

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN ELEKTRİK MOTOR
STATİK TESTLERİ YAPAN SİSTEM TASARIMI, İMALATI VE
UYGULAMASI

ÇAĞATAY CAN BALCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN
ELEKTRİK MOTOR STATİK TESTLERİ
YAPAN SİSTEM TASARIMI, İMALATI VE
UYGULAMASI

ÇAĞATAY CAN BALCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DESIGN, MANUFACTURING AND
APPLICATION OF ELECTRIC MOTOR
STATIC TEST SYTEM FOR UNMANNED
AIR VEHICLES**

ÇAĞATAY CAN BALCI
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. ILYAS KANDEMİR

GEBZE

2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve 2019/26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Çağatay Can BALCI'nın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr. İlyas KANDEMİR



ÜYE

: Prof.Dr.M.Sabri GÖK



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Salih Özen ÜNVERDİ



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

İnsansız hava araçlarının kullanımı, beraberinde getirdiği avantajlardan ötürü son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Bu araçların motor tipleri uygulama alanına göre şekillenerek tasarım esnasında farklı tiplerde motor seçilir. Motor seçimi, manevra kabiliyetini ve aracın havada kalma süresini (tükettiği güç ile orantılı olduğu için) belirlemekte kullanıldığı için büyük öneme sahiptir. Bu çalışma ile tasarlanmış olan test cihazı kullanılarak motorun; farklı pervane çaplarını, pervane hatvelerini ve motor sürücü (ESC) devrelerini kıyaslama imkânı sağlamaktadır. Bu kıyaslama; farklı tiplerdeki motorun ürettiği itki kuvvetlerini, tork değerlerini, çalışma esnasında çektiği akımı, ulaştığı devri grafik olarak göstermektedir. Bu çalışma ile elde edilecek verilerin, İHA’larda kullanılmakta olan 0-60A aralığındaki fırçasız DC motor seçimi esnasında kullanılabilecek kaynak olması ön görülmektedir. Özel imalat test sistemlerinden farklı olarak bilgisayar kontrollü, İHA’larda kullanılmakta olan redüktörsüz motorların büyük çoğunluğuna uyumlu universal motor bağlanma flanşı bulunan bir test sistemi tasarlanmıştır. Sistemin bağlantı parçaları ölçüm hassasiyetini artırabilmek adına 3D yazıcı gibi pratik imalat yöntemlerinin aksine geleneksel talaşlı imalat ile ± 0.01 tolerans aralığında imal edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Fırçasız DC Motor Statik Testi, İtki Testi, Tork Testi.

SUMMARY

The use of unmanned aerial vehicles has become widespread in recent years due to the advantages it brings. The engine types of these vehicles are shaped according to the field of application and different types of engines are selected during design. The choice of engine is of great importance as it is used to determine maneuverability and the length of time the vehicle stays in the air (as it is proportional to the power it consumes). Using this test device which is designed with this study; It allows to compare different propeller diameters, propeller pitches and motor drive (ESC) circuits. This comparison; different types of engine produced thrust forces, torque values, the current drawn during operation, reached the speed shows. It is foreseen that the data to be obtained with this study is the source which can be used during the selection of brushless DC motor in the range of 0-60A used in UAVs. Unlike special manufacturing test systems, a computer-controlled test system with universal motor mounting flange is designed for the majority of gearless motors used in UAVs. In order to increase the measurement accuracy, the fittings of the system are manufactured within ± 0.01 tolerance range with conventional machining, as opposed to the practical manufacturing methods such as 3D printer.

Key Words: Unmanned Air Vehicles(UAV), Static Test of Brussless DC Motors, Thrust Test, Torque Test.

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca ilgisini eksik etmeyen değerli danışman hocam Doç.Dr. İlyas KANDEMİR'e,

Test cihazının talaşlı imalatını gerçekleştiren İsoTek CNC firmasına ve Gebze Teknik Üniversitesi Uçuş Sistemleri Laboratuvarı'na,

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme,

Göstermiş olduğu ilgiden ve desteklerinden dolayı arkadaşım Sinem TOPKÜL'e, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEST SİSTEMİNİN TASARIMI	5
2.1. Mekanik Kısımın Tasarımı ve İmalatı	5
2.1.1. Motor Bağlantı Flanşı	6
2.1.2. İtke Ölçüm Sensörü	8
2.1.3. Tork Ölçüm Sensörü	8
2.1.4. Bağlantı Flanşları	9
2.1.5. Alt Bağlantı Tablası	10
2.1.6. Montaj Aşaması	10
2.2. Elektronik Sistemin Tasarımı ve İmalatı	12
2.2.1. Devre Elemanlarının Bağlantı Diyagramı	12
2.2.2. Arduino Promini	13
2.2.3. Redüktörsüz DC Motor	15
2.2.4. Yük Hücresi	16
2.2.5. HX711 Modülü	16
2.2.6. Voltaj Ölçer	17
2.2.7. Akım Ölçer	18
2.2.8. Röle Modülü	18
2.2.9. ESC(Elektronik Hız Kontrolörü)	19
2.2.10. Batarya	20
2.2.11. USB Uart Dönüştürücü	21

2.3. Yazılım	21
2.3.1. Arayüzün Tasarlanması	21
2.3.1.1. Yeni Test Oluşturma	22
2.3.1.2. Veri İzleme	23
2.3.1.3. Sonuçlar	23
2.3.1.4. Arşiv	24
2.3.1.5. Arşivden Karşılaştırma	24
2.3.1.6. Yeni Motor Tipi Ekleme	25
2.3.1.7. Yeni ESC Tipi ekleme	26
2.3.2. Arduino Programı	26
3. SONUÇLAR	34
4. ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kisaltmalar

İHA	:	İnsansız Hava Aracı
DC	:	Direct Current (Doğru Akım)
H	:	Hall Etkisi Sensörü
CAD	:	Computer Aided Design (Bilgisayar Yardımlı Tasarım)
CNC	:	Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
ESC	:	Elektronik Speed Controller (Elektronik Hız Kontrolcüsü)
gr	:	Gram
MHz	:	MegaHertz
V	:	Volt
A	:	Amper
PWM	:	Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
SRAM	:	Static Random Acces Memory (Değişken Rastgele Erişimli Bellek)
EEPROM	:	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory

ŞEKİLLER DİZİNİ

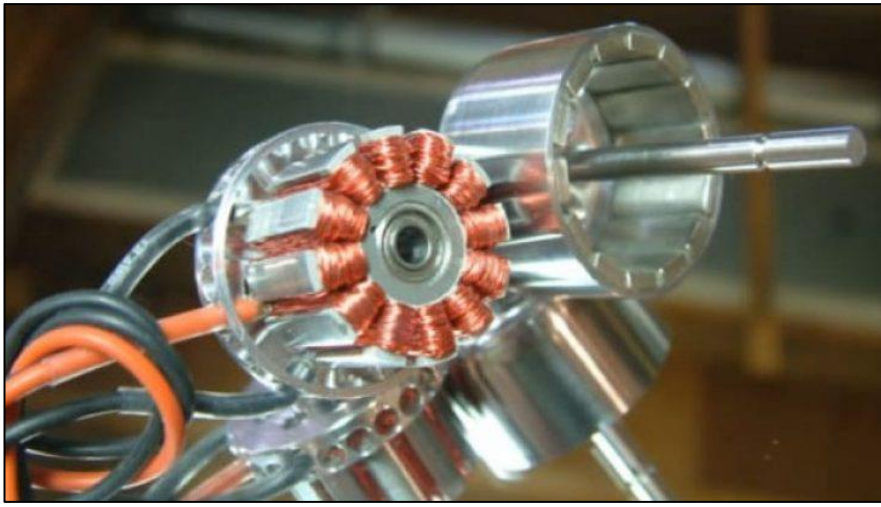
<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>	
1.1:	Fırçasız DC Motor iç Yapısı	1
1.2:	Sarımlı Stator ve sabit mıknatıslı rotor.	2
1.3:	Redüktörlü ve Redüktörsüz Motorun içyapıları.	3
1.4:	Redüktörlü motor ve Redüktörsüz Motor.	3
2.1:	CAD programında tasarlanmış test sistemi.	5
2.2:	Test sisteminin patlatma görünümü.	6
2.3:	Motor bağlantı flanşı.	6
2.4:	Motor bağlantı flanşı için uzatıcı adaptör.	7
2.5:	İtke ölçüm sensörü.	8
2.6:	Üst bağlantı flanşı.	9
2.7:	Alt bağlantı flanşı.	9
2.8:	Alt bağlantı plakası.	10
2.9:	Bağlantı flanşı ve tork sensörlerinin alt tablaya montajı.	10
2.10:	Üst bağlantı flanşı, itke sensörleri ve motor bağlantı flanşının montajı.	11
2.11:	Test sisteminin son hali.	11
2.12:	Kontrol devresinin bitmiş hali	12
2.13:	Devre elemanlarının bağlantı diyagramı.	13
2.14:	Arduino Promini.	14
2.15:	Arduino Promini pin diyagramı.	15
2.16:	Redüktörsüz DC motor.	15
2.17:	Yük hücresi.	16
2.18:	HX711 modülü.	17
2.19:	ACS785 bağlantı şeması.	18
2.20:	Röle Modülü.	19
2.21:	Elektronik hız kontrolör (ESC).	19
2.22:	4S Batarya.	20
2.23:	3S Batarya	20
2.24:	Ana menü görünümü.	21
2.25:	New Test sekmesinin görünümü.	22
2.26:	Simple Data sekmesi görünümü.	23

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.27: Results Sekmesi Görünümü.	23
2.28: Archieve Sekmesi Görünümü.	24
2.29: Compare from Archieve Sekmesi Görünümü.	24
2.30: Add New Motor Type sekmesi görünümü.	25
2.31: Add New ESC Type sekmesi görünümü.	26
2.32: Kütüphanelerin çağırılması.	26
2.33: Değişkenlerin tanımlanması.	27
2.34: Test başlangıç şartlarının oluşturulması.	27
2.35: Motor durdurma makrosu.	28
2.36: Başlangıç geciktirme makrosu.	28
2.37: Throttle değeri okuma makrosu.	29
2.38: Motor çalıştırma makrosu.	29
2.39: Test süresi okuma makrosu.	30
2.40: Excel'e veri gönderme makrosu.	31
2.41: Voltaj değeri ölçme makrosu.	31
2.42: Akım değeri ölçme makrosu.	31
2.43: İtke ve Tork ölçme makrosu.	32
2.44: Test Programı.	33
3.1: Devir ve itke kuvvetine göre motor karşılaştırması.	34
3.2: Akım ve Voltaj değerlerine göre motor karşılaştırması.	35
3.3: Üreticinin vermiş olduğu veriler ile test sistemindeki verilerin kıyaslanması.	35
3.4: Üreticinin vermiş olduğu veriler ile test sistemindeki verilerin kıyaslanması.	36

TABLÖLAR DİZİNİ

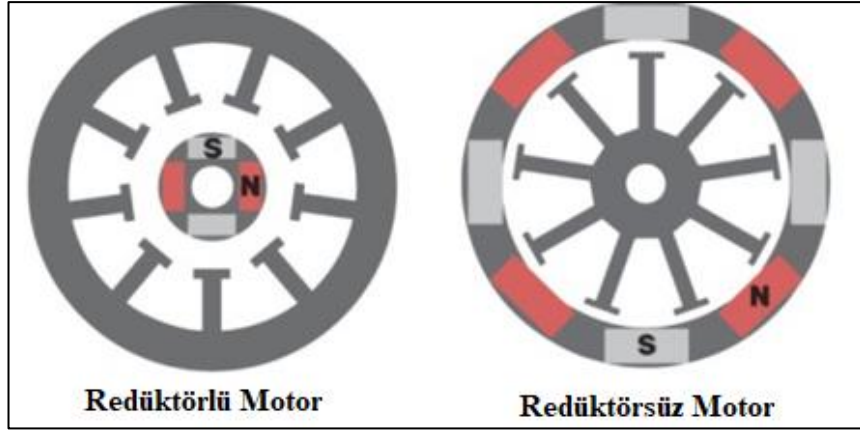
<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Arduino Promini teknik özellikleri.	14
2.2: HX711 modülü teknik özellikleri.	17
3.1: Test sonuçları.	34

Şekil 1.1 [14]'de görüldüğü üzere Fırçasız DC motor rotoru üzerinde sabit mıknatıslar mevcuttur. Bu mıknatısların etrafında dönecek olan startor kısmı ise bakır sarımlarından oluşmaktadır. Bu sarımlar 2 veya 3 fazlı sarımlardan oluşabilmektedir. İHA'larda kullanılan redüktörsüz fırçasız dc motor tiplerinde 3 genellikle 3 fazlı sarım görmekteyiz. 2, 4 veya 8 kutuplu olarak rastlamak mümkündür. Şekil 1.2'de stator ve sabit mıknatıslı rotor örneği görülmektedir. Kutup sayısı arttıkça stator komplike bir hal almaya başlar. Rotorun pozisyon bilgisi kutup değişimi esnasında sargının sıfır geçişi anında olması gerektiği için önemlidir. Bu sebeple motor içerisinde dışarıya veri gönderen Hall etkisi sensörleri bulunur[14].



Şekil 1.2: Sarımlı Stator ve sabit mıknatıslı rotor.

Fırçasız DC motorlar redüktörlü ve redüktörsüz olmak üzere iki çeşit şekilde karşımıza çıkmaktadırlar. Redüktörlü fırçasız DC motorlarda sabit mıknatıslar milin üzerinde sarımlar motor gövdesindedir. Redüktörsüz fırçasız DC motorlarda ise mıknatıslar gövdede sabit mıknatıslar ise merkezde yer almaktadır. Yani redüktörlü motorlarda göbek kısmındaki mil dönerken redüktörsüz motorlarda ise gövde dönmektedir. Dönme kuvvetinin oluştuğu mıknatıslar redüktörsüz motorlarda merkezden daha uzak oldukları için oluşturdukları tork redüktörlü motorlara göre daha yüksektir. Bu ise herhangi bir şanzuman-dişli sistemi gerekmeden pervanenin motor gövdesine bağlanabileceği anlamına gelmektedir. Redüktörlü fırçasız DC motorlarda ara redüksiyona ihtiyaç vardır. Şekil 1.3 [15]'de redüktörlü ve redüktörsüz DC motorların içyapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Redüktörlü ve Redüktörsüz Motorun içyapıları.



Şekil 1.4: Redüktörlü motor ve Redüktörsüz Motor.

Motor karakteristikleri üretici firma tarafından kullanıcıya verilse bile en uygun pervane çapı, adımı gibi bilgiler üretici tarafından çoğunlukla sağlanamamaktadır. Bu sebeple tasarımcılar çeşitli motor kombinasyonlarını test edebileceği düzenek arayışına girmişlerdir. Dominic M.ve Eric L.'nin 2016 yılında çeşitli motor-pervane kombinasyonlarını deneyebilecekleri bir test düzeneği oluşturup aldıkları sonuçları teorik tahminleriyle kıyaslamışlardır[3].

Daren L. ve arkadaşları ise 2011 yılında 2mm kalınlığında alüminyum plakaya kuvvetölçer bağlayarak sabit kanatlı İHA'lar için fırçasız DC motor karakteristiklerini ortaya koymuşlardır.[4]

Bu çalışmada ise basit bir test düzeneğinden daha öte, hassas tezgâhlarda işlenmiş bilgisayar kontrollü kullanımı kolay bir test sistemi kurulmaya çalışılacaktır. Bu test sistemi ile oluşturulabilecek kütüphaneler yardımıyla tasarlanacak İHA'ların uygun motor, pervane, batarya gibi tasarım parametrelerinin uygulamaya en iyi cevap verebilecek şekilde geliştirilebileceği öngörülmektedir.

2. TEST SİSTEMİNİN TASARIMI

Tasarlanacak olan insansız hava araçları için elektrik motor statik testlerini yapcak sistem; mekanik, elektronik ve yazılım gibi disiplinlerin verilerini içeren multidisiplinel bir projedir. Bu sebep ile takip eden alt bölümlerde “Mekanik Kısımın Tasarımı ve İmalatı”, “Elektronik Kısımın Tasarımı ve İmalatı”, “Yazılım” alt başlıklarında açıklanacaktır.

2.1. Mekanik Kısımın Tasarımı ve İmalatı

Sistemin bel kemiği olan mekanik kısmın tasarlanması (Şekil 2.1) ve imalat resimlerinin çıkarılması esnasında CAD programından faydalanılmıştır.



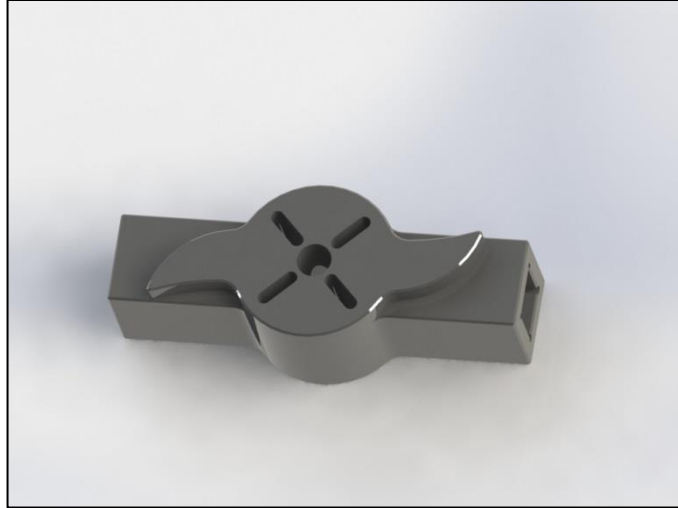
Şekil 2.1: CAD programında tasarlanmış test sistemi.



Şekil 2.2: Test sisteminin patlatma görünümü.

Tasarlanmış olan sistem 5 ana parça tipinden oluşmuştur[Şekil 2.2]. Bu komponentlerin her biri, ölçüm hassasiyetini ve doğruluğunu artırmak amacıyla yüksek teknolojili CNC tezgâhlarda $\pm 0,01$ hassasiyet ile geleneksel imalat yöntemi olan talaşlı imalat usulü ile işlenmiştir.

2.1.1. Motor Bağlantı Flanşı



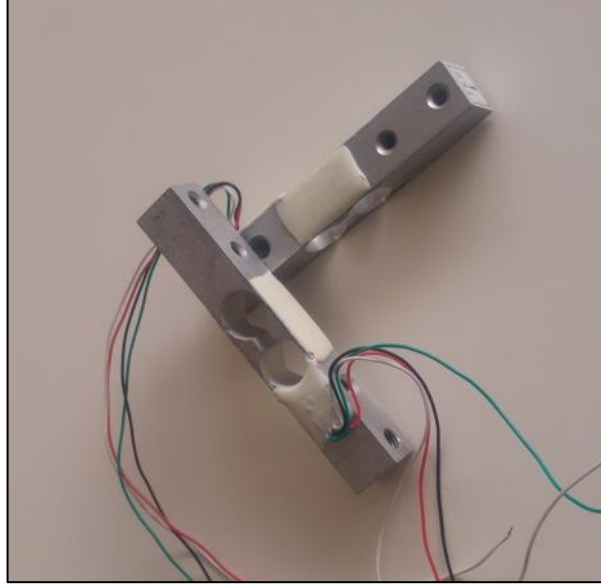
Şekil 2.3: Motor bağlantı flanşı.

İnsansız Hava Araçlarında (İHA) kullanılmakta olan redüktörsüz fırçasız DC motorların test sistemine rijit bir şekilde boşluksuz olarak bağlanması ölçüm hassasiyeti ve doğruluğu açısından oldukça önemli bir faktördür. Ayrıca yüksek devirlerde çalışan bu motorların test esnasında, sistemden ayrılması, testi yapan kullanıcı açısından yaralanma riski oluşturabilmektedir. Motor flanşı yukarıda bahsettiğimiz problemlerin önlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Bu bağlantı flanşının [Şekil 2.3] bir diğer görevi ise elektrik motorunun üretmiş olduğu itki kuvveti ve tork değerlerini, ölçüm bileşenlerine aktarmak ve itki ölçüm sensörlerine ön gerilme uygulamaktır. Bu sebep ile bu komponentin hafif ancak dayanıklı olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu flanşın imalat malzemesi olarak Siyah Polyamid seçilmiştir. Siyah Polyamid titreşim ve ani darbelere dayanıklı bir malzemedir. Böylelikle kullanım esnasında oluşacak olan dinamik gerilmelerin parça bünyesinde yok edilmesine olanak sağlayarak ölçüm kalitesini ve hassasiyetini artırır. Siyah Polyamid motor mountların arasında 10 çapında karbon fiber boru [Şekil 2.4] kullanılarak motorun hava akışının bozulması engellenmiştir.



Şekil 2.4: Motor bağlantı flanşı için uzatıcı adaptör.

2.1.2. İtke Ölçüm Sensörü



Şekil 2.5: İtke ölçüm sensörü.

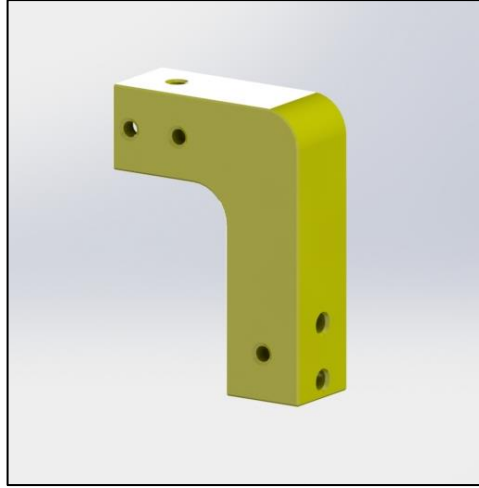
0-1000 gr aralığında ölçüm yapabilen ağırlık sensörüdür [Şekil 2.5]. Bu sensör aynı zamanda mekanik komponentin bir parçası olarak, itke ölçümü dışında motorda üretilen tork değerlerini, tork ölçüm sensörüne aktarılmasında aktif rol oynar. Sensörden sistemde itke ölçümü için iki adet kullanılmıştır. Bu iki sensör koordineli olarak çalışırlar ve iyi bir kalibasyon ile 0-2000 gr arasındaki itke kuvvetinin ölçümünü yapabilirler. Bu sensörlerin elektronik yapısı daha sonra elektronik sistemin tasarımı ve imalatı başlığında incelenecektir.

2.1.3. Tork Ölçüm Sensörü

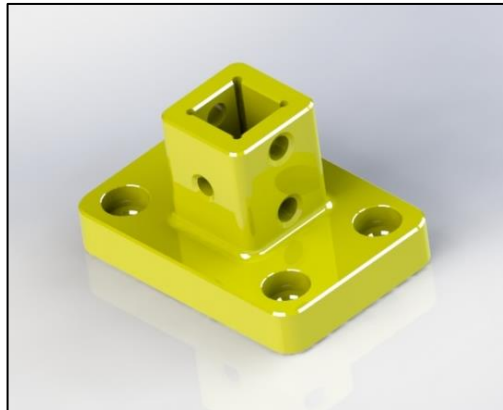
İtke ölçüm sensörü ile aynı yük hücresi kullanılmıştır. Motor tarafından oluşturulan torku aktarım organı olarak görev yapan diğer komponentlerden kendi üzerine alır ve tork değerini ölçer. Bu sensörlerin elektronik yapısı itke ölçüm sensörleri ile tamamiyle aynıdır.

2.1.4. Bağlantı Flanşları

Oluşan tork değerlerini ölçüm sensörlerine minimum kayıp ile aktarmakla görevli bileşenlerdir. Bu temel görevi gereği sıkı bir dokuya ve sertliğe sahip bir malzemedan üretilmesi gerekir. Bu sebep ile çekme, basma dayanımı yüksek, rijit ve sert aynı zamanda hafif bir polyamid çesidi olan kestamit malzeme bu komponentlerin üretimi için uygun görölmüştür. CNC tezgâhlarda 0,01 hassasiyetle üretilerek ölçüm sensörlerine boşluksuz bir şekilde bağlanabilmektedir. Alt ve üst bağlantı flanşı olarak ikiye ayrılır. Şekil 2.6’da itkiyi ölçen sensörler ile torku ölçen sensörler arasında köprü görevi gören üst bağlantı flanşı, Şekil 2.7’de ise alt tabla ile tork sensörlerini bağlayan alt bağlantı flanşı görölmektedir.



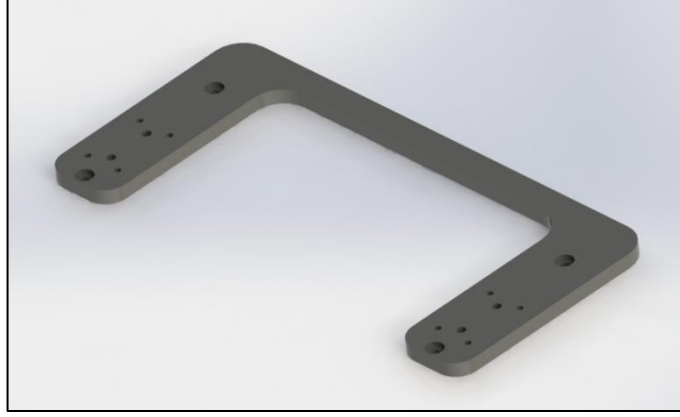
Şekil 2.6: Üst bağlantı flanşı.



Şekil 2.7: Alt bağlantı flanşı.

2.1.5. Alt Bağlantı Tablası

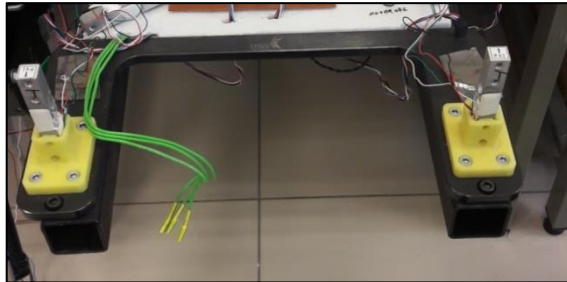
Bu bağlantı tablası [Şekil 2.8]; bağlantı flanşları, motor flanşı ve ölçüm sensörlerinin oluşturduğu ana yapıyı üzerinde taşıyan bağlantı plakasıdır. Test esnasında motorun oluşturduğu itki kuvvetinde bir kayıp olmaması bu plakanın görevini doğru yapması ile direk olarak etkilidir. Bu bağlantı parçası sistemi masa vb. yüzeye rijit, hareketsiz olarak sabitler. Alt plaka rijitliği sağlaması ve dayanıklı olması açısından çelik malzemeden üretilip paslanma yapmaması amacıyla siyah oksidasyon kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Bağlantı flanşlarının düz bir şekilde durabilmesi için 0,005 hassasiyeti ile taşlanarak paralelliği sağlanmışır.



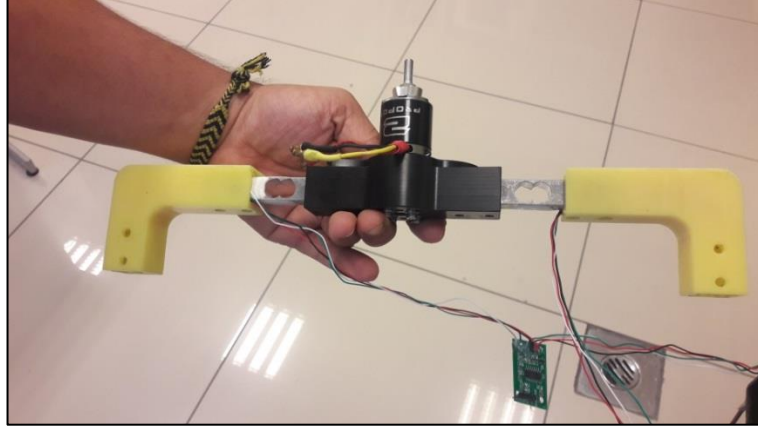
Şekil 2.8: Alt bağlantı plakası.

2.1.6. Montaj Aşaması

Masaya sıkıca bağlanmış olan alt plakanın üzerine alt bağlantı flanşları Şekil 2.9'deki gibi oturtulmaktadır. Üzerine tork sensörleri hassas bir şekilde takılarak cıvata ile sabitleme yapılmaktadır.

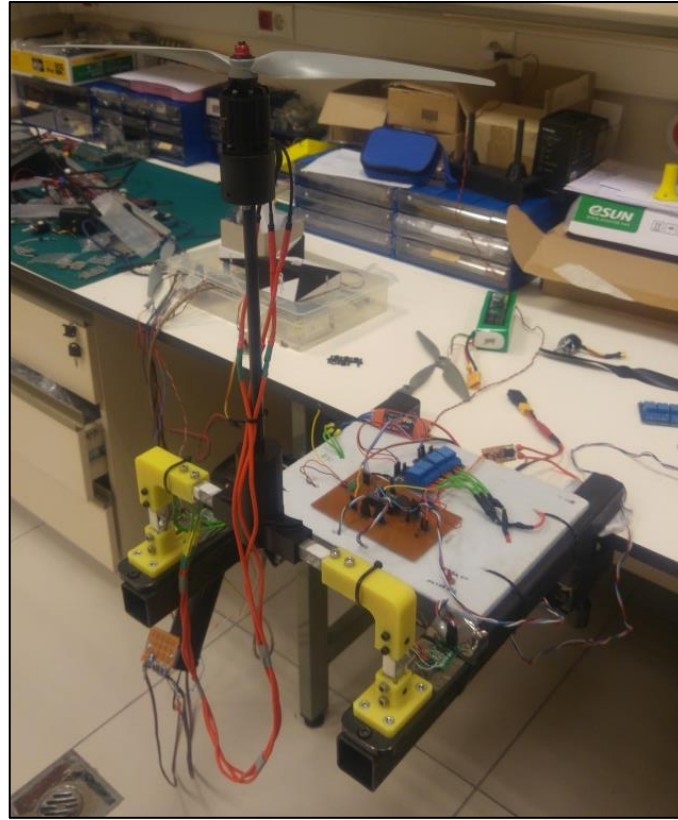


Şekil 2.9: Bağlantı flanşı ve tork sensörlerinin alt tablaya montajı.



Şekil 2.10: Üst bağlantı flanşı, itki sensörleri ve motor bağlantı flanşının montajı.

İtkiyi ölçecek olan yük hücreleri motor bağlama flanşına sağ ve soldan geçirilerek cıvatalar yardımı ile sabitlenmektedir. İtki sensörlerini tork sensörlerine bağlayarak test sisteminin ana yapısını oluşturmak için üst bağlantı flanşı Şekil 2.10'deki gibi dikkatlice monte edilmektedir. Şekil 2.11'de ise test sisteminin montajlanmış hali gösterilmiştir.



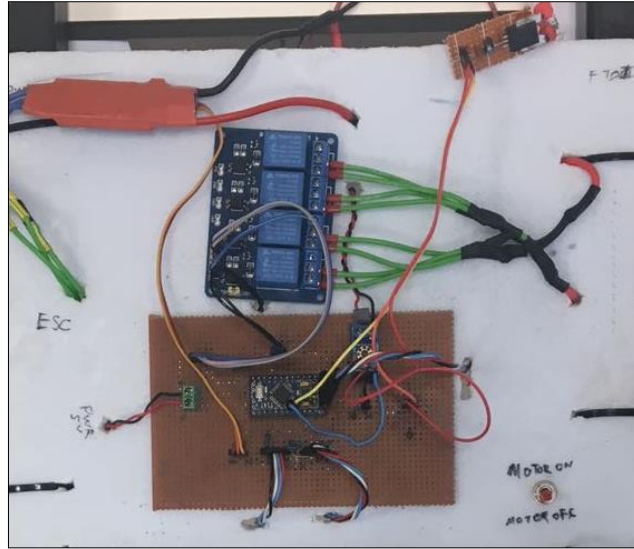
Şekil 2.11: Test sisteminin son hali.

2.2. Elektronik Sistemin Tasarımı ve İmalatı

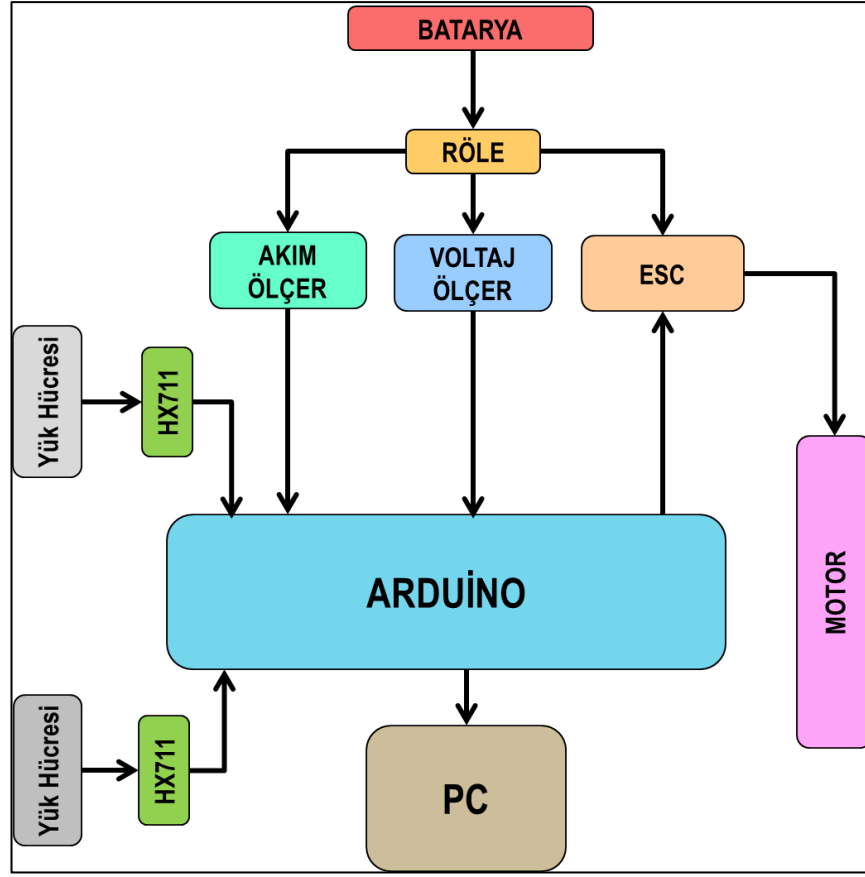
Test cihazının ana elektronik mimarisinde Arduino platformu kullanılmıştır. Bu bölümde “Elektronik Komponentler” başlığı altında tüm elektronik mimaride kullanılan Yük hücresi, HX711 yükselteç modülü, Arduino Promini, Röle, akım ölçer, voltaj ölçer, ESC, Motor, Batarya, FTDI gibi bileşenler incelenecektir. Öncelikle bu devre elemanlarının arasındaki ilişkiyi kavrayabilmek adına bağlantı diyagramı incelenecektir.

2.2.1. Devre Elemanlarının Bağlantı Diyagramı

Test sisteminin elektronik bölümünde birer adet röle grubu, batarya, akımölçer, voltaj ölçer, ESC, motor, arduino, dört adet yük hücresi ve iki adet HX711 yükselteç modülü mevcuttur. Röle üzerinden geçirilen bataryanın faz kutbu ölçüm yapılabilmesi için akımölçer ve voltaj ölçer üzerinden geçerek ESC ye ve daha sonrasında motora ulaşmaktadır. Aynı zamanda sistemde bulunan dört adet yük hücresi ikiye ayrılarak HX711 yükselteç modülüne bağlanarak Arduino pinlerine bağlanmaktadır. Şekil 2.13’de devre elemanlarının birbirleri arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 2.12’de ise kontrol devresinin bitmiş hali paylaşılmıştır.



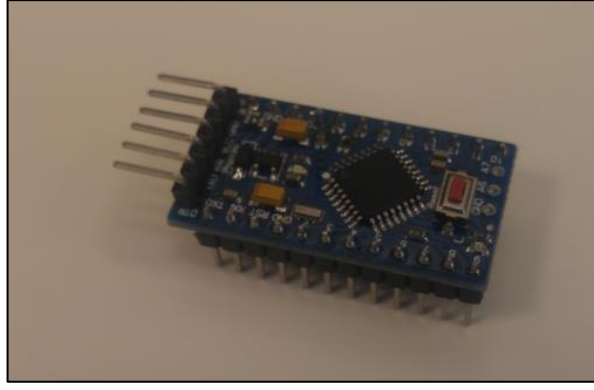
Şekil 2.12: Kontrol devresinin bitmiş hali.



Şekil 2.13: Devre elemanlarının bağlantı diyagramı.

2.2.2. Arduino Promini

Test sisteminin ana işlemcisi olarak Arduino Promini [Şekil 2.14] kullanılmıştır. Arduino Promini tabanı Atmega328 olan bir karttır ve 5V, 3.3V beslemeli tipleri mevcuttur. 3.3V olan tipi 8 MHz; 5V olan tipi ise 16MHz dir. Bu sebeple sistem mimarisinde Arduino Promini nin 3,3 V luk versiyonu kullanılmıştır. Şekil 18’de devre üzerinde kullanılmış olan Arduino Promini versiyonu görülmektedir. Bu mikrokontrolörün teknik özellikleri ise Tablo 2.1 [10]’de belirtilmiştir.

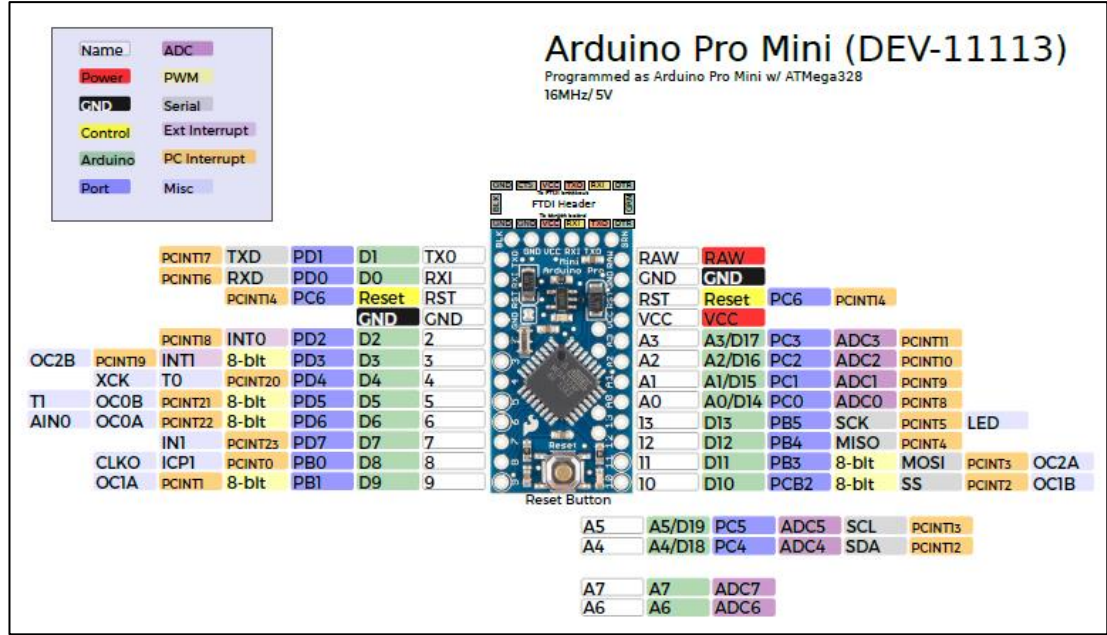


Şekil 2.14: Arduino Promini.

Tablo 2.1: Arduino Promini teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	Atmega328
Çalışma Gerilimi (V)	3.3
Digital I/O Pinleri	14 Adet (6 'sı PWM destekli)
Digital I/O Pinleri	8
Analog I/O Pinleri	6 Adet
Flash Hafıza	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

Arduino Promini bilgisayar ve diğer mikroişlemcilerle haberleşebilir. Kendine ait derleyicisi üzerinden program yazılıp USB-Uart dönüştürücü yardımı ile bu programları kaydedebilir. Devre elemanlarının bağlanacağı pinlerin seçimi konusunda mikrokontrolörün pin bacaklarının işlevleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bacakların işlevleri ise üretici firmanın paylaşmış olduğu verilerden veya şemalardan elde edilebilir. Şekil 2.15 [11]'da Sparkfun firmasının Arduino Promini için oluşturmuş olduğu pin diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.15: Arduino Promini pin diyagramı.

2.2.3. Redüktörsüz DC Motor

İHA’larda genellikle bir fırçasız DC motor tipi olan Redüktörsüz DC Motorlar kullanılır. Bu tip motorlarda isminden anlaşılacağı üzere fırça ve kollektör bulunmaz. Stator kısmında bobinli sargılar; rotor kısmında ise doğal bir mıknatıs bulunur. Motor testleri sırasında kullanılmış olan bir DC motorun resmi Şekil 2.16’de sunulmuştur.

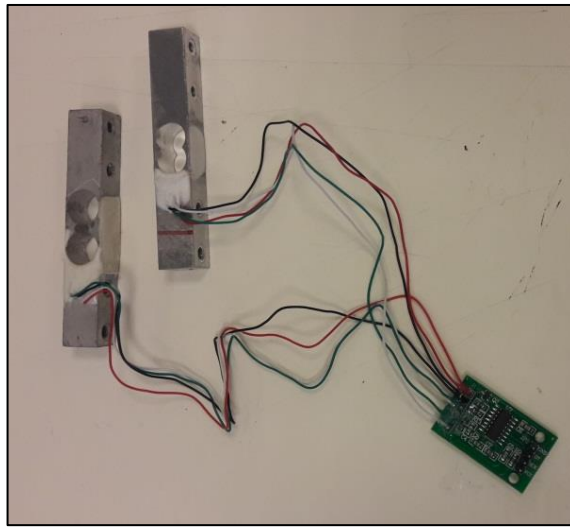


Şekil 2.16: Redüktörsüz DC motor.

Redüktörsüz motorlarda rotor dış kısımda stator iç kısımda yer alır. Bu ise motorun gövdesinin döndüğü anlamına gelir. Dolayısı ile bobin kısmı içerdedir ve soğutulmaları zordur. Ancak bu tip motorlar ile yüksek tork eğrileri elde edilebilir. Bu özellik ise onları uçan projelerde vazgeçilmez kılar.

2.2.4. Yük Hücresi

Yük hücresi üzerine uygulanan kuvveti veya ağırlığı analog sinyale dönüştüren bir sensördür. Üzerinde bulunan strain gagelerle kurulu wheatstone köprüsünden oluşmaktadır. Kuvvet uygulandığında wheatstone köprüsü üzerinden elektrik sinyali oluşturulur ve bu sinyal yükselteçlerle okunarak işlenir[12]. İmal edilecek olan test sisteminde YZC-133 tipi yük hücresi kullanılmıştır. Bu tip yük hücreleri ince uzun yapısı tork ve itki kuvvetlerini ölçmemiz için çok ideal bir formdur. Sistemde kullanılan YZC-133 0-1000 kg arasında istikrarlı ölçüm yapabilmektedir. Yükselteç modülü olan HX711 entegresine bağlanmış iki adet yük hücresi Şekil 2.17’de görülmektedir.

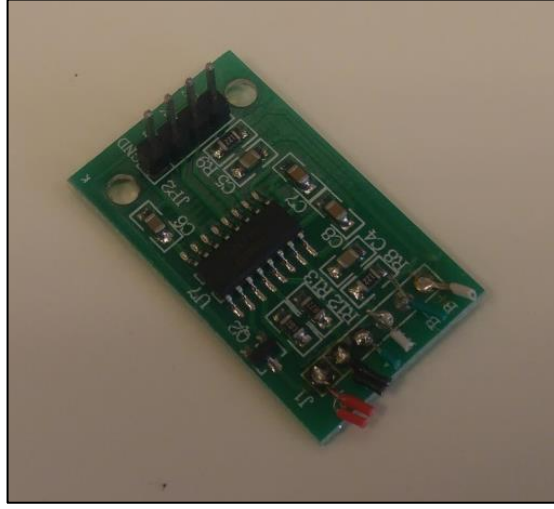


Şekil 2.17: Yük hücresi.

2.2.5. HX711 Modülü

HX711 modülü [Şekil 2.18] bir yükselteç gibi düşünülebilir. Yük hücresi in wheatstone köprüsü ile üretmiş olduğu küçük elektrik sinyallerini üzerindeki yükselteç devresiyle güçlendirerek okunabilir hale getirmektedir. HX711 arduino ile I2C haberleşme yöntemi ile haberleşir. Bu sayede bir adet HX711 yükselteci ile iki

adet yük hücresi in okuması yapılabilir. Tablo 2.2 [13]'de firma üreticisinin bu modül için vermiş olduğu teknik veriler mevcuttur.



Şekil 2.18: HX711 modülü.

Tablo 2.2: HX711 modülü teknik özellikleri.

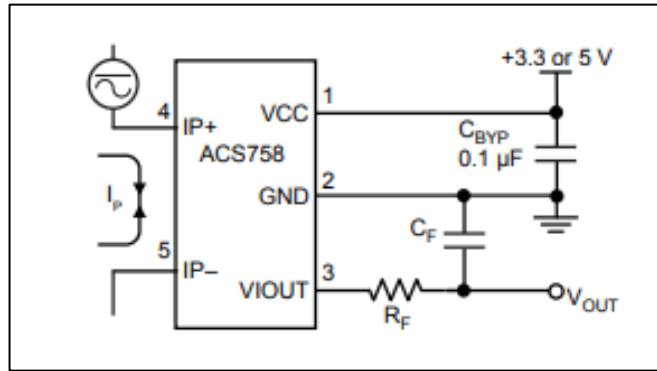
Ayrıcı Giriş Gerilimi	40mV
Veri Hassasiyeti	24 bit
Yenileme Frekansı	80 Hz
Çalışma Gerilimi	5V
Çalışma Akımı	<10 mA
Boyutu	38 mm x 21 mm x 10 mm

2.2.6. Voltaj Ölçer

Arduino platformu için kullanılan standart voltaj sensörü dirençli gerilim bölücü prensibi ile çalışır. Maksimum 25V ile çalışır. Bu ise sisteme 25V verildiğinde voltaj ölçerin çıkışından 5 V gerilim okuyacağımız anlamına gelir.

2.2.7. Akım Ölçer

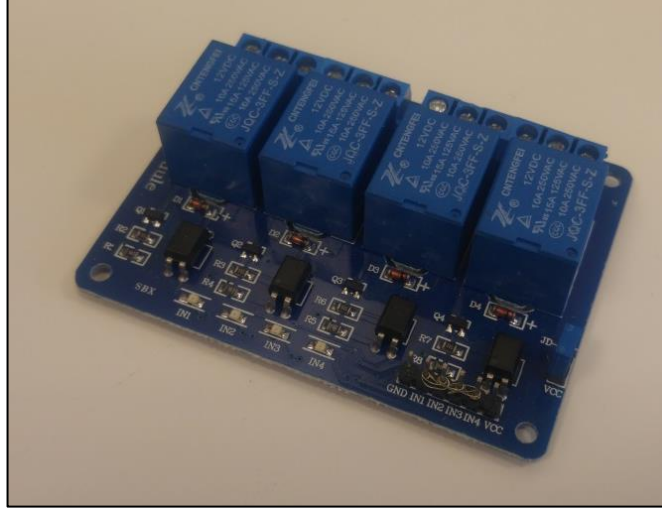
Sistemde test edilecek olan motorun tipine göre 60 ampere kadar akım çekilmesi gerekebilecektir. Bu yüzden emniyetli çalışma payıyla birlikte en az 80 A'lık bir akımı rahatlıkla okuyabileceğimiz ACS758 entegresi tercih edilmiştir. ACS758 entegresi doğrudan akım hattına veya mikrokontrolör grubuna bağlanamaz. Bu entegreyi başarılı bir şekilde kullanabilmek için kondansatör ve direnç bağlantılarına ihtiyaç vardır. Üretici firmanın ACS785 entegresi için belirlemiş olduğu bağlantı şeması Şekil 2.19'de gösterilmiştir.



Şekil 2.19: ACS785 bağlantı şeması.

2.2.8. Röle Modülü

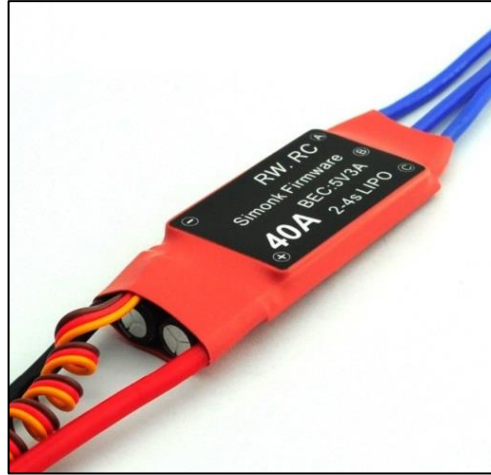
Röle modülü genellikle düşük bir gerilim ile daha büyük gerilimi kontrol etmek için kullanılır. Test sistemin tamamen güvenlik amacı ile 4 kanallı bir röle kartı kullanılmıştır. 4 kanallı bir röle grubunun kullanılma sebebi ana hattan motora giden akımı bölerek rölelerin ömrünü uzatmaktır. Bu modül batarya ve ESC arasına bağlanmıştır ve Arduino tarafından kontrol edilmektedir. Test bittiğinde veya acil stop basıldığında motor sürücüyeye giden elektriği keserek motorun herhangi bir şekilde yanlışlıkla dahi olsa çalışmasını engeller. Şekil 2.20'te 4 kanallı normalde kapalı bir röle modülü görülmektedir.



Şekil 2.20: Röle Modülü.

2.2.9. ESC (Elektronik Hız Kontrolörü)

ESC'ler PWM sinyalleri ile motorun çalışacağı devri kontrol eden devredir. ESC, motorun çekebileceği kadar akımı motora vermelidir [5]. Bu sebeple test sistemi farklı ESC'ler ile birlikte çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. İlk etapta düşük amper gereksinimi olan motorlar için Simonk marka [Şekil 2.21] 40 A destekli bir ESC kullanılmıştır.



Şekil 2.21: Elektronik hız kontrolör (ESC).

2.2.10. Batarya

Elektrik motorlarında enerji kaynağı olarak tekrar enerjilendirilebilen bataryalar kullanılmaktadır. İHA uygulamalarında çoğunlukla Lityum Polimer piller tercih edilmektedir.[Marshall vd. 2016]. Bu tercihin 3 ana sebebi vardır.

Üretim parametreleri ölçüsel olarak esnektir ve hafiftir. [6]

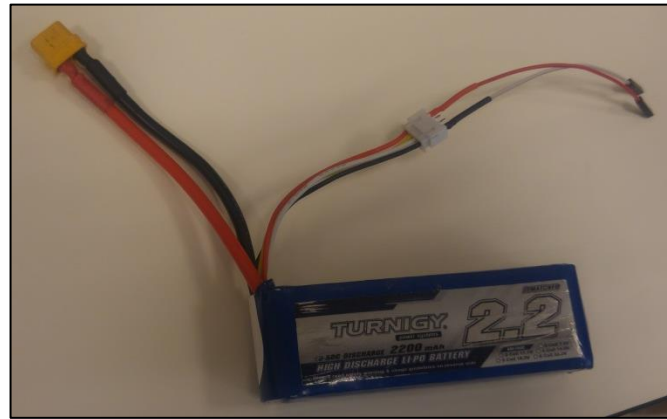
Yüksek güç yoğunluğuna sahiptirler. [7]

Çok hızlı bir biçimde deşarj olabilirler. Çok yüksek amper akım verebilirler.[8]

Bir Lityum polimer pil her biri 3.7 V olan hücrelerin birleştirilip paketlenmesiyle meydana gelir. Pillerin üzerinde yer almakta olan “S” değerleri batarya paketinin içerisinde yer alan hücre sayısı anlamına gelir. Örneğin; 3S’ lik bir lityum polimer batarya $3,7 \times 3 = 11,1$ V ‘luk bir potansiyel farka sahiptir. Motor denemeleri esnasında kullanılmış olan 3S ve 4S batarya örnekleri Şekil 2.22 ve Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22: 4S Batarya.



Şekil 2.23: 3S Batarya.

2.2.11. USB Uart Dönüştürücü

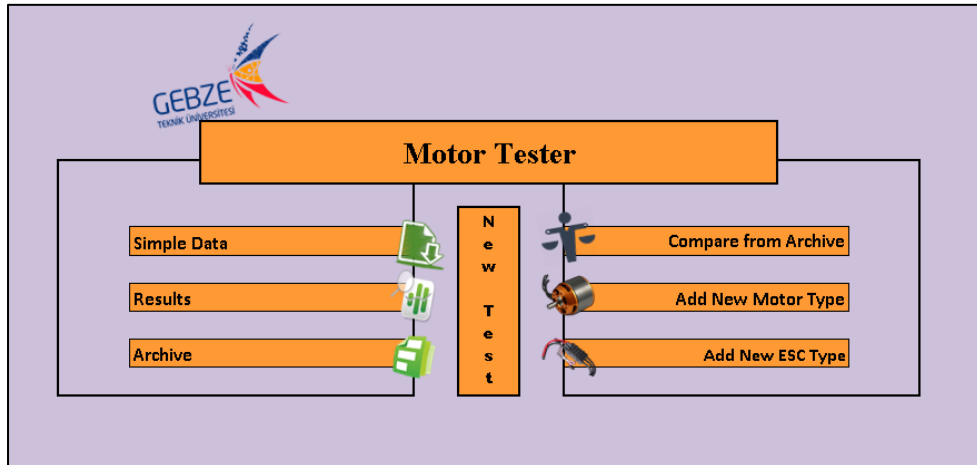
Test sisteminde kullanılan Arduino Promini tipi üzerinde programlamaya olanak sağlayacak modül mevcut değildir. Bu sebeple bu tip Arduino platformlarında derleyici ile yazılan programlar USB-UART dönüştürücü ile aktarılır. Sistemimizde CP2102 tipli dönüştürücü kullanılmaktadır.

2.3. Yazılım

Test sisteminin yazılımı Excel içerisinde bulunan Visual Basic ile yazılmıştır. Sistemin arduino tabanlı kontrol kartı RS232 haberleşme protokolü ile yazılıma bağlanır ve dinamik kontrol imkânı sunar. Arduino ve Excel'in haberleşmesinde Parallax firmasının hazırlamış olduğu PLX-DAQ kütüphanesinden yararlanılmıştır.

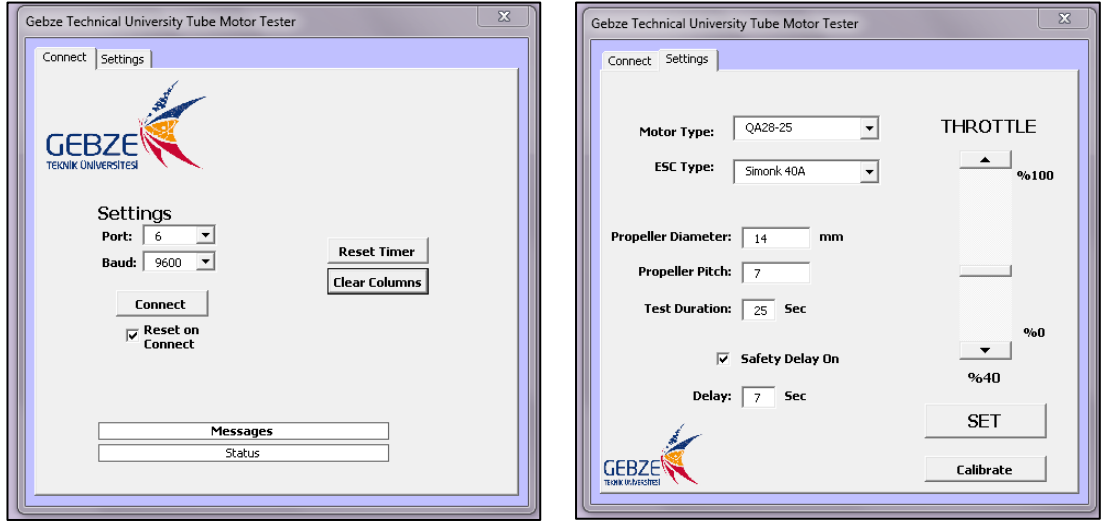
2.3.1. Arayüzün Tasarlanması

Excel üzerinde hazırlanmış olan yazılım açıldığında kullanıcıyı Şekil 2.24'de gösterilen “Ana Menü” karşılamaktadır. Bu menü altındaki Simple Data, Results, Archieve, Compare from Archieve, Add New Motor Type, Add New ESC Type sekmelerine alt başlıklar halinde teker teker değinilecektir.



Şekil 2.24: Ana menü görünümü.

2.3.1.1. Yeni Test Oluşturma



şekil 2.25: New Test sekmesinin görünümü.

Ana menü ortasında yer alan New Test sekmesine tıklandığında Excel içerisindeki Visual Basic ile yazılmış olan pencere [şekil 2.25] karşımıza çıkmaktadır. Bu pencere kendi içerisinde Connect ve Settings adlı iki sekmeden oluşur.

Connect sekmesinde test sistemimizin devre kartının bağılı olduğı COM port ve Baund rate değeri seçilerek cihaza bağlantı sağlanır ve istenirse veri izleme penceresindeki veriler temizlenebilir. Connect butonuna tıklayarak yeni test başlatılabilir.

Settings sekmesinde ise yeni başlayacak olan testin sistemde kayıtlı olan motor ve esc tipi, pervane çapı ve hatvesi, test süresi, throttle değeri belirlenir.

2.3.1.2. Veri İzleme

	A	B	C	D	E
1	Time	Thrust	Torque	Voltage	Current
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					

Şekil 2.26: Simple Data sekmesi görünümü.

Test süresince okunan test zamanı, itki kuvveti, tork, voltaj ve akım değerleri test süresi bitip ortalamaları alınana kadar bu sekmeden takip edilebilir. Bu sekmenin görünümü Şekil 2.26'daki gibidir.

2.3.1.3. Sonuçlar



Motor Tester Results



Motor Type

QA28-25



ESC Type

Simonk 40 A



Propeller Diameter

14

mm



Propeller Pitch

7



Test Duration

25

sec

Results

%

40

Throttle

Nm

2,863

Average Torque

gr

174456,00

Average Thrust

v

14,929

Average Voltage

A

19,785

Average Current

rpm

6180

Average Speed

Send Results to "Archive"

Şekil 2.27: Results Sekmesi Görünümü.

Bu sekmede adından da anlaşılacağı üzere test sonuçları incelenmektedir. Test süresi boyunca okunmuş verilerin ortalaması alınarak kullanıcıya tek pencere altında

Karşılaştırma sekmesi [Şekil 2.29] daha önce yapılmış olan testlerin birbirleri ile kıyaslanabildiği kısımdır. Bu kıyaslama Motor tipi, ESC tipi, Pervane çapı, Pervane adımı veya throttle değeri gibi değişkenlere göre seçilebilir. Böylelikle İHA tasarımcısına en verimli dataların verilmesi sağlanır.

Bu kıyaslamayı yapabilmek için “Archive” sekmesinde istenilen testin üzerine tıklanıp klavyeden Ctrl+M kombinasyonu kullanılarak kayıtlı olan testlerin karşılaştırma sekmesine aktarılması yeterlidir.

2.3.1.6. Yeni Motor Tipi Ekleme

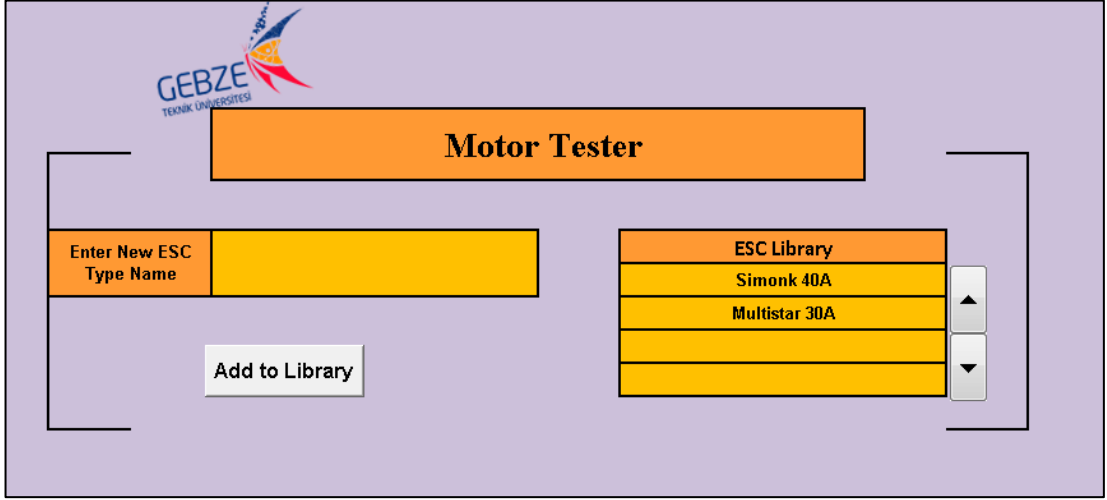
The screenshot shows a software interface titled 'Motor Tester' with the GEBZE TEKNİK UNIVERSİTESİ logo. It features two main sections: 'Enter New Motor Type Name' with a text input field and an 'Add to Library' button, and a 'Motor Library' table. The table contains three entries: '28-26s', '28-36', and 'QA28-25'. The table has a scroll bar on the right side.

Motor Library
28-26s
28-36
QA28-25

Şekil 2.30: Add New Motor Type sekmesi görünümü.

Test edilen motorların bir standart oluşturması için kütüphane oluşturulmuştur. Bu kütüphaneye daha önce denenmemiş bir motor eklenmek istediğinde bu sekme kullanılır. Böylelikle arşive eklenen aynı motorların farklı isimlerle kaydedilmesinin önüne geçilip standart bir veri tabanı oluşturulması sağlanmıştır. Şekil 2.30’de ana menü üzerinden ulaşılabilen motor ekleme sayfası görülmektedir.

2.3.1.7. Yeni ESC Tipi ekleme



The screenshot shows a software window titled "Motor Tester" with a light purple background. In the top left corner is the logo of GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ. The main area contains a section for adding new ESC types. It features a text input field labeled "Enter New ESC Type Name" with a yellow background. Below this field is a button labeled "Add to Library". To the right of the input field is a list box titled "ESC Library" with a yellow header. The list contains two entries: "Simonk 40A" and "Multistar 30A". The list box has a vertical scrollbar on its right side. The entire interface is enclosed in a black border.

Şekil 2.31: Add New ESC Type sekmesi görünümü.

Test edilen ESC lerin motorlarda yaptığımız gibi bir standart oluşturması için kütüphane oluşturulmuştur. İlk defa kullanılacak olan bir ESC öncelikle kütüphaneye kayıt edilmelidir. Böylelikle ESC ler için de standart bir kütüphane yapılmıştır. Şekil 2.31’de ana menü üzerinden ulaşılabilen motor ekleme sayfası görülmektedir.

2.3.2. Arduino Programı

Test sistemi için yazılmış program Şekil 2.32 – Şekil 2.44 arasında açık olarak verilmiştir.

```
#include "HX711.h"
#include <Servo.h>
HX711 scale(A1,A0);
HX711 scale1(A3,A2);
HX711 scalet1(A1,A0);
HX711 scalet2(A3,A2);
```

Şekil 2.32: Kütüphanelerin çağırılması.

```

Servo motor;
int voltage=A4;
int current=A5;
float FinalTorqueval=0;
float FinalThrustval=0;
float TorqueLval=0;
float TorqueRval=0;
float ThrustLval=0;
float ThrustRval=0;
float voltageval;
float voltagevalfinal;
float currentval;
float currentvalfinal;
int row=0;
int delayval = 0;

```

```

int throtval1=0;
int safetyval=0;
int say=0;
int sec=0;
int currentmillis=0;
float thrustcal;
int saymot=0;
int saydelay=0;
int saydur=0;
int saysafe=0;
int sayemg=0;
int saycal=0;
int throtval = 0;
int tdurationval=0;
int emgval=0;

```

Şekil 2.33: Değişkenlerin tanımlanması.

```

void setup() {
  pinMode(9, OUTPUT);
  digitalWrite(9,HIGH);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0,
  motorstop, LOW);
  motor.attach(10);
  scalet1.set_gain(128);
  scalet2.set_gain(128);
  scalet1.read();
  scalet2.read();
  scalet1.set_scale(107.f);
  scalet2.set_scale(107.f);
  scalet1.tare();
  scalet2.tare();
}

```

```

scale.set_gain(32);
scale1.set_gain(32);
scale.read();
scale1.read();
scale.set_scale(107.f);
scale1.set_scale(107.f);
scale.tare();
scale1.tare();
motorstop();

Serial.println("CLEARDATA"
);
Serial.println("LABEL,Time,
Thrust,Torque,Voltage,Curr
ent,Speed");
}

```

Şekil 2.34: Test başlangıç şartlarının oluşturulması.

```

void motorstop(){
    digitalWrite(9,HIGH);
    digitalWrite(13,LOW);
    motor.write(0);
}

```

Şekil 2.35: Motor durdurma makrosu.

```

void getdelay(){
    saydelay=1;
    while (Serial.available() > 0)
    {
        Serial.read();
        delay(1);
    }
    Serial.println("CELL,GET,Q3");
    delay(100);
    delayval= 0;
    while(Serial.available() > 0)
    {
        char rdelayval= Serial.read();
        if (isdigit(rdelayval) && rdelayval != '\n')
        {
            delayval= delayval* 10 + rdelayval- '0';
        }
        delay(1);
    }
}

```

Şekil 2.36: Başlangıç geciktirme makrosu.

```

void getthrot(){
    saymot=1;
    while (Serial.available() > 0)
    {
        Serial.read();
        delay(1);
    }
    Serial.println("CELL,GET,N3");
    delay(100);
    throtval = 0;
    while(Serial.available() > 0)
    {
        char rthrotval = Serial.read();
        if (isdigit(rthrotval) && rthrotval != '\n')
        {
            throtval = throtval * 10 + rthrotval - '0';
        }
        delay(1);
    }
}

```

Şekil 2.37: Throttle değeri okuma makrosu.

```

void motorstart(){
    saymot=1;
    digitalWrite(9,LOW);
    if(saycal<1){
        saycal=1;
        motor.write(0);
        delay(1000);
    }
    motor.write(throtval);
}

```

Şekil 2.38: Motor çalıştırma makrosu.

```

void getduration(){
    saydur=1;
    while (Serial.available() > 0)
    {
        Serial.read();
        delay(1);
    }

    Serial.println("CELL,GET,O3");
    delay(100);

    tdurationval = 0;
    while(Serial.available() > 0)
    {
        char rtdurationval = Serial.read();
        if (isdigit(rtdurationval) && rtdurationval != '\n')
        {
            tdurationval = tdurationval * 10 + rtdurationval - '0';
        }
        delay(1);
    }
}

```

Şekil 2.39: Test süresi okuma makrosu.

```

void printval(){
    Serial.print("DATA,TIME,");
    Serial.print(FinalThrustval); Serial.print(",");
    Serial.print(FinalTorqueval); Serial.print(",");
    Serial.print(voltagevalfinal);Serial.print(",");
    Serial.println(currentvalfinal);
}

```

Şekil 2.40: Excel'e veri gönderme makrosu.

```

void voltage read(){
    voltageval= analogRead(voltage);
    voltagevalfinal =voltageval*(13.90/552.0);
}

```

Şekil 2.41: Voltaj değeri ölçme makrosu.

```

void currentread(){
    currentval= analogRead(current);
    currentvalfinal=((512-currentval)/512)*100;
}

```

Şekil 2.42: Akım değeri ölçme makrosu.

```

void getforces(){

scalet1.set_gain(128);

scalet2.set_gain(128);

delay(50);

TorqueLval = scalet1.get_units(3)+33;

TorqueRval = scalet2.get_units(3)+38;

scale.set_gain(32);

scale1.set_gain(32);

delay(50);

ThrustLval = scale.get_units(3);

ThrustRval = scale1.get_units(3);

thrustcal= ThrustLval+ThrustRval;

FinalThrustval= (thrustcal+35);

FinalTorqueval=(((TorqueLval+TorqueRval)/2)*(0.146*9.806*-1));

delay(50);

scale.power_down();

scale1.power_down();

scalet1.power_down();

scalet2.power_down();

delay(50);

scale.power_up();

```

Şekil 2.43: İtki ve Tork ölçme makrosu.

```

void loop() {
  if(saydelay<1){
    getdelay();
  }
  if(saymot<1){
    getthrot();
  }
  if(saydur<1){
    getduration();
  }
  if(saysafe<1){
    getsafe();
  }
  sec=tdurationval+delayval;
  if (safetyval==1 ){
    if (say<1){
      safedelay();
    }
  }
  if(millis()<sec){
    digitalWrite(9,LOW);
    digitalWrite(13,HIGH);
    motorstart();
    voltageread();
    currentread();
    getforces();
    printval();
    row++;
  }
  else {
    digitalWrite(13,LOW);
    digitalWrite(9,HIGH);
  }
}

```

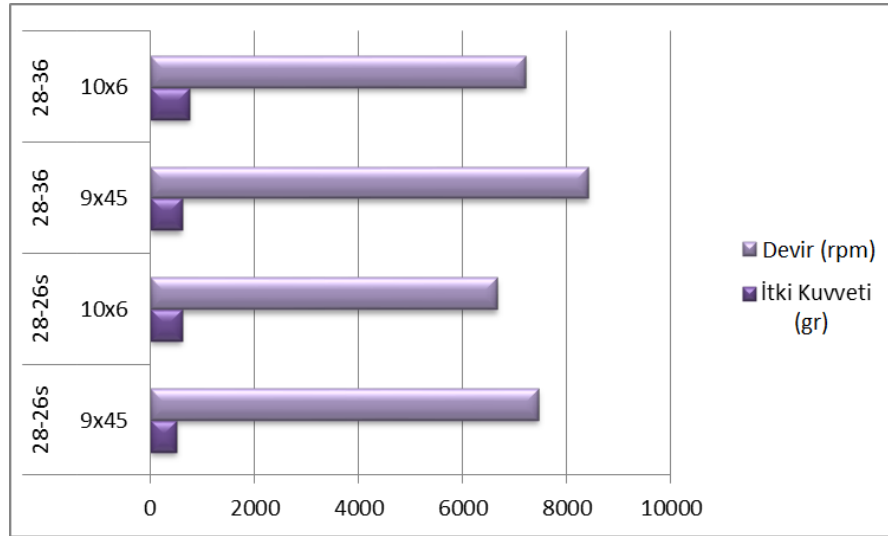
Şekil 2.44: Test Programı.

3. SONUÇLAR

Kalibrasyon edilmiş test sistemi ile 28-26s, 28-36 ve QA2825 motorları, farklı pervane ve throttle değerleri ile test edilmiştir. Bu test sonuçları Tablo 3.1’de paylaşılmıştır.

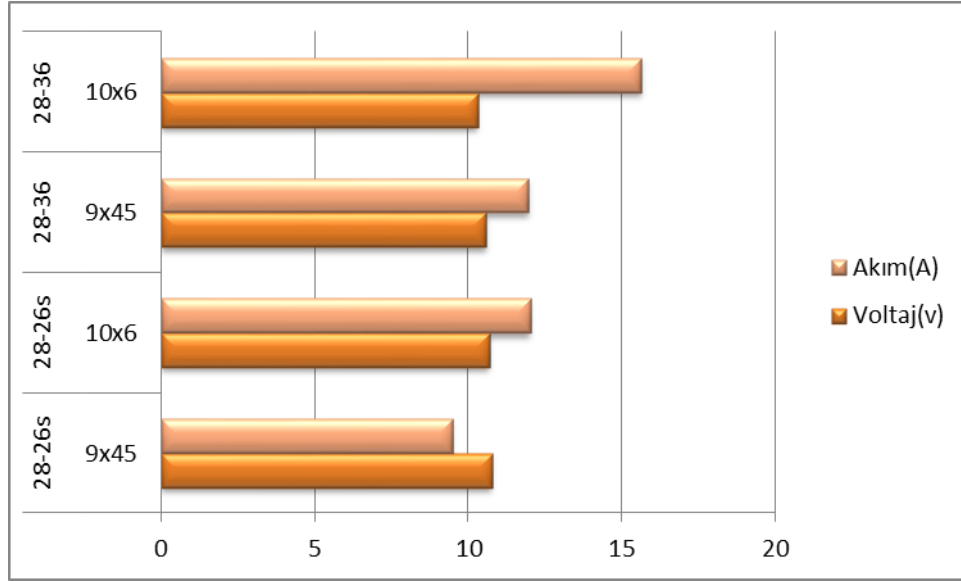
Tablo 3.1: Test sonuçları.

Motor	Pervane	Batarya	Throttle (%)	Ortalama İtki (gr)	Ortalama Tork (Nm)	Voltaj (V)	Akım (A)	Devir (rpm)	Sıcaklık Değişimi (°C)	Güç (Watt)	Verimlilik (gr/Watt)
28-26s	9x45	3S	40	502,404	0,617	10,755	9,47	7450	3	101,85	4,93
28-26s	9x45	3S	100	671,189	0,792	10,54	13,15	8950	7	138,60	4,84
28-26s	10x6	3S	40	602,6	1,205	10,67	12,01	6650	8	128,15	4,70
28-36	9x45	3S	40	599,69	2,504	10,57	11,96	8400	1	126,42	4,74
28-36	10x6	3S	40	747,968	1,049	10,29	15,62	7200	-1	160,73	4,65
QA2825	9x45	4S	40	755,192	0,891	15,85	10,98	9400	-1,5	174,03	4,34
QA2825	12x6	4S	40	1436,76	2,623	15,23	18,79	7450	3,2	286,17	5,02
QA2825	14x7	4S	40	1744,56	2,863	14,84	21,2	6180	5	314,61	5,55

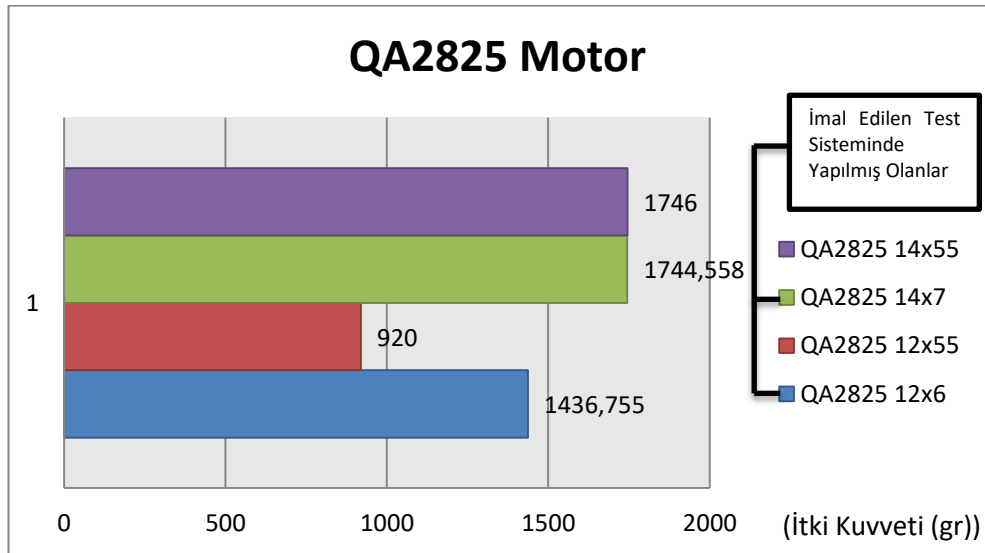


Şekil 3.1: Devir ve itki kuvvetine göre motor karşılaştırması.

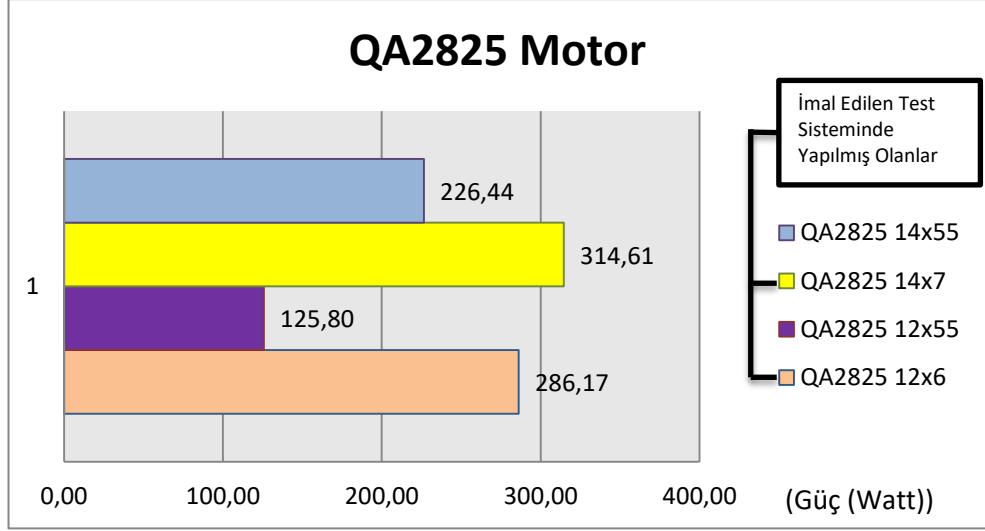
Yapılmış olan testlerde 3S batarya kullanılmış olan motorları göz önüne alındığında [Şekil 3.1] 28-36 model motorun 10x6 pervane ile rakiplerine kıyasla daha düşük devirde daha yüksek itki kuvvetlerini elde etmiştir.



Şekil 3.2: Akım ve Voltaj değerlerine göre motor karşılaştırması.



Şekil 3.3: Üreticinin vermiş olduğu veriler ile test sistemindeki verilerin kıyaslanması.



Şekil 3.4: Üreticinin vermiş olduğu veriler ile test sistemindeki verilerin kıyaslanması.

Ancak Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 10x6 tipi pervaneyi kullanan 28-36 model motor rakiplerine göre daha fazla akım çekmektedir Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de ise üreticinin vermiş olduğu değerler (14x55 ve 12x55 pervaneler için %50 gaz ayarında) imal edilmiş test sisteminde elde edilen veriler (14x7 ve 12x6 pervaneler için %40 gaz ayarında) ile kıyaslanmış ve yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. . Bu ise batarya kapasitesini daha hızlı tüketerek uçuş süresini azaltacağı anlamına gelmektedir. Yapılacak olan İHA’nın amacına göre uygun motor seçiminin birçok değişkene bağlı bir optimizasyon problemi olduğu açıktır. Bu sebeple İHA’larda kullanılan 0-60A aralığındaki redüktörsüz fırçasız DC motorların büyük kısmının kolaylıkla bağlanıp test edilebileceği, sonuçların bilgisayar ortamında rahat bir şekilde saklanıp tekrar incelenebileceği ve büyük çaplı bir motor kütüphanesi oluşturmaya olanak sağlayan test sistemi yapılmıştır. Bu sistem ile hazırlanabilecek olan motor kütüphanesinin İHA’ tasarımcıları tarafından büyük ilgi göreceği öngörülmektedir.

4. ÖNERİLER

Daha sonraki çalışmalarda, mevcut olan excel kullanıcı arayüzü daha da geliştirilerek tasarımcıya otomatik optimizasyon seçeneği verilmesi sağlanarak, seçilecek olan motor kombinasyonunun kalitesi artırılabilir. Ayrıca Taguchi'nin deney tasarımı yöntemi kullanılarak elektrik motor statik testlerinin iyileşmesi sağlanabilir. Gelişen yapay zekâ algoritmaları sisteme dâhil edilerek yapılan her test kombinasyonundan sonra sistemin kendi kendine öğrenmesi tetiklenerek sonuçları öncesinden tahmin etmesi sağlanabilir. Ayrıca fiziki kontak olan rölelerin yüksek amperlerde manyetik bacalarının yapışarak bozulabileceği saptanmıştır. Daha yüksek akım değerlerini sistemde test edebilmek için, üç fazlı motorlarda kullanılan kontaktör elemanı sisteme (röle yerine) dâhil edilip yüksek akımlarda daha kararlı çalışan bir yapı elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Önkol M., (2010), ” Dönerkanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Tasarımı, Modellenmesi Ve Kontrolü”, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- [2] S. Recoskie, A. Fahim, W. Gueaieb, and E. Lanteigne, “Experimental testing of a hybrid power plant for a dirigible uav,” Journal of Intelligent & Robotic Systems, 69 1-4,
- [3] Muzar D., Lanteigne E., (2016), “Experimental Characterization Of Brushless Dc Motors And Propellers For Flight Application”, Proceedings of The Canadian Society for Mechanical Engineering International Congress, , Kelowna, BC, Canada, 2016, June 26-29
- [4] Darren L., Meyer J., Plessis F., “ Brushless DC motor characterisation and selection for a fixed wing UAV”, IEEE Africon ’11
- [5] Quan Q., (2017), “Introduction to multicopter design and control”, 2nd Edition, AIAA.
- [6] Linden D. ve Reddy, T. B. (2002). Handbook of Batteries – Third Edition. McGraw Hill Companies, Inc., United States of America.
- [7] Park J. (2012). Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries. Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- [8] Kaynak M. (2015). Lityum Polimer Pillerde Kullanım Amaçlı Lityum Gyon Çletken Nanokompozit Elektrolitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu. Fatih Üniversitesi.
- [9] Marshall D. M., Barnhart R. K., Shappee E., Most M., (2016), “Introduction to unmanned aircraft systems”, 2nd Edition, CRC Press.
- [10] Web 1, 2013, Web: [2009] http://www.robotiksisitem.com/arduino_pro.html (Erişim Tarihi: 05/06/2019)
- [11] Web 2, [2011], <https://cdn.sparkfun.com/datasheets>, (Erişim Tarihi:05/06/2019)
- [12] Web 3, [2019], https://www.esit.com.tr/tr/yuk_hucresi_loadcell__nedir (Erişim Tarihi: 05/06/2019)
- [13] Web 4, [2019], <http://www.teknikstores.com/hx711-cift-kanal-tarti-sensoru> (Erişim Tarihi: 07/06/2019)
- [14] Web 5, [2015], <http://www.firatdeveci.com/blcdc-motorlar-gelecegin-hareket-kaynagi> (Erişim Tarihi: 10/06/2019)

- [15] Web 6, [2018], <https://www.motioncontroltips.com/motors-industrial-power-tools-comparison-of-brushless-dc-options-including-slotless-motor-variations/>, (Erişim Tarihi: 10/06/2019)
- [16] Web 7, [2018], <https://www.kontrolkalemi.com/fircasiz-dc-motor-brushless-motor/>, (Erişim Tarihi: 10/06/2019)
- [17] Web 8, [2018], <http://www.radiocontrolinfo.com/brushless-inrunner-vs-outrunner-motor/>, (Erişim: 10/06/2019)

ÖZGEÇMİŞ

Çağatay Can BALCI 1993 yılında İstanbul’da doğdu. 2011 yılında başladığı Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü 2015 yılında tamamlayarak 2016 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2015 yılından bu yana İsoTek firmasında makine mühendisi olarak görev almaktadır.