Bu pinler 5V ile çalışır, her pin maksimum 40 mA çekebilir veya iletebilir ve 20-50 KOhm'luk dahili dirençlere sahiptir. Bazı pinlerin özel işlevleri de vardır:

Serial 0 (RX) ve 1 (TX) : Bu pinler TTL seri data almak (receive - RX) ve yaymak (transmit - TX) içindir.

Harici kesmeler (2 ve 3) : Bu pinler bir kesmeyi tetiklemek için kullanılabilir.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, ve 11 : Bu pinler analogWrite () fonksiyonu ile 8-bit PWM sinyali sağlar.

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) : Bu pinler SPI kütüphanesi ile SPI haberleşmeyi sağlar.

LED 13 : Dijital pin 13 e bağlı bir leddir. Pinin değeri High olduğunda yanar, Low olduğunda söner.

Arduino Uno 'nun A0 dan A5 e kadar etiketlenmiş 6 adet analog girişi bulunmakta ve her biri 10 bitlik çözünürlükle desteklenmektedir. Varsayılan ayarlarda topraktan 5 V'a kadar ölçülebilir. Ancak, AREF pini ve analogReference() fonksiyonu kullanılarak üst limit ayarlanabilir.

TWI : A4 ya da SDA pini ve A5 ya da SCL pini Wire kütüphanesini kullanarak TWI haberleşmesini destekler.

AREF : Analog girişler için referans voltajıdır. analogReference() fonksiyonu ile kullanılır.

RESET : Mikrodenetleyiciyi resetlemek içindir. Genellikle shield üzerine reset butonu eklemek için kullanılır.

2.1.4 Haberleşme

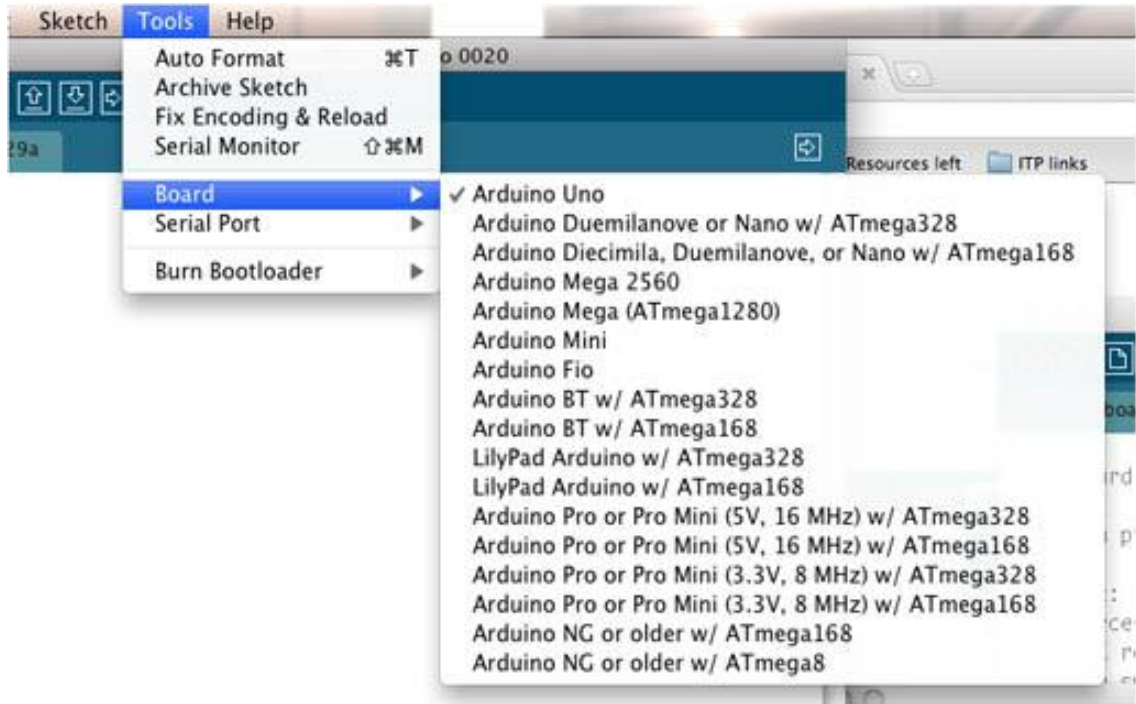
Arduino Uno bir bilgisayar ile, başka bir Arduino veya başka bir mikrodenetleyici ile iletişim kurmak için çeşitli yollar sunar. ATmega328 mikrodenetleyicisi, RX ve TX pinlerinden erişilebilen seri UART TTL (5V) haberleşmeyi destekler.

Karttaki bir ATmega16U2, USB üzerinden seri haberleşmeyi kanalize ediyor ve bilgisayardaki yazılım için sanal bir COM portu gibi görünüyor. 16U2 standart USB COM sürücülerini kullanır ve harici bir sürücü gerektirmez. Ancak, Windows'ta bir INF dosyası gereklidir. USB seri çipine ve USB bilgisayara gönderildiğinde, karttaki RX ve TX LED'leri yanıp söner.

SoftwareSerial kütüphanesi, Arduino Uno'nun dijital pinlerinden biri üzerinden seri haberleşmeyi sağlar. ATmega328 ayrıca I2C (TWI) ve SPI haberleşmelerini de destekler.

2.1.5 Programlama

Arduino Uno 'yu programlamak için Arduino programını buradan indirmeniz gerekir. Programı indirip açtıktan sonra Tools > Board menüsünden Arduino Uno 'yu seçiniz.



Şekil 2.3 Arduino Programlama Ayarları[25]

Arduino Uno üzerindeki ATmega328 e önceden bir bootloader yüklenmiştir. Bu bootloader sayesinde Arduino 'yu programlamanız için harici bir programlayıcı donanımına ihtiyacınız olmaz. Orjinal STK500 programını kullanarak haberleşir.

Ayrıca Arduino ISP kullanarak Arduino 'nun bootloader 'ını devre dışı bırakabilir ve mikrodenetleyiciyi ICSP (In Circuit Serial Programming) pini üzerinden programlayabilirsiniz.

2.1.6 USB Aşırı Akım Koruması

Arduino Uno'nun içinde bilgisayarınızın USB portunu aşırı akım ve kısa devreden koruyan sıfırlanabilir bir çoklu sigortası bulunmaktadır. Çoğu PC portlar için kendi korumasına sahip olsa da, bu sigorta ek bir koruma katmanı sağlar. USB portuna 500 mA'dan daha fazla bir yük uygulanırsa, sigorta kısa devre veya aşırı akım durumu kaybolana kadar otomatik olarak bağlantısını keser.

2.2. DC Motor

DC motor, DC elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir. Elektrik akımı motorun içindeki sargılara uygulandığında, manyetik kuvvetin ters yönde hareket eden motor içindeki daimi mıknatısların hareketiyle hareket prensibine dayanır. Bu akımın yönünün, devamlı olarak sabit mıknatısa ters manyetik alan oluşturacak şekilde değiştirilmesi gerekmektedir. Bu değişiklik fırça motorlarında, motor sargılarıyla temas eden fırçalar tarafından ve elektronik hız kontrol devreleriyle fırçasız motorlarda yapılır.

2.2.1 DC Motor Çeşitleri

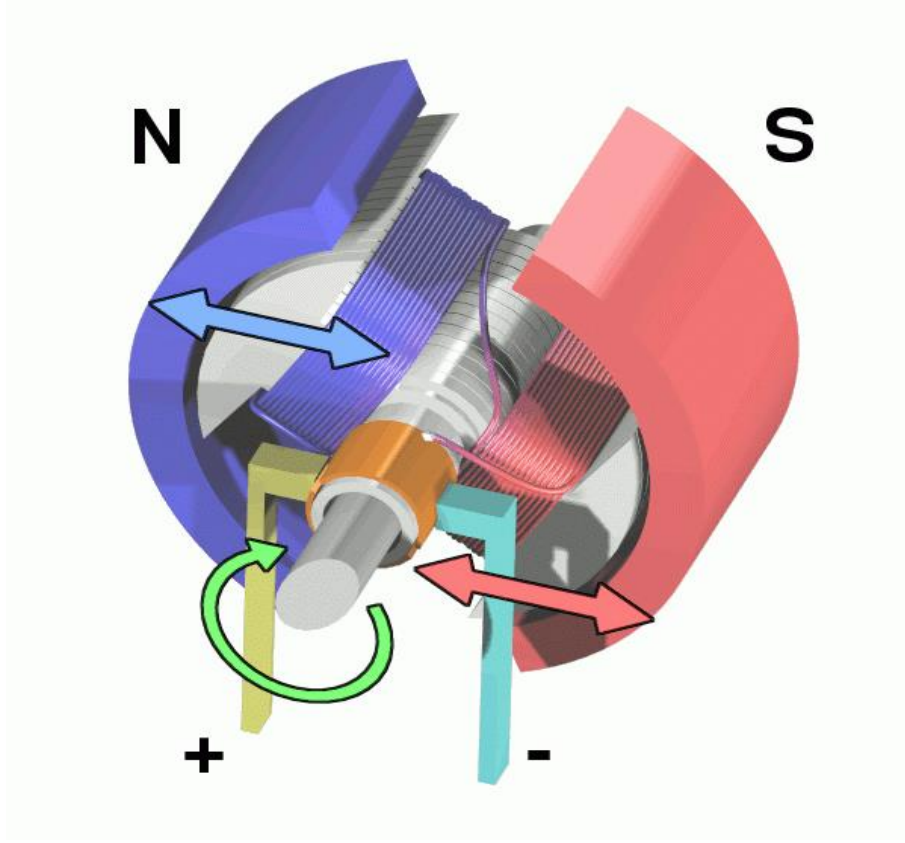
Fiziksel yapılarına ve farklı özelliklerine bağlı olarak birçok farklı tipte DC motor vardır. Projelerimizin çoğunda batarya veya DC adaptör kullanıldığından, motor tipi olarak DC motor kullanılmaktadır. AC motorlar yaygın olarak büyük ölçekli uygulamalarda kullanılır.

2.2.2 Fırçalı DC Motorlar:



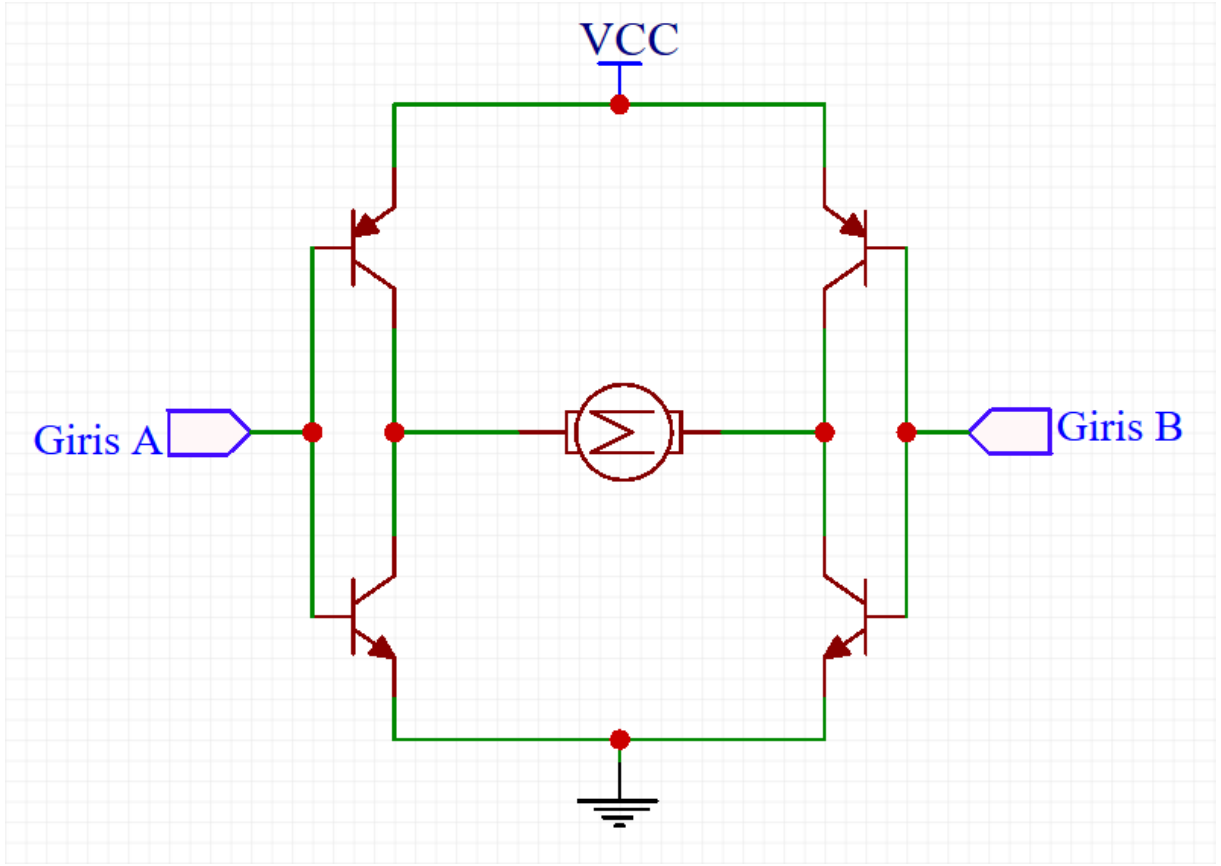
Şekil 2.4 Fırçalı Dc Motor[27]

En eski ve en çok kullanılan tip fırçalı DC motordur. El matkaplarından oyuncak arabalara kadar birçok farklı alette kullanılır. Çalışma prensibi basittir: motorun ana milinin üzerinde bobinler vardır. Motorun ana gövdesinde ise güçlü mıknatıslar bulunur. Elektrik akımı mil üzerindeki bobinlere fırça ile uygulanır. Bobinlerde uygulanan elektrik akımı tarafından üretilen manyetik alan, mıknatısların manyetik alanı ile sürekli olarak çakışacak ve bu sayede mil hareket etmiş olacaktır.



Şekil 2.5 Fırçalı Dc Motorun Manyetik Alanı Gösterimi[27]

Fırçalı DC motorların iki terminali arasındaki voltajı basit bir çalışma prensibi ile basitçe değiştirerek hız kontrolü sağlanabilir. Motorun çalışma yönünü değiştirmek istiyorsak, uygulanan voltajın yönünü değiştirmeliyiz. Bu işlem için H köprüsü devrelerine ihtiyacımız var.



Şekil.2.6 H Köprüsü[27]

H-Köprüsü devresi 4 adet transistörden oluşmaktadır.

Bu tip motorlar doğrudan şaft çıkışına sahip olabilirler, ayrıca üzerlerinde redüktör (şanzıman, dişli kutusu) bulunabilmektedir. Redüktörün amacı, genellikle daha yüksek tork elde etmek için motorun hızını azaltmaktır. Ters yönde çalışan dişli sistemleri de vardır, yani torku azaltır ve hızı artırır.

Fırçalı DC motorların en büyük avantajı, motorun hızının ve yönünün kontrolü, gerilimin büyüklüğü ve yönü değiştirilerek çok kolay bir biçimde yapılabilir. Küçük DC motorları genellikle mikrodenetleyiciler ile sürmek için L293D gibi düşük maliyetli sürücü entegreler popüler olarak kullanılır.

Fırça motorlarının ana dezavantajı, sürekli olarak mile sürtünen fırçaların yıpranmasıdır. Bu fırçalar karbon veya bakırdan yapılmıştır. Performans beklenen uygulamalarda

kullanılan motorların fırçaları kolayca değiştirilebilecek şekilde tasarlanır. Fırça motorlarının verimliliği, fırçasız motorlardan daha düşüktür.

Fırçalı motorların:

- Artıları: Basit sürücü devresi, kullanım kolaylığı ve uygun fiyat
- Eksileri: Bakım gereksinimi ve verim şeklinde özetlenebilir.

2.2.3 Redüktörlü DC Motorlar:

DC motorlar genellikle yüksek hıza sahiptir. Örneğin, yüksek hıza karşı yüksek torkun tercih edildiği uygulamalarda, motor şaftına bağlı bir dişli seti çıkış hızını 30'da 1'e düşürür, fakat ortaya çıkan torkun (tork: dönme kuvveti) teorik olarak 30 katına çıkması bu şekilde sağlanabilir.



Şekil 2.7 Redüktörlü DC Motor[27]

2.2.4 Redüktörsüz DC Motorlar:

Fanlar, dremel, yüksek hız gerektiren uzaktan kumandalı oyuncak arabalar gibi Cihazlarda, genellikle redüktörsüz DC motorlar kullanılır. Özellikle, RC arabalarda (uzaktan kumandalı arabalarda) kullanılan motorlara, gövde çapına bağlı olarak 380, 540, 550, 720 gibi kısaltmalar denir. 380 motorun gövdesinin çapı 38 mm'dir.



Şekil 2.8 fırçalı redüktörsüz DC motor[27]

2.2.5 Fırçasız DC Motorlar:



Şekil 2.9 Fırçasız DC Motor[27]

Fırçasız motorların yapısını fırçalı motorun tam tersi olarak düşünebiliriz. Burada mıknatıs kısmı motorun şaftı üzerindedir ve sargılar (yani bobinler) sabit kalır. Dikkat ederseniz, fırçasız motorlarda 3 kablo bulunur. Bu kablolar, motordaki sarımların farklı fazlarına bağlanır. Farklı fazlara farklı sıralarla elektrik akımı uygulandığında, rotordaki mıknatısların (motorun dönen kısmı) ters yönde manyetik bir alan üretilir, böylece motor döndürülür.

Fırçalı motorlardan farklı olarak, bobinlere uygulanan voltaj için aşınma parçaları içermez, böylece sürtünme verimliliği kaybını ve servis yapılacak parça sayısını azaltır.

Fırçasız DC motorlar, rotorlarının çeşidine göre inrunner veya outrunner olarak adlandırılırlar. Inrunner tipi motorlarda rotor, motorun iç kısmında bulunur. Görünüş olarak tıpkı fırçalı DC motorlara benzerler. Uzaktan kumandalı model arabalarda kullanılan fırçasız motorlar inrunner tiptedir. Outrunner tipi motorlarda ise sarımlar motorun iç kısmında yer alırken, rotor “çan” ismi verilen dış kısımdır. Model uçak ve helikopterle multikopterlerde kullanılan fırçasız motorlar bu tiptedir.



Şekil 2.10 Inrunner Tipi Fırçasız DC Motor



Şekil 2.11 Outrunner Tipi Fırçasız DC Motor[27]

Fırçasız motorlar, yüksek performanslarından dolayı RC modellerinde sıklıkla kullanılır. Aynı zamanda bilgisayarlarımızda kullanılan fanlar fırçasız bir motora ev sahipliği yapıyor. Bu motorların en büyük dezavantajı DC gerilim ile çalıştırılmamasıdır. Fırçasız motorlar çalışmak için bir sürücüye ihtiyaç duyarlar. Bu sürücü devresi ESC (Electronic speed control) olarak adlandırılır. Farklı boyutlardaki motorların çalışması için gereken akım ve voltaj değerleri değiştiğinden farklı akım ve voltaj seviyeleri elde edebilen ESC'ler mevcuttur.



Şekil 2.12 Fırçasız Motor ESC (Electronc Speed Control)[27]

Fırçasız motorların:

- Artıları: Yüksek performans, bakım kolaylığı
- Eksileri: Sürücü ile kullanma zorunluluğu, maliyet olarak özetlenebilir.

2.3 Encoder Nedir?

Encoder bağlı olduğu motor şaftının hareketine karşılık gelen bir sinyal üreten dijital bir elektrik sinyali üreten bir elektromekanik cihazdır. Aynı zamanda bağlı şaftın mevcut pozisyonlarını izleyen ve geri bildirim sağlayan bir algılama cihazıdır. Kodlayıcı, pozisyon, sayı, hız veya yönü belirlemek için kullanılabilecek bir geri bildirim sinyali gönderir. Genellikle servo motor, robot, hareketli kamera, cnc tezgahları, otomasyon, birçok kullanım alanı vardır. Doğrusal ve döner olarak ikiye ayrılır.

2.3.1 Encoder Çeşitleri Ve Çalışma Prensibi

Encoderler, sinyal üretmek için farklı teknolojiler kullanır. Manyetik, mekanik, dirençli ve optiktirler. En yaygın olanı optiktir. Optik algılama için, kodlayıcı ışık kesintisine dayanarak geri bildirim sağlar. Encoder Şaftının, Bağlantı Şekillerine göre; Delik Milli Tip (Hollow Shaft Encoder) ve Milli Tip (Shaft Encoder) iki çeşittir. Sinyal algılama da manyetik ve optik algılamalı olarak iki çeşittir. Pozisyon konum belirlemede Mutlak (Absolute Encoder) ve Artımsal (Incremental Encoder) iki çeşittir.

Mutlak encoder: encodere güç verildiği sırada dönen şafta göre dijital bit dizileri biçiminde farklı çıkış sinyalleri göndererek konumunu belirler. Enerji kesilse bile, son konumunda kalır. Ve tekrar enerjilendiğinde kaldığı konumdan işlemini sürdürür.

Artımsal encoder: Döner mil için devamlı kare sinyal üreterek bulunduğu pozisyonu bilgilendirmede ve sayma işlemlerinde kullanılır. Bu tip encoderların mutlak encoderlardan farkı enerjilendiklerinden itibaren bulunduğu yeri 0 olarak kabul eder; ve bu değerin üstüne işlem uygular. Bu tip encoderlar endüstriyel robotlar, Cnc Tezgahlarda, Antenler, Medikal cihazlar, Paketleme makinaları Deri işleme makinaları, şişeleme makinalarında vb alanlar için kullanılmaktadır.

2.3.2 Encoder Seçiminde Nelere Dikkat Etmeliyiz?

*Puls Sayısı: Encoderin her dönüşte üretilen puls sayısı öğrenilmeli

*Besleme Gerilimi: 5VDC., 5-30VDC, 11-24VDC.vb.

*Çıkış Gerilimi: besleme geriliminden farklı çıkış gerilimi veren encoderlar vardır. Bu yüzden *kullanacağımız cihaza göre çıkış gerilimi önemlidir.

*Referans Çıkışının Genliği:

*Fiziksel Özellikler Gövde Çapı / Gövde Uzunluğu:

*Malzemesi: ABS, alüminyum, çelik vb. tamamen çalışma ortam koşullarına bağlı olarak.

*Milli mi? / Delik Milli mi

*Bağlantılar(Kablolu / Soketli):

*Soket / Kablo Çıkış Yönü (Eksenel / Yandan Çıkışlı):

*Soket Tipi / Kablo Damar Sayısı ve Uzunluğu:

*Koruma Sınıfı

2.4. Arduino Dc Motor Bağlantısı

12 V 37 mm 350 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor

12 voltta 350 Rpm tur sayısına sahip bu motor 30:1 redüksiyon oranına sahiptir. Motorun arka kısmında bulunan enkoder sayesinde motorun dönme hızı ve tur sayısı arttırılarak hassas kontrol sistemlerinde kolayca kullanılabilir. Motor mil çıkışı 6mm D şafttır. Motor boşta yaklaşık 300mA akım çeker. Zorlanma torku 8 kg/cm'dir.

2.4.1 Enkoder Kullanımı:

Motor sistemlerinde kullanılan enkoderler motorun devrini veren sensörlerdir. İstenilen zaman aralığında motorun kaç tur attığını öğrenebilmek için yada haritalama sistemlerinde kullanılabilir. Bu motor üzerindeki enkoder 64 CPR'lik çözünürlüğe sahiptir. Motor dişli oranı 30:1 olduğu için motor bir tam turunu tamamladığında enkoderden toplam 1920 darbe alınır.



Şekil 2.13 Enkoder[20]

Motor Bağlantıları:

Siyah : Motor Gücü

Kırmızı : Motor Gücü

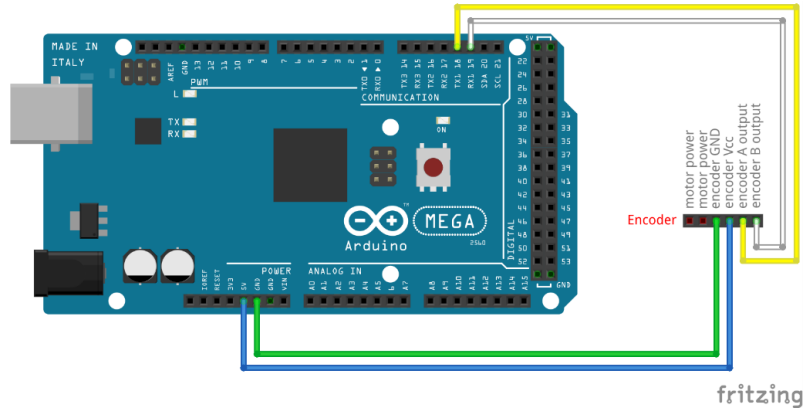
Mavi : Enkoderin Vcc(Besleme) Gerilimi (3.5V-20V)

Yeşil : Enkoderin GND(Toprak) Kablosu

Sarı : Sensörün A kanalındaki çıkışı

Beyaz : Sensörün B kanalındaki çıkışı

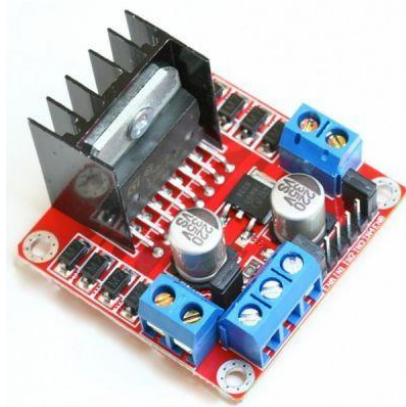
Manyetik enkoder sistemi üzerindeki hall effect sensörler 3.5V-20V arasında çalışabilir. 10mA akım çeker. A ve B çıkışları 0V'tan Vcc'ye yaklaşık 90° faz farklı kare dalgalarıdır. Geçişlerin frekansı size motorun hızını ve geçişlerin sırası yönü verir. Sensör bağlantı kabloları dışarı çekilmiş ve uçları açılmış haldedir.



Şekil 2.14 Arduino Enkoder Bağlantı Şeması[21]

2.5. DC Motor Sürücü Kartları:

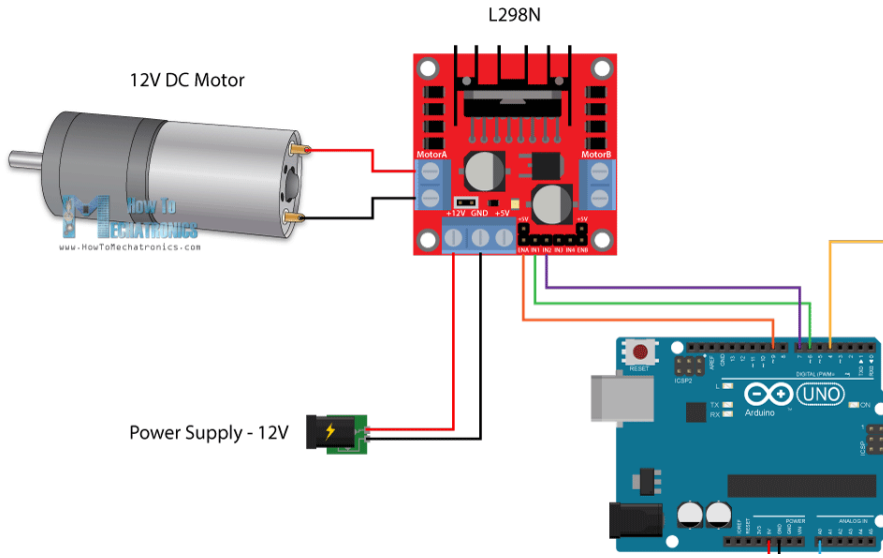
Redüktörlü ya da redüktörsüz, fırçalı DC motorları sürmek için H-köprüsü adı verilen devreler kullanılır. Bu devreyi 4 adet transistör kullanarak kendi başımıza yapabileceğimiz gibi, hazır olarak H-köprüsü devresini bulunduran entegreler ve bu entegrelerin ihtiyaç duyacağı ekstradan kapasitör, diyot vb. gibi devre elemanlarını barındıran en hızlı çözüm olan motor sürücü kartlarını tercih edebiliriz.



Şekil 2.15 DC Motor Sürücü Kartı[27]

L298N sürücü entegresine sahip bu kart, uygun fiyatlı olması sebebiyle çoğu robotik projesinde sıklıkla tercih edilmektedir.

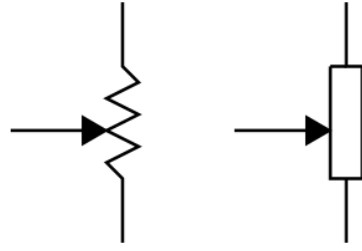
2.5.1 Arduino Motor Sürücü Bağlantısı



Şekil 2.16 Arduino Motor Sürücü Bağlantı Şeması[21]

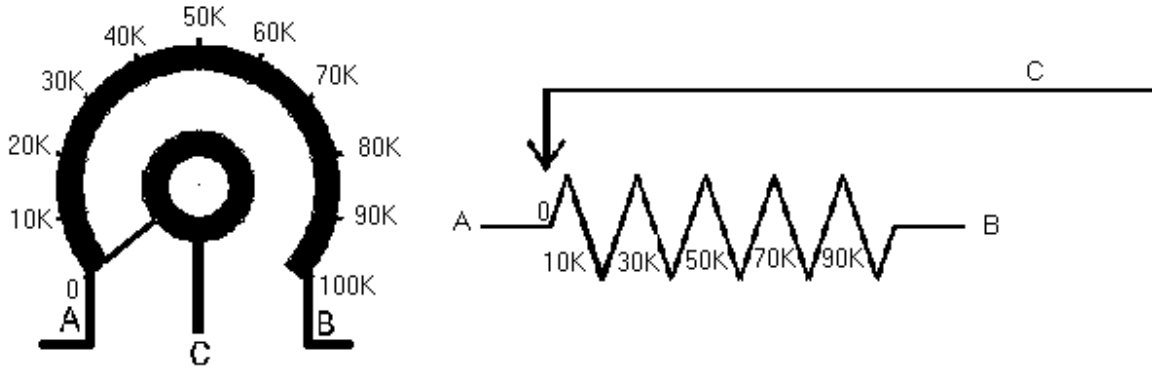
2.6 Potansiyometre

Potansiyometre, diğer adıyla reosta, direnç çeşitlerindendir. Potansiyometrenin özelliği kontrol edilebilir direnç olmasıdır. Elektronikğin temel elamanlarından biridir ve kontrol gerektiren birçok devrede bulunur. Sembolü normal bir direncin üzerinde bir ok eklenerek de gösterilir. Bunun nedeni direnç değerinin anlık kontrol edilebilmesidir.



Şekil 2.17 Potansiyometre Gösterimi[28]

Potansiyometre 3 bacaklı bir devre elemanıdır ve döndürülmesiyle yönü kontrol edilir. Aşağıdaki görselin yardımıyla anlatacak olursak C bacağı kontrolü sağlayan bacaktır. Potansiyometrenin yönü B bacağına doğru çevrildiğinde A-C arasındaki direnç artar, C-B arasındaki direnç azalır. Eğer potansiyometre A yönüne doğru çevrilirse C-B arasındaki direnç artıp A-C arasındaki direnç de azalacaktır.



Şekil 2.18 100K Potansiyometre Çalışma Prensibi[28]

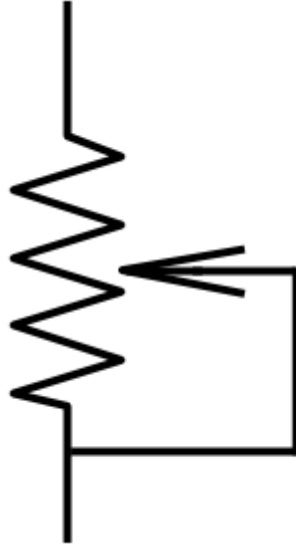
2.6.1 Potansiyometre Ne İşe Yarar?

Potansiyometrenin yapısı itibariyle bir direnç olduğunu varsayarsak elektronik devrelerde akım ve gerilim kontrolü sağlayabiliriz ($V=I.R$). Ek olarak, konum tespiti ve konum kontrolü de çevirilebilir fiziksel yapıdan yararlanılarak kullanılır. Bu şekilde pozisyon algılama sensörü olarak işlev görürler.

2.6.2 Potansiyometre Nasıl Bağlanır?

Elektronik devrelerde potansiyometrenin iki farklı bağlantı yöntemi bulunmaktadır.

Potansiyometrenin ortadaki bacağı yukarıdaki örnekte de gösterdiğimiz gibi kontrol bacağı olarak kullanılmaktadır. Bu bağlantı yöntemi ile birlikte iki ayrı noktanın kontrolü sağlanır. Diğer bağlantı yöntemi ise potansiyometrenin ortadaki bacağıyla yanındaki bacaklardan biri kısa devre yapılır. Böylece kontrol edilebilir bir direnç elde edilebilmiş olur. Bu bağlantı tercih edilirse potansiyometrenin yanına başka bir direnç seri bağlanmalıdır. Bunun asıl sebebi potansiyometrenin direnç seviyesini 0 yaptığımızda devredeki o noktadan çok yüksek akımın geçmesini engellemektir.



Şekil 2.19 Potansiyometrenin 2. Bağlantı Yöntemi[28]

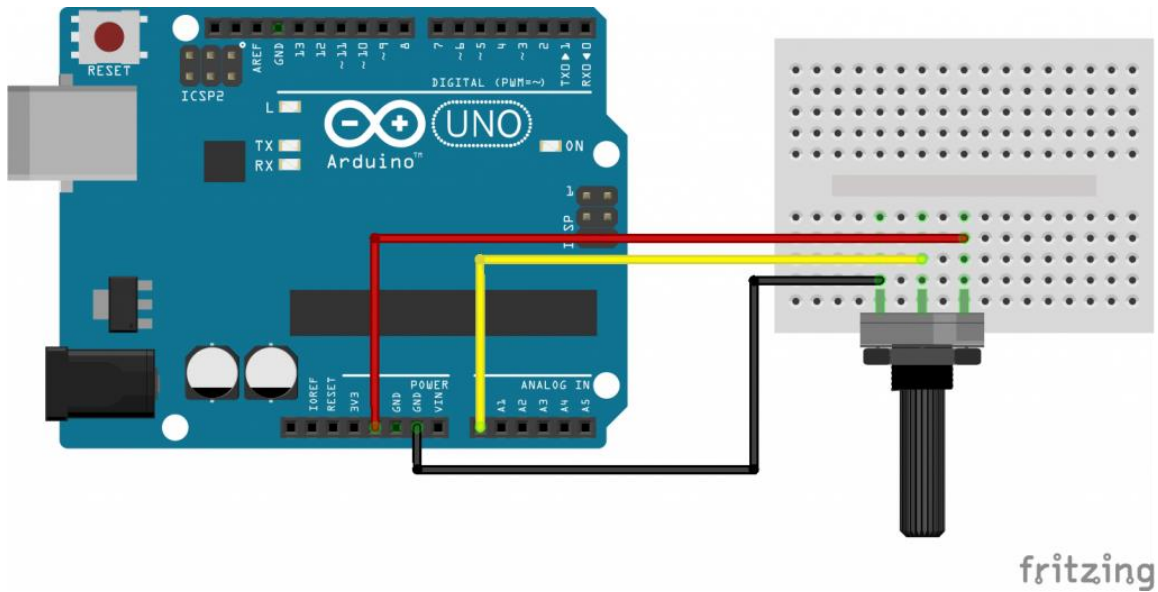
2.6.3 Arduino İle Potansiyometre Kullanımı

Potansiyometre, analog kontrol sunduğundan dolayı Arduino'da Analog INPUT olarak bağlanır. Böylelikle potansiyometreden gelen analog giriş sinyalleri ile çıkıştaki uyarıcılar kontrol edilebilir veya giriş sinyallerinin takibi yapılabilir. Aşağıdaki devre şemasında potansiyometrenin orta bacağı Data olarak kullanılmıştır. Tıpkı sensörlerdeki gibi giriş sinyalleri bu baktan kontrol edilmektedir. Soldaki bacak GND, sağdaki bacak da 5V pinine bağlanmıştır.

Böylelikle potansiyometre sağa doğru çevrildikçe Arduino'ya giden veri artacak, sola doğru çevrildikçe veri azalacaktır. Sağdaki ve soldaki bacakların yerleri değiştirilseydi bu sefer sola çevrildikçe veri artıyor, sağa çevirdikçe veri azalıyor olurdu.

Bu Arduino devresinin çıkışına bir LED, servo motor veya bir hoparlör bağladığımızı varsayarsak, LED'in parlaklığını, servo motorun yönünü ve hoparlörün sesini bağladığımız potansiyometrenin pozisyonunu değiştirerek kontrol edebileceğimizi söyleyebiliriz.

2.6.4 Potansiyometre Arduino Bağlantısı



Şekil 2.20 Arduino Potansiyometre Bağlantısı[28]

BÖLÜM 3

3.PID KONTROL

3.1 Bir Sistemi Kontrol Etmek

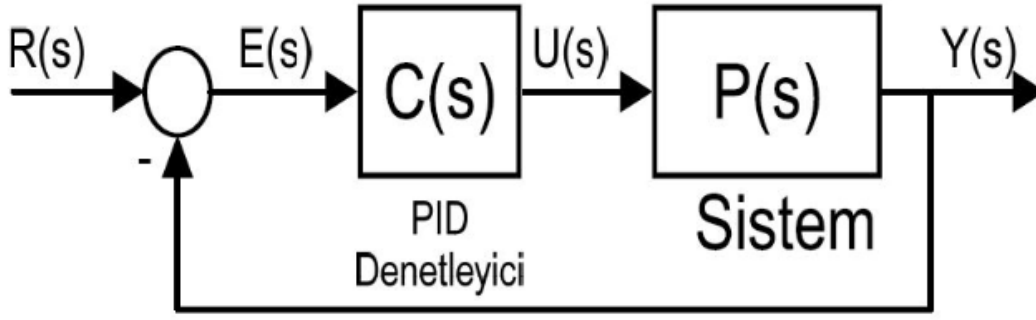
Kontrol etmek istediğimiz bir sistem var ve bu sistem bir motorun hız kontrolü olabilir, motorun pozisyon kontrolü olabilir, basınç kontrolü olabilir veya uçak yükseklik modelinin kontrolü olabilir. Kısacası otomatik kontrol sistemleri içinde bulunan tüm sistemin kontrolü olabilir.

3.2 PID Denetleyiciler

Sürekli denetim türleri, geri besleme yoluyla hata farkına göre çıkışa bir sinyal üreterek kontrolü sağlar. PID'nin açılımına bakacak olursak;

- ▶ P (Proportional) Oransal
- ▶ I (Integral) İntegral
- ▶ D (Derivative) Türevsel

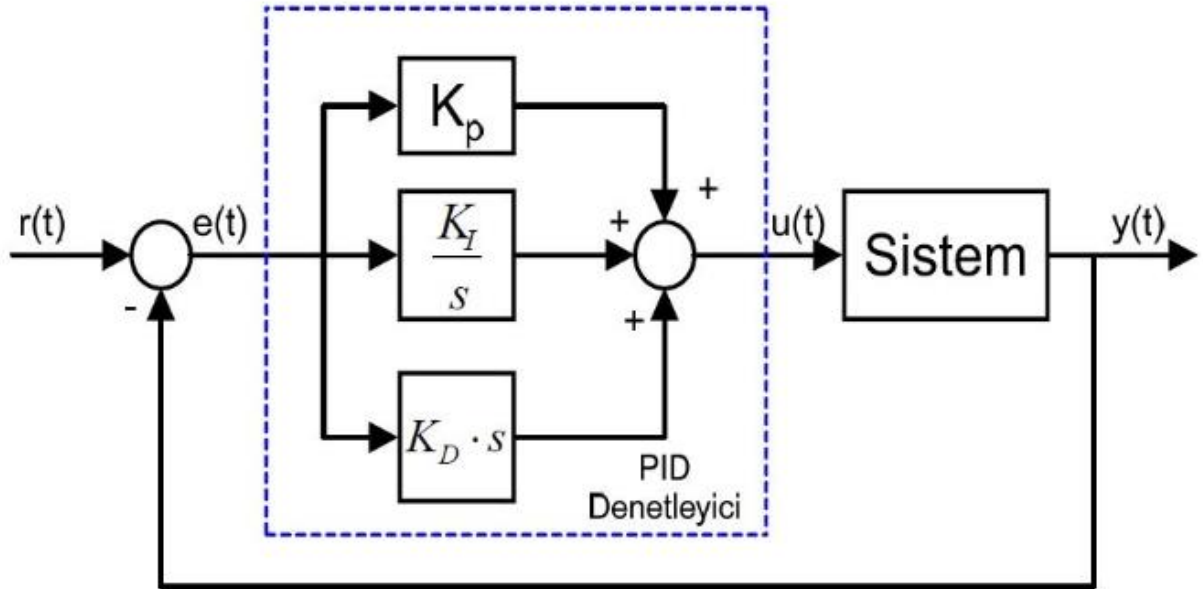
Bu sürekli denetim türleri P denetleyici, I denetleyici, D denetleyici ve bu denetimlerden birkaçının bir araya gelerek PI denetleyici, PD denetleyici ve PID denetleyici denetim organları oluşur.



Şekil 3.1 Birim Gerbeslemeli PID Denetim[24]

Bir PID denetleyici çıkıştan geri besleme (feedback) ile gelen sinyali giriş (referans) sinyaliyle karşılaştırır ve farkı nedeniyle bir hata oluşur. Bu hataya dayanarak PID denetleyici hatayı en aza indirmeye çalışarak bir etki yapar ve çıkışa gönderir. Bu yolla hata minimize edilinceye kadar çıkıştan girişe sürekli geri besleme ile hatalar belirlenir ve denetleyici etkisini çıkışa göndererek hata azaltılır.

PID denetleyiciler daha çok doğrusal sistemlere basitçe uygulanabilmektedir. Sistemin tek geri besleme döngü şeklinde olması işlemi daha da kolaylaştırıyor.



Şekil 3.2 PID Denetleyicinin Oransal ya da Türevsel Yapısı[24]

Bilindiği üzere bir fonksiyonun integralinin Laplace versiyonu fonksiyonu “1/s” ile çarpacak şekilde, türevin Laplace versiyonu fonksiyonun fonksiyonu “s” ile çarpacak şekilde yazıyoruz ve K_p, K_i, K_d kazançları ile de fonksiyonu s domeninde şekillendirecek olursak;

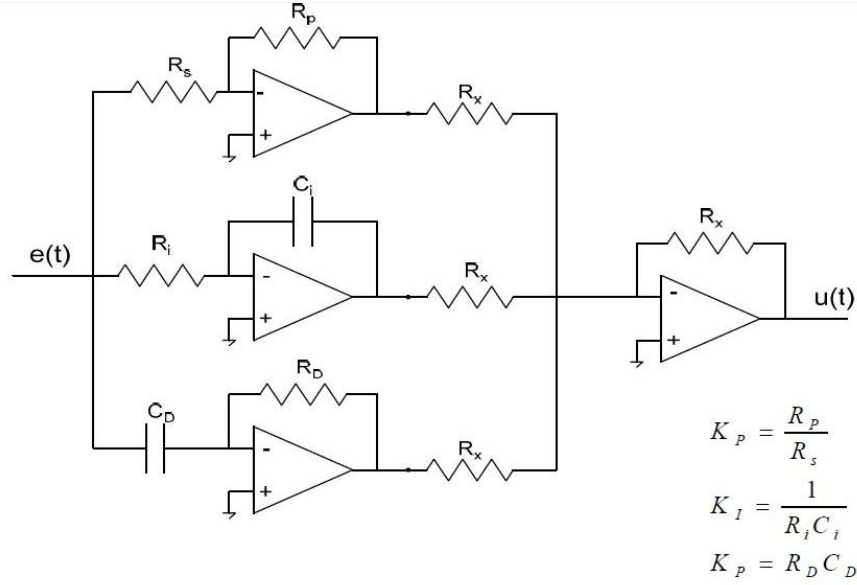
3.3 PID Kontrolörün Parametrelerinin Hesaplanması

PID kontrolörün transfer fonksiyonu şu şekilde olur:

$$U(s) = \left(K_P + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \right) E(s)$$
$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s$$

Şekil 3.3 PID Kontrolörün Transfer Fonksiyonu[24]

PID denetleyicisini OP-AMP’lar ile gerçekleştirecek olursak;



Şekil 3.4 PID Denetleyicilerin OP-AMP'lar İle Gerçekleştirilmesi[24]

3.4 PID Kontrol Çalışma Mantığı

PID denetleyicisinin tekrardan çalışmasını özetleyecek olursak; dediğimiz gibi çıkıştan geri besleme yolu ile giriş sinyaline (referans) gelen sinyal, giriş sinyali ile karşılaştırır ve farkı hatayı oluşturur. Bu hata PID denetleyicisine gönderilir ve denetleyici bu sinyali bir katsayı ile çarpıp, integralini ve türevini alacaktır. Sonrasında tekrar çıkışa gönderilir ve bu şekilde bir döngü içinde hata minimuma inene kadar işlem sürer.

Burada önemli olan K_p , K_i ve K_d kazançlarının belirlenmesidir. Sistemin uygun koşullarda kontrol edilmesi için bu katsayıların belirlenmesi gerekir. Bunu belirlemek hiç kolay değildir ve net bir cevabı yoktur. En uygun ayar için en az ve sıfır hata, sistemde minimum aşım, en kısa sürede hatayı giderme ve sistemde kararlılığı sağlama gibi koşulları yerine getirecek K_p , K_i ve K_d kazançları seçilmelidir. Yani sistemin çıkışında en küçük hatayı en az zamanda ve en az salınımda yapması gerekmektedir. K_p , K_i ve K_d kazançlarının seçilmesi için analog ve deneysel yöntemler kullanılır.

3.4.1 PID'ye örnek verecek olursak;

PID kontrolle bir aracın X noktasından Y noktasına ortalama 80km/s hızla gitmesini sağlayalım. Araç hareketsizken ilk kontrolde P “hızımız 0km/s 80km/s hızla çıkmamız lazım hata 80km/s , gazla” der. İkinci kontrolde aracın hızı 45km/s olsun P “hata 40km/s

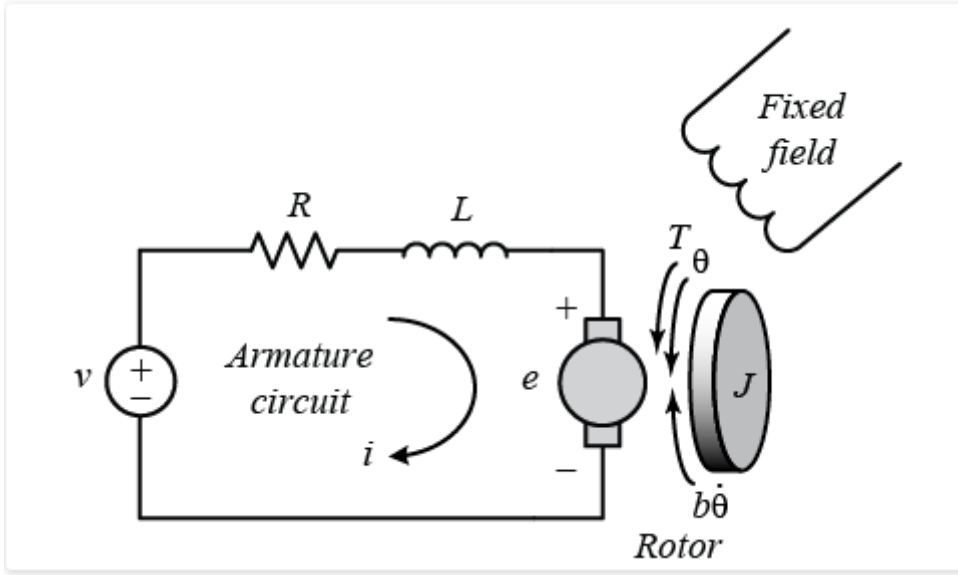
gazlamaya devam” der, D “hatayı çok hızlı kapatıyorsun böyle gazlamaya devam edersen hedef hızı geçeceksin” der ve gaz biraz kapatılır. Araç 80km/s hıza ulaşana kadar bu çekişme devam eder. D, P nin tepkisini yumuşatıcı etki yaptığı için araç 80km/s hıza ulaştığında ivme sıfırlanmış olacaktır ki, I atılır “ortalama hız 80km/s olacak 0 dan 80 a çıkana kadar zaman kaybettik, bu zamanı telafi etmemiz lazım hızlanmaya devam” der ve araç hızlanmaya devam eder. Kaybettikleri zamanı telafi ettikten sonra aracın hızını 80km/s e düşürürler ve Y noktasına ulaşırlar.

P, I ve D aynı anda bir sistemde kullanılmak zorunda değildir. Mesela aracımızın sadece 80km/s sabit hızla gitmesi istenseydi I kullanmamıza gerek kalmazdı.

BÖLÜM 4

4. DC MOTORUN PID KONTROLÜ

Referans girişi bulunmaktadır. Bulunmakta olan karşılaştırma elemanı sistemden gelen geri besleme ile referansın farkını alarak hata sinyalini üretmektedir. Üretilen hata sinyali PID kontrol algoritmasına girmektedir ve PID kontrol algoritmasının çıkışından motor sürücüsüne PID çıkış yani kontrol sinyali uygulanmaktadır. Bu uygulanan kontrol sinyaline göre motor sürücümüz 0-12 V arası gerilimi DC Motora uygulamaktadır. DC motor kendisine uygulanan gerilim değerine göre 0-8500 rpm arasında bir çıkış değeri (dönüş) üretmektedir. Üretilen dönüş , DC motorun arkasında bulunan bir optik encoder tarafından ölçülmektedir ve Arduino Uno nun sayısal girişine uygulanmaktadır ve buradan elde edilen hız bilgisi de geri besleme olarak girişteki karşılaştırma elemanına gitmektedir.



Şekil 4.1 : DC Motorun Elektriksel ve Mekanik Yapısı [19]

Sembol	İsim	Birim
V	Giriş Gerilimi	Volt(V)
R	Endüvi Direnci	Ohm(Ω)
L	Nominal Endüktans	Henry(H)
J	Toplam Atalet Momenti(Yük+Motor)	$kg \cdot m^2/s^2$
V_{emk}	Ters emk Gerilimi	Volt(V)
b	Sönümlleme Sabiti	Nms
τ	Motor torku	Nm
θ	Motor Şaft Açısı	Radyan(rad)
K_t	Tork sabiti	Nm/A
K_E	Motor Gerilim sabiti	V/rad/s

Şekil 4.2 : Model Parametrelerinin Tanımları [19]

DC motor sisteminde oluşacak denklemlerin ilki motor torku (T) armatür akımı ilişkisidir. Bu parametreler birbirleriyle doğru orantılıdır. Bu ilişki aşağıdaki gibi formulize edilir .

$$T = K_t i$$

Armatür döndükçe armature bağlı şaftın açısal hızıyla doğru orantılı olarak bir ters emk gerilimi oluşur . Ters emk geriliminin formülü aşağıdaki gibidir.

$$e = K_e \dot{\theta}$$

SI birim sisteminde , Kt tork sabiti ile Ke motor gerilim sabiti eşittir. (Kt = Ke = K) ve son olarak da Newton ve Kirchoff kanunları kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilir .

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki$$
$$L\frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta}$$

5.TASARIM

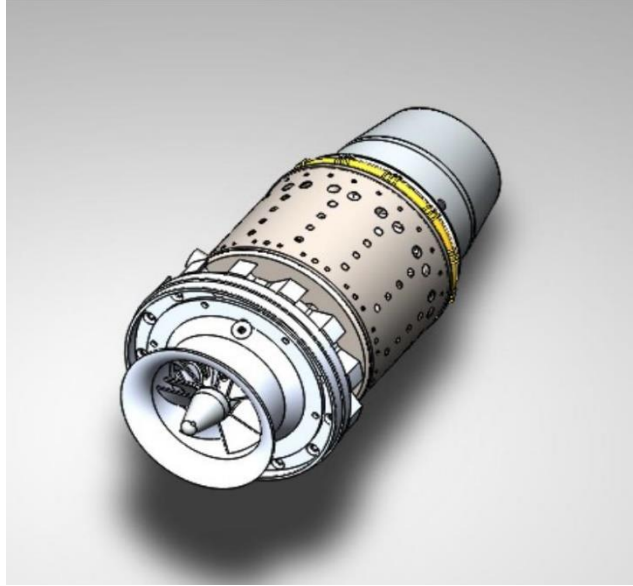
İlk olarak projemizi gerçekleştirmemiz için Solidworks’de çizimi bulunan Turbojet motorumuzun 3d printer ile çıktısını almayı amaçladık. Bunun için birçok yer ile iletişime geçtik. Uygun fiyatta ve en iyisi olacak yeri bulup siparişi verdik.



Şekil 5.1 – 5.2 Turbojet Motoru Bileşenlerinin 3d Pinter Ile Çıktıları

3d printerın uc kalınlığının farklı olması sebebiyle parçalarımız tam ölçülerle elimize ulaşmadı. Bunun için her parçayı tek tek uygun yerlere geçmesi için eğeledik ve montaj kısmını gerçekleştirdik. Parçaların montajı sırasında çeşitli sorunlar oluştu ama hep beraber bir şekilde sorunları gidermeyi başardık.

Turbojet motorumuzun Solidworks hali ve 3d printer ile montajlanmış hali;

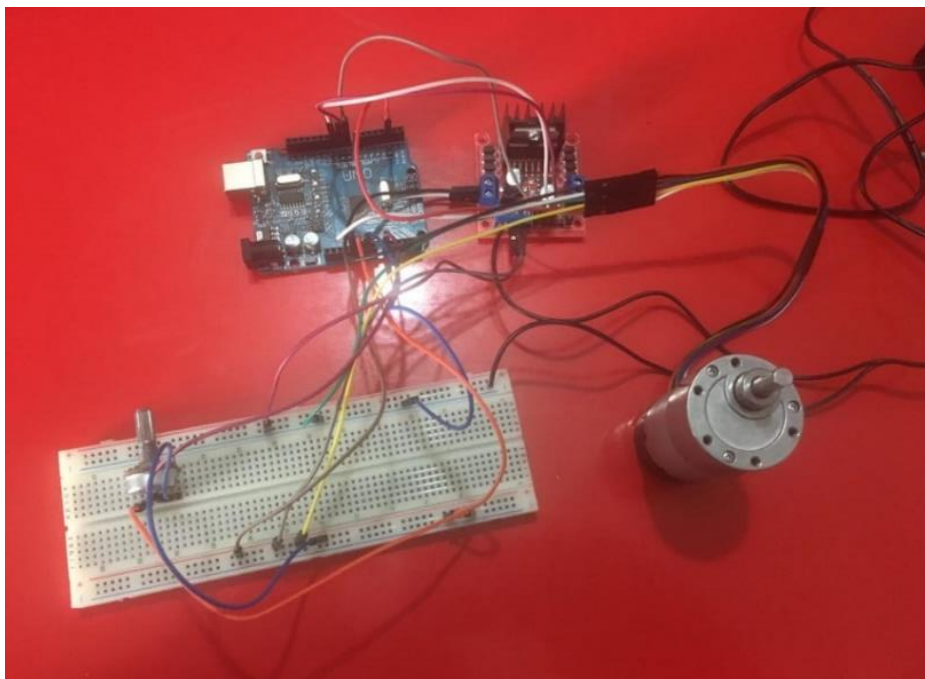
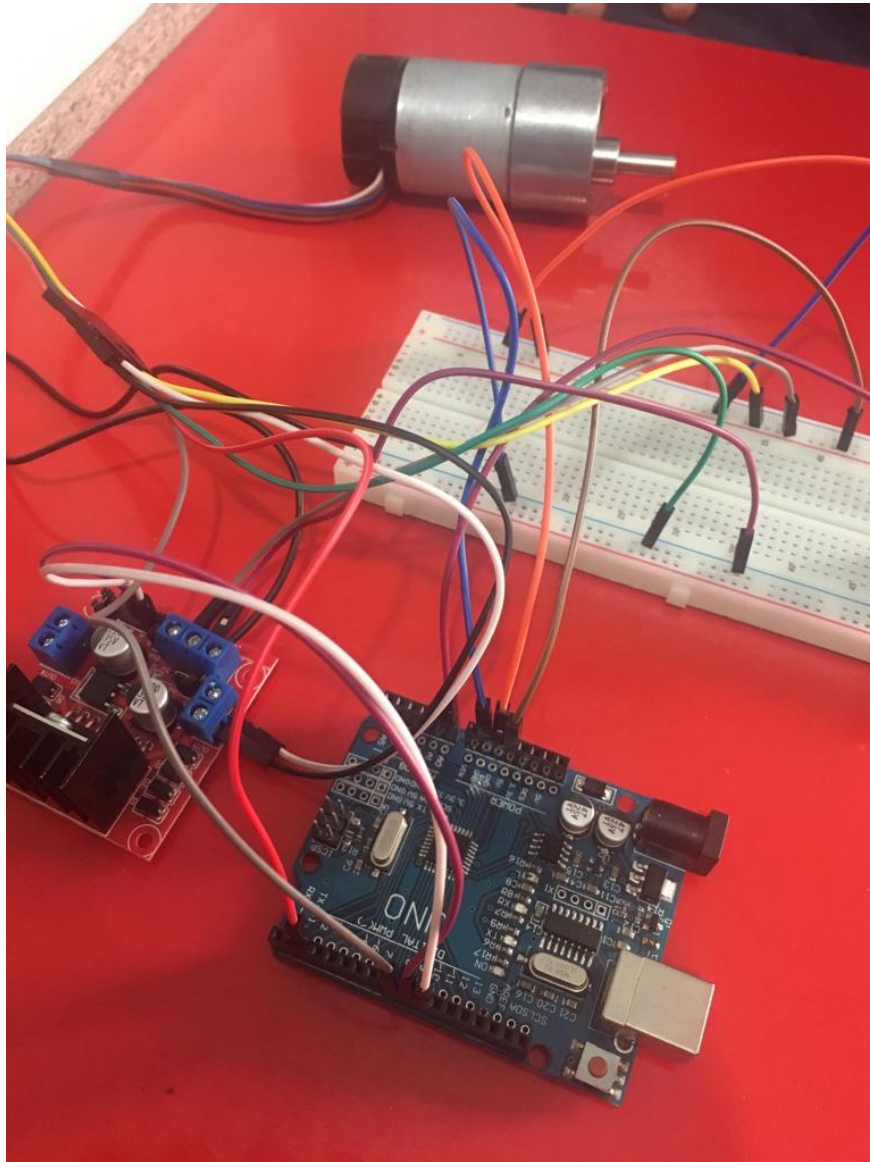


Şekil 5.3 Turbojet Motoru Bileşenlerinin Solidwoks'te Montajlanmış Son Hali



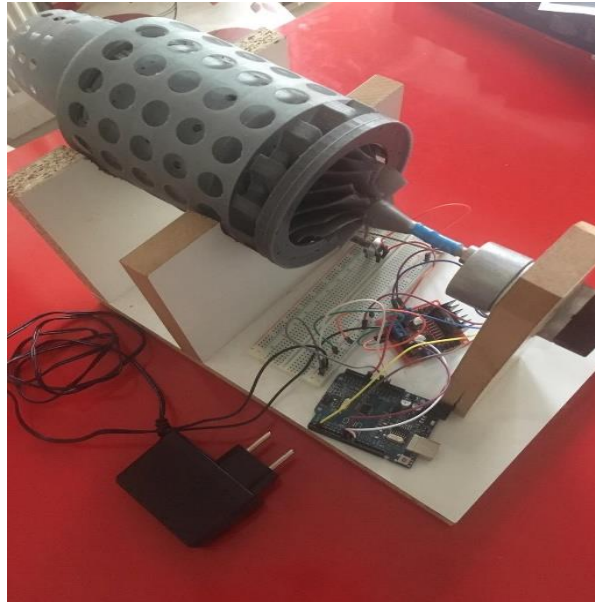
Şekil 5.4-5.5 Turbojet Motoru Bileşenlerinin 3D Çıktılarının Montajlanmış Son Hali

Projemizin montajını tamamladıktan sonra fanı çalıştıracak sistemi oluşturmaya başladık. Sistemimizde Enkoderli dc motor, Arduino uno, Potansiyometre, L298N Motor sürücüsü, Board ve jumperlar kullandık. Sistemin bağlantı şemalarını internetten belirli kaynaklardan öğrendik ve bu sayede bağlantıları gerçekleştirdik. Bağlantı şemaları ve bağlantıların ne işe yaradığı kullanılan malzemeler bölümünde detaylı anlatılmaktadır.



Sistemimizi de tamamladıktan sonra sistemimizi ve turbojet motorumuzu bir düzeneğe
Şekil 5.7 : Enkoderli DC Motor ve L298N Motor Sürücü Devresi ve Potansiyometrenin Arduino İle Bağlantısı

döktük ve üzerine oturtmayı amaçladık. Bunun için kafamızda tasarladığımız düzeneği teknik resime marangoz aracılığıyla bu düzeneği hazırlattık. Sistemimizi ve turbojet motorumuzu düzeneğe oturtup küçük bir parça aracılığıyla enkoderli dc motorumuzu turbojet motorumuza monteledik. Bu şekilde projemiz hazır hale gelmiş oldu.



Şekil 5.8 Projenin Son Hali

BÖLÜM 6

6. PROJEMİZDE KULLANDIĞIMIZ ARDUINO KODLARI

```
#include <PinChangeInt.h>

#include <PID_v1.h>

#define encodPinA1    2

#define encodPinB1    8

#define M1            9

#define M2            10
```

```

double kp = 5 , ki = 1 , kd = 0.01 ,input = 0, output = 0, setpoint = 0;

long temp;

volatile long encoderPos = 0;

PID myPID(&input, &output, &setpoint, kp, ki, kd, DIRECT);

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    pinMode(encodPinA1, INPUT_PULLUP);          /
    pinMode(encodPinB1, INPUT_PULLUP);

    attachInterrupt(0, encoder, FALLING);

    TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 1;

    myPID.SetMode(AUTOMATIC);

    myPID.SetSampleTime(1);

    myPID.SetOutputLimits(-255, 255);
}

void loop() {
    temp += analogRead(A0);

    if (temp < 0) {
        encoderPos = 0;

        temp = 0;
    }

    setpoint = temp /1024;

    input = encoderPos ;

    // Serial.println(encoderPos);

    myPID.Compute();

    pwmOut(output);
}

void pwmOut(int out) {
    if (out > 0) {
        analogWrite(M1, out);
    }
}

```



```

    analogWrite(M2, 0);
}
else {
    analogWrite(M1, 0);
    analogWrite(M2, abs(out));          // drive motor CCW
}
}

void encoder() {
if (PINB & 0b00000001)  encoderPos++;
else                    encoderPos--;
}

```

BÖLÜM 7

7. GENEL SONUÇLAR

Lisans tez çalışmamızda, turbojet motoru radyal fanının pıd kontrolü projemizin turbojet motor ve çalışma prensibinden dc motorun pıd ile kontrolüne, kullanılan malzemeler ve dikkat edilmesi gerekenler aşamalar halinde bitirme tezinde açıklanmaya çalışılmıştır. Turbojet motoru radyal fanının pıd kontrolü projemizi tasarlarken daha önceden yapılmış olan birçok projeyi inceleyip göz önünde bulundurarak tasarlanması sağlanmıştır.

Projemizde motorun hız kontrolü pıd denetleyici ile arduino üzerinden gerçekleştirilmiştir. Pıd denetleyicinin K_p , K_i , K_d katsayıları değiştirilerek katsayıların sistem dinamiği üzerinde etkisi görülmüştür. Katsayılar değıştikçe de sistemin yerleşme zamanının değıştiğı ve çeşitli dalgalanmaların oluştuğı gözlemlenmiştir.

Projeyi yaparken en çok zorlandığımız konulardan biri 3d boyutlu parçaları birleştirirken birbiri içerisinde dönmemesiydi. Sorun oluşturan parçaları eğeleme işlemi ile sorun giderilmeye çalışılmıştır. Bir diğer karşılaştığımız sorun ise dc motorun pıd ile kontrolünde ilk başta potansiyometre ile devir ayarının yapılamamasıydı. Bu sorunumuzu ise giderirken kodlarla uğraşıp gerekli düzenlemeler yapılarak sorun giderilmiştir.

8. KAYNAKÇA

[1] **AILER, P., SÁNTA I., SZEDERKÉNYI G., ve HANGOS K., (2001)**

Nonlinear Model-Building Of A Low-Power Gas Turbine, department of Aircraft and ships, Budapest University of Technology and Economics, Budapeşte, Macaristan

[2] **Maccallum, Gawthrop P., (1992)** Improving Dynamic Response of a Single-Spool Gas Turbine Engine Using a Nonlinear Controller

[3] <https://www.hezarfendergi.com/2014/10/19/turbojet-motorlarin-ozellikleri-nelerdir/>

[4] **MATTINGLY, D., J.,** “Elements of Gas Turbine Propulsion”, McGraw-Hill, International Editions, Singapore, 1996.

[5] **OATES, C., G.,** ”Aerothermodynamics of Gas Turbine and Rocket Propulsion”, Fourth Printing, AIAA Education Series, ABD., 1998.

[6] **TURAN, Ö.,** “ Gaz Türbinli Motorlarda Performans Analiz ve Değerlendirme Programları”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2000.

[7] **Japikse, David, (1996)** Centrifugal Compressor Design and Performance. Concepts ETI

[8] **Greitzer, E. M. (1976, april 1).** "Surge and Rotating Stall in Axial Flow Compressors—Part I: Theoretical Compression System Model". Eng. Gas Turbines Power

[9] **Rolls-Royce plc (1996).** The Jet Engine. Rolls Royce Technical Publications; 5th ed. Edition

[10] **Hulle, G. V. (2013).** SolidWorks Turbine Blisk (Bladed Disk). grabcad.com: <http://grabcad.com/library/turbine-blisk-bladed-disk> adresinden alındı

[11] **Laughlin, R. (2007).** Department of Physics. large.stanford.edu: <http://large.stanford.edu/courses/2007/ph210/glownia1/> adresinden alındı

[12] **Sonntag R. E.,(2007),** Introduction to Engineering Thermodynamics, Claus Borrgnakke

[13] **NASA.** (tarih yok). airplane. www.grc.nasa.gov:

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/nozzle.html> adresinden alındı

[14] **Rolls-Royce plc**, (2005)- The Jet Engine - Ed. 1996 & 2005

[15] **IIT**. (2014). fluid mechanics. [www.nptel.ac.in: http://www.nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/FLUID-MECHANICS/lecture-40/40_4_nozzle.htm](http://www.nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/FLUID-MECHANICS/lecture-40/40_4_nozzle.htm) adresinden alındı

[16] **Internet** www.havacilikdunyasi.net

[17] **Internet Robotiksisistem.com** <https://maker.robotistan.com/dc-motor-cesitleri-nelerdir/> <https://www.elektrikde.com/encoder-nedir-kullanim-alanlari/>

[18] <http://erhandilaver.blogspot.com/2014/12/turbojet.html>

[19] <https://mekatronikbilim.wordpress.com/2014/05/17/dc-motor-modelleme-pid-kontrolu-ve-simulasyonu/>

[20] https://www.robotistan.com/12v-37mm-350-rpm-enkoderli-301-reduktorlu-dc-motor?lang=tr&h=3e5e716c&gclid=Cj0KCQjwl6LoBRDqARIsABllMSY3z3pgioddfJOM0Dai2FHZ_n4BCe3qIusRuG894XRgyK-b6TDZYxUaAtbwEALw_wcB

[21] <https://hackaday.io/project/11382-dc-motor-speed-control-with-pid>

[22] <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-1298n-pwm-h-bridge/>

[23] <https://gocmenteknik.com/urun-kategori/anahtarlama/potansiyometre-anahtarlama>

[24] <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/pid-denetleyiciler/11787#ad-image-0>

[25] <http://robotiksisistem.com/>

[27] <https://maker.robotistan.com/dc-motor-cesitleri-nelerdir/>

[28] <https://maker.robotistan.com/potansiyometre/>

ÖZGEÇMİŞ 1



Eren Türkoğlu 1995’de İstanbul’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Halil Kaya Gedik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Metal Teknolojisi bölümünden mezun olduktan sonra 2014 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : Aydınli Mahallesi, Özçınar Sokak, Toki 2.Etap 2.Kısım B1 12 Daire:13

E-posta : eren.trkoglu@gmail.com

Tel : 538 732 82 49

ÖZGEÇMİŞ 2



Hilal Subaşı 1997 yılında Şişli' de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Gülizar Zeki Obdan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2015 senesinde Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümüne başladı ve halen eğitimini devam ettirmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : Güllübağlar mah. Tandoğan cad. No: 7 Daire:11 Pendik/ İstanbul

E-posta: hilalsubasii.7@gmail.com

Tel : 538 562 47 78

ÖZGEÇMİŞ 3



Sefer elik bursa da doğdu. İlköğrenimini doktor Necla Yazıcıoğlu ilköğretim okulu Bursa/ Osmangazi de tamamladı, tophane Anadolu teknik ve meslek Lisesinden mezun olduktan sonra 2014 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakóltesi, Mekatronik Bölümü'ne girdi. Halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : irişhane mahallesi kuşçu ıkmazı no: 6 kat: 3 Osmangazi \ Bursa

E-posta: sseeffeerr_123456@[hotmail.com](mailto:sseeffeerr_123456@hotmail.com)

Tel : 05443622384

ÖZGEÇMİŞ 4



Kerim YAZICI 1995’de Kastamonu’da doğdu. İlköğretimini İstanbul’da , ortaöğretimini Erzurum’da tamamladı. Kırklareli Babaeski Atatürk Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2013 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü’ne girdi. Halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir.

İletişim Bilgileri :

Adres: 100. Yıl mahallesi 1001 no lu cadde Fırat Yapı No:16/4

Merkez/KARABÜK

E-posta: kerimyzci@gmail.com

Tel : +90 545 298 12 47

ÖZGEÇMİŞ 5



Özge ERDOĞAN Kayseri de doğdu. İlköğrenimini Kayseri de, ortaöğrenimi Samsun da tamamladı. Samsun Türk Telekom Lisesinden mezun olduktan sonra 2015 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Bölümü'ne girdi. Halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : Saitbey Mahallesi 100. Yıl Bulvarı No: 94 İlkadım \ SAMSUN

E-posta: ozge_erdogan_38@hotmail.com

Tel : 531 010 78 91



TURBOJET MOTORU RADYAL FANININ PID KONTROLÜ

HAZIRLAYANLAR:

EREN TÜRKÖĞLÜ HİLAL SUBAŞI KERİM YAZICI SEFER ÇELİK ÖZGE ERDOĞAN

PROJE DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ CİHAN MIZRAK

Özet ve Giriş

PID NEDİR?

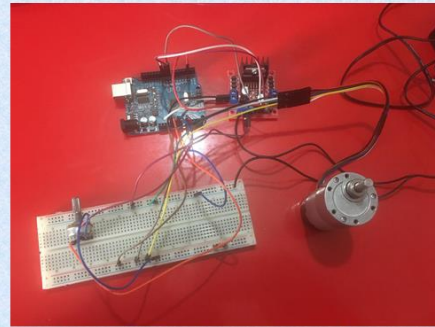
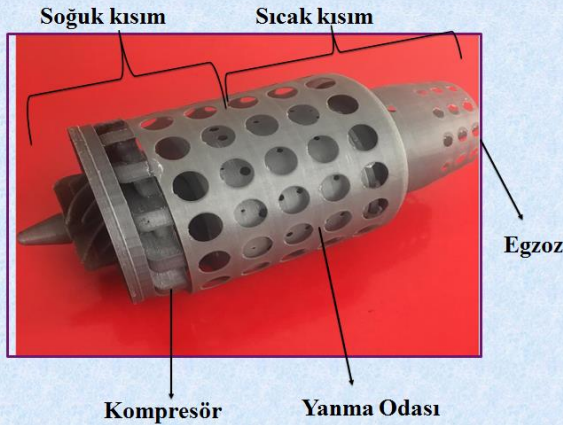
PID kontrolör diğer kontrol yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilirliği, basit yapısı ve kolay anlaşılabilirliği sayesinde endüstride geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kolaylıkların yanında, (proportional-integral-derivative) kontrol sistemindeki hatayı; hatanın miktarı, hatadaki değişim hızı ve yapılan toplam hatayı hesaplayarak giderme yöntemidir.

PID ÇALIŞMA MANTIĞI

Çıkıştan geri besleme yoluyla giriş sinyaline (referans) gelen sinyal, giriş sinyali ile karşılaştırır ve farkı hatayı oluşturur. Bu hata PID denetleyicisine gönderilir ve denetleyici bu sinyali bir katsayı ile çarpıp, türevini ve integralini alacaktır. Sonrasında ise tekrar çıkışa gönderilir. Bu şekilde bir döngü içinde hata minimuma inene kadar işlem devam eder.

DC Motorun PID Kontrolü

İlk olarak referans noktası alınır ve karşılaştırma elemanı bulunmaktadır. Karşılaştırma elemanı geri beslemeyle referansın farkını alarak hata sinyalini üretir. Üretilen hata sinyali PID kontrol algoritmasına girer ve PID kontrol algoritmasının çıkışından motor sürücüsüne PID çıkışı yani kontrol sinyali uygulanır. Bu uygulanan kontrol sinyaline göre motor sürücüsü 0V-12V arası gerilimi motora uygular. Motor kendisine uygulana gerilime göre 0-500 rpm arasında bir dönüş üretir. Üretilen dönüş motorun arkasında bulunan optik encoder tarafından ölçülür. Bu da bizim arduino sayısal girişine uygulanır. Bundan elde edilen hız bilgisi geri besleme olarak girişimizdeki karşılaştırma elemanına gider.



Sonuç

Bu çalışmada dc motorun hız kontrolü PID denetleyici ile arduino üzerinden gerçekleştirilmiştir. PID denetleyicinin K_p , K_i , K_d katsayıları değiştirilerek katsayıların sistem dinamiği üzerinde etkisi görülmüştür. Katsayılar değiştiğinde sistemin yerleşme zamanının değiştiği ve çeşitli dalgalanmaların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kaynakça

1. <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/15496/2/10064512>
1. <http://web.deu.edu.tr/fmd/s54/s54-m22.pdf>
2. http://www.emo.org.tr/ekler/aea8861d46350ec_ek.pdf

