



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**UÇAK GÖVDESİNDE PERVANE İTKİSİ İLE
TUTUNARAK GEZİNEREN MOBİL
GÖRÜNTÜLEME CİHAZI TASARIMI VE
ÜRETİMİ**

Kerem Said GÜRMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kerem Said GÜRMAN tarafından hazırlanan “UÇAK GÖVDESİNDE PERVANE İTKİSİ İLE TUTUNARAK GEZİNEREN MOBİL GÖRÜNTÜLEME CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİMİ” adlı tez çalışması 24/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan(Danışman)
Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI

Üye
Dr.Öğr.Üyesi Koray KAVLAK

Üye
Dr.Öğr.Üyesi Mustafa TINKIR

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

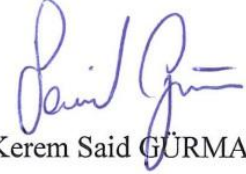
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Kerem Said GURMAN

Tarih: 23.10.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

UÇAK GÖVDESİNDE PERVANE İTKİSİ İLE TUTUNARAK GEZİLEN MOBİL GÖRÜNTÜLEME CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİMİ

Kerem Said GÜRMAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI

2019, 77 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI
Dr.Öğr.Üyesi Koray KAVLAK
Dr.Öğr.Üyesi Mustafa TINKIR**

Bu çalışmada, uçakların sefer aralarında ve hangarlarda yapılan bakım işlemleri sırasında; yıldırım ve dolu kaynaklı yapısal hasar kontrol işlemlerinin daha kısa sürede ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayan bir cihazın tasarımı ve prototip üretimi yapılmıştır. Uçaklarda yapısal hasar tespitinde genellikle dörtlü ile taşınan kameralar veya uçak gövdesine vakumlu ayaklarla tutunan NDT ekipmanları tarafından alınan görüntüler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, diğer yöntemlerden farklı olarak hasar tespiti yapılacak yüzeye pervane itkisi ile tutunarak gezilen mobil görüntüleme cihazı tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Geliştirilen cihaz aldığı görüntüleri kablosuz olarak yer bilgisayarına gönderebilmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen cihaz, iki adet dairesel kanallı fan motorla oluşturulan itki sayesinde uçak üzerindeki ait farklı eğimlerdeki yüzeylere tutunabilmektedir. cihaz elektrik motorları ile yüzeyde hareket edebilmektedir. sistem yerden elektrik motoru ile beslenmektedir. Geliştirilen cihaz, toplamda 10 kg itki sağlayabilen 2 adet motor ile donatılmıştır. Cihaz üzerinde dahili olarak 720 p video kaydeden bir sayısal kamera bulunmaktadır. Kamera ile alınan görüntüler wifi aracılığıyla yer bilgisayarına aktarabilmektedir. Cihaz üzerinde, tespit edilen yapısal hasarların konumunun belirlenmesi amacıyla işaretlenmesi için 2 eksenli bir kol bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle THY Teknik'in ihtiyaçlarını karşılayabilmek üzere sistem mühendisliği yapılarak tasarım konsepti belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada, geliştirilmesi hedeflenen sistemin mekanik ve elektronik tasarımları gerçekleştirilip yazılım yüklemeleri sağlanarak prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımı doğrulamak ve geçerli kılmak amacıyla geliştirilen cihazın yere dik ve paralel yüzeylerde gezdirilmesi sağlanarak uçak yüzeylerindeki hataların tespitinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tırmanan robot, Uçak Yapısal Muayene, Uzaktan kontrollü robot, Yapısal Hasar

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND MANUFACTURING OF MOBIL IMAGING DEVICE THAT HOLDING WITH PROPELLER AND MOVE ON AIRCRAFT FUSELAGE

Kerem Said GÜRMAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI

2019, 77 Pages

Jury

**Prof.Dr. Fatih Mehmet BOTSALI
Asst. Prof. Dr. Koray KAVLAK
Asst. Prof. Dr. Mustafa TINKIR**

In this study, during the maintenance operations of aircraft between the flights and hangars; the design and prototype production of a device which enables lightning and hail-induced structural damage control operations to be performed in a shorter time and with lower cost was realized. The structural damage detection of aircraft is images taken by cameras carried by a quadrant or by NDT equipment hold on to the airframe with vacuumed feet are generally used. Unlike other methods, mobile imaging devices are designed and manufactured that hold by propeller thrust on damaged surface. The developed device can send the received images wirelessly to the ground computer. Developed prototype within the scope of the study, can climb to different slope on aircraft surfaces by the two edf motors. The device which is holded to the surface can move by the electric motors.

The device developed within the scope of the study is able to hold onto the surfaces of different slopes on the aircraft thanks to the impulse generated by two circular channel fan motors. The device can move on the surface with electric motors. The system is powered by an electric motor from the ground. The developed device is equipped with 2 motors capable of delivering a total of 10 kg of thrust. The device has a built-in digital camera that records 720p video. The images taken with the camera can be transferred to the ground computer via wifi. The device has a 2-axis handle for marking for the location of detected structural damages.

Within the scope of the study, firstly, system design was determined by the system engineering in order to meet the needs of Turkish Technic. In the next stage, mechanical and electronic designs of the system have been made and software installations have been made and prototype production has been realized. In order to validate and validate the design, the device was moved on perpendicular and parallel surfaces to ground and its usability in detecting defects on aircraft surfaces was evaluated.

Keywords: Climbing robot, Aircraft Structural Inspection, Remote controlled robot, Structural Damage

ÖNSÖZ

Ülkemizde havacılık faaliyetleri yüksek bir ivme ile gelişmektedir. Gelişen koşullar ve zorlu rekabet şartları nedeniyle sektörel inovasyon projeleri ayakta kalabilmenin tek yolu olmaktadır. Tez projesi bu şartlar altında düşünüldüğünde, planlanmamış bakımlardaki yapısal muayene konusunda önemli katma değer üretmektedir.

Profesyonel meslek hayatımızın ilk adımlarını attığımız lisans eğitiminden başlamak üzere, vizyoner, inovatif, küresel rekabetçi bir mühendis olarak yetişmemiz için her türlü fedakarlıktan çekinmeyen, her konuda desteğini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Fatih Mehmet BOTSALI'ya ve proje kapsamında yardımlarını esirgemeyen Mustafa Kemal YUMRUKTAY ile Muhammet KARAMAN'a ve havacılık endüstrisindeki bir problemin çözümünün incelenmesini sağlamak amacıyla, konunun belirlenmesi ve kullanılacak malzemelerin temini konularında desteklerini esirgemeyen THY Teknik A.Ş. ailesine ve tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ve minnetlerimi borç bilirim.

Kerem Said GÜRMAN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Araştırması.....	3
2.2. Uygulanan Alternatif Yöntemlere Göre Avantaj ve Dezavantajları.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Asgari Operasyon Şartları.....	14
3.2. Başarı Kriterleri	15
3.3. Tasarım Süreci	16
3.4. Hesaplamalar	21
3.4.1. Dairesel kanallı fan motoru hesabı	24
3.4.2. Gerekli minimum teker çapı	29
3.4.3. İlerleme hızının belirlenmesi	31
3.4.4. İlerleme motorunun devir hesabı	33
3.4.5. İlerleme motoru için gerekli tork değeri hesabı.....	33
3.5. Katı Modelleme	35
3.6. Sistem Mimarisi.....	46
3.7. Kullanılan Bileşenler	49
3.7.1. Elektrik motoruna akuple dairesel kanallı fan motorlar (EDF)	49
3.7.2. Geliştirme kartları	50
3.7.3. Elektronik hız kontrol ünitesi (ESC)	55
3.7.4.Servo motorlar	55
3.7.5. Kablosuz haberleşme	57
3.7.6. Ultrasonik sensör	57
3.7.7. Lipo piller	58
3.7.8. Motor sürücü (L298).....	59
3.7.9. Redüktörlü DC motorlar	60
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	61
4.1. Konsept Doğrulama ve Geliştirme Çalışmaları	61
4.1.1. Versiyon 1	61
4.1.2. Versiyon 2.....	62
4.1.3. Versiyon 3.....	62
4.1.4. Versiyon 4.....	63
4.1.5. Versiyon 5.....	63
4.2. Tasarım Doğrulama ve Geçerli Kılma Testleri.....	64
4.2.1. Motor itki sistemi kuvvet ölçümleri.....	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71

KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

MPa	:	Megapaskal
Kg	:	Kilogram
FPS	:	Frame Per Second – Saniye Başına Kare
V	:	Volt
A	:	Amper
Gr	:	Gram
AC	:	Alternatif Akım
DC	:	Doğru Akım
HD	:	High Defination – Yüksek Çözünürlük
°C	:	Santigrad Derece
Mhz	:	Megahertz
Ghz	:	Gigahertz
sn	:	Saniye
mAh	:	Miliampere-hour

Kısaltmalar

EDF	:	Electric Duceded Fan – Elektrikli Fan Motoru
FDM	:	Fused Deposition Modelling – Eriyik Yığıma Modelleme
MVP	:	Minimum Viable Product – En Yalın Ürün
MCU	:	Modular Concept Unit – Moduler Birim Kavramı
DKF	:	Elektrik Motoruna Akuple Dairesel Kanallı Fan
NDT	:	Non-Destructive Testing
GND	:	Ground
PWM	:	Pulse Width Modulation
RC	:	Remote Control
DFU	:	Device Firmware Upgrade
ABS	:	Akrilonitril Bütadien Stiren

1. GİRİŞ

Tezin amacı uçakların sefer aralarında ve hangarlarda yapılan bakımlarda, yıldırım ve dolu olayları raporlanması sonucu gerçekleştirilen yapısal hasar kontrol işlemlerinin çok daha kısa sürede ve maliyette yapılmasını sağlayan sistem tasarımı ve prototip imalatının yapılmasıdır. Prototip uçağın üzerine tutunarak hareket etmekte ve üzerindeki faydalı yükler ile görev yapmaktadır. Sistemde yüzeye tutunmak için üzerindeki pervaneler aracılığıyla oluşturduğu kuvveti ve vakum etkisini kullanarak uçağa tutunmaktadır. Sistem yüzeye tutunma biçimi olarak muadillerinden farklılık göstermektedir.

Tezin kapsamında üretilen prototip görüntülerin canlı olarak yer istasyonuna aktarılması sağlamaktadır.

Uçak gövdesinin muayene işlemleri bugüne kadar drone ile gezdirilen, vantuzlu kollarla tutunan, halatla asılan veya elle gezdirilen farklı teçhizat kullanılarak yapılmaktadır. Tez projesinin özgün tarafı; işlem teçhizatının uçak gövdesine tutunmasının teçhizat üzerine bağlanan pervanelerin oluşturduğu hava akımına bağlı negatif basınç ile gerçekleştirilmesidir. Geliştirilen sistemin bir diğer farklılığı; sisteme muayene, temizleme vb. işlemler için gerekli olan fırça, kamera vb. farklı teçhizat takılabilesidir. Geliştirilen sistem, dörtlü (quadrocopter) teknolojisini kullanmadığı için GPS sinyalinin kaybolması vb. dörtlü teknolojisine özgü kısıtlara tabi değildir. Geliştirilen sistem, vantuz vb. tutunma amaçlı araçlar kullanmadığı için vantuzlu sistemlere özgü kısıtlara da tabi değildir.

Pilotların yıldırım çarpmasına maruz kalındığını veya dolu yağışı içinden geçildiğini rapor etmesi halinde uçaklar yolcu indirdikten sonra uçak bakım ekibi tarafından hasar muayenesi amacıyla hangara çekilmektedir. Hangara çekilen uçakların muayenesi amacıyla iskelelerin ve vincin uçağa yanaştırılması ciddi zaman ve adam/saat kaybına neden olmaktadır. Muayene işleminin uçak park yerindeyken iskele veya vinç vb. herhangi bir teçhizat kullanmadan yapılması zaman, işgücü ve maliyet açısından avantaj sağlayacaktır.

Uçakların hangara çekilme sürecinde havalimanı trafiğine oluşan etki azaltılarak havalimanının yer trafiği rahatlatılmaktadır. Ayrıca hangara çekme sürecindeki prosedür ve ekipman beklenme durumları da ortadan kaldırılmaktadır. Bu şekilde oluşan ekstra iş gücü daha verimli kullanılabilir.

Hangar içerisine uçak çekildiği zaman gövde üzerinin görüntülenmesi için iskele ve vinç ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte de insan kaynağı ve ekipman ihtiyacı doğmaktadır. Tüm etmenlerin bir araya toplanması sonucu muayene işlemi başlayabilmektedir. Yapısal hasar tespiti tamamlandıktan sonra eğer hasar varsa üretici dokümanları ışığında tolerans değerleri içerisinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmadığı takdirde uçak tekrar yolcu almak üzere park pozisyonuna çekilmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle THY Teknik'in ihtiyaçları kapsamında sistem mühendisliği yapılarak tasarım konsepti belirlenmiştir. Sonrasında ise mekanik ve elektronik tasarımları gerçekleştirilip yazılım yüklemeleri sağlanarak sistemin imalatı ve doğrulama testleri yapılmıştır. Tez, mekanik tasarımda eklemeli üretim uygulamalarının yanı sıra elektronik devrelerin kurulması, yazılımda ise geliştirme kartlarının programlanmasını içermektedir. Tasarım verilerinin tamamlanması sonrasında prototip imalatı yapılarak başarı kriterleri test edilmiştir.

Uçak yapısal hasarları için muayene işleminde, yaygın olarak gözle muayene yöntemi kullanılmaktadır. Ancak yeni bazı uygulamalarda kamera ile muayene yöntemi de kullanılmaya başlanmış bulunmaktadır. Bu alanda deneysel çalışmanın ötesine geçmiş bazı yöntemler de ise dörtlü ve vakumla tutularak ilerleyen muayene cihazları kullanılmıştır.

Gözle yapılan muayenede iskele ihtiyacı ve yüksekte çalışma gibi riskli durumlar ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak uçağın hangara çekilme ihtiyacı da bulunmaktadır. Bu açıdan tasarlanan sistem hangar ve yardımcı ekipmanlardan bağımsız çalışabilmesi açısından üstünlük göstermektedir. Diğer yandan dörtlülerin havalimanlarında kullanımının yasak olması ve rüzgar gibi hava koşullarından çabuk etkilenmesi sebebiyle sistem üstünlük göstermektedir.

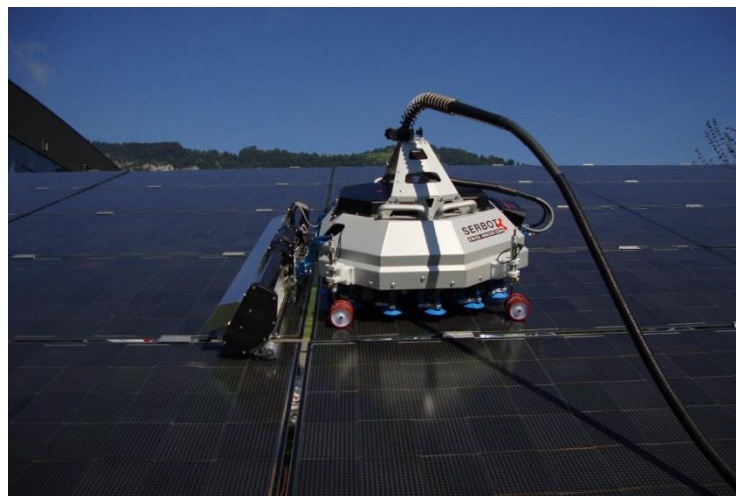
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Araştırması

Ulaşılması zor yüzelerde operasyon yapılabilmesi mühendislerin son zamanlarda ilgilendikleri ve teknolojinin imkanlarını kullanarak çözüm geliştirdikleri bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle dik yüzeylere tırmanma hususu çokça irdelenmiştir. Gökdelen camlarının temizlik ihtiyacı dik yüzeylere tırmanan robotların gelişiminde etkili olmuştur (Xiao ve Sadegh, 2007). Gökdelenlerin yanı sıra güneş enerjisi santrallerinin panel temizlikleri de yeni gelişen teknolojilerle ortaya çıkan yeni uygulama sahalarındandır. Son yıllarda dünyada 25000'e yaklaşan uçak sayısı ve onların görsel yapısal hasar muayenesi ihtiyacı havacılık sektöründe de dik yüzeylere tırmanan robotik sistem ihtiyacını ön plana çıkarmıştır.

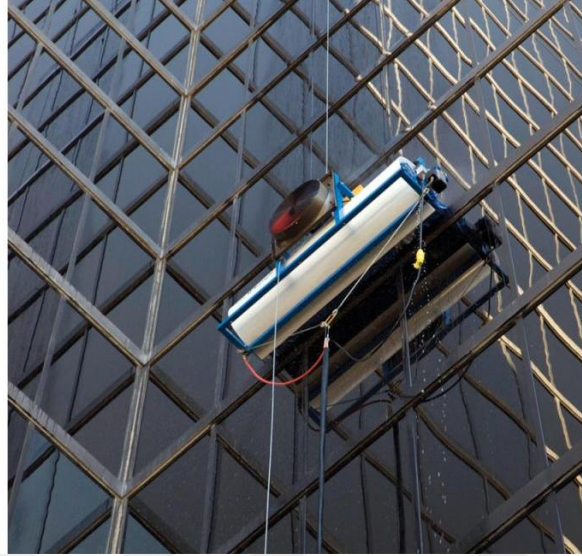
Problem benzerliği açısından literatür araştırmasında gökdelenler ve güneş santrallerindeki sistemler havacılıkta kullanılan sistemlerle beraber irdelenmiştir (Çizelge 2.1). Araştırmalar sonucunda yüksek eğimli yüzeylerde operasyon gerçekleştirmek için yüzeye vakum ile yapışma (Johnson ve Suid, 2015) ve pervane etkisinin kullanıldığı görülmüştür. Bunun yanında jiroskop etkisi ile yapışma sağlamak için de çalışmalar bulunmaktadır.

Gökdelen ve güneş panelleri temizlik robotu üreten Serbot firması Şekil 2.1'de gösterilen vakumlu bir sistem ile yapışmayı sağlayarak yüksek eğimlerde operasyon gerçekleştirmektedir.



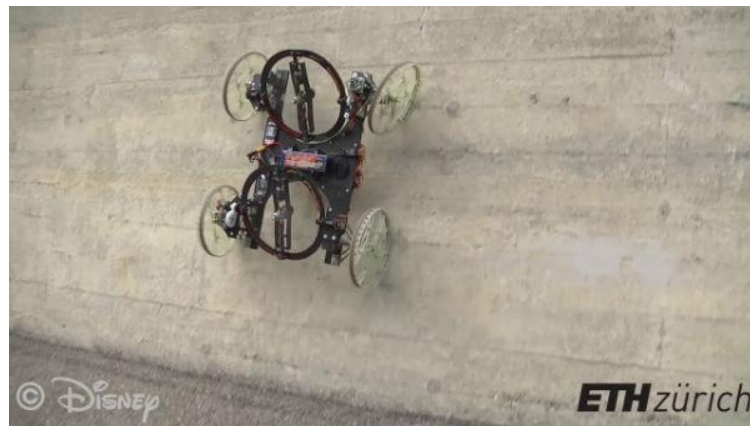
Şekil 2.1. Serbot panel temizlik aracı

IPCEagle Firması ise gökdelenler için Şekil 2.2’de gösterilen farklı bir temizlik robotu tasarımı yapmıştır. Bu firma sistemi gökdelenin tepesinden bir vinç aracılığıyla aşağı sarkıtmakta ve ipi belli bir hızda aşağıya salmak suretiyle robotun düşey hareketini sağlamaktadır. Üzerindeki dönen fırça yüzey temizliğini yaparken arkaya yerleştirdikleri fanlar gökdelen camına dikey etkiyecek şekilde kuvvet uygulayarak fırçalar için gerekli baskı kuvvetini sağlamaktadırlar.



Şekil 2.2. IPCEagle gökdelen temizlik robotu

Disney Almanya’da tasarlanan Şekil 2.3’de gösterilen VertiGo robotunu tanıtmıştır. Bu robot üzerindeki pervanelerin sağladığı itki ile düz duvarda yürüyebilmektedir ve durabilmektedir. Duvara tırmanırken ve düz duvarda ilerlerken pervanelerin açısını değiştirerek hareket sağlamaktadır.



Şekil 2.3. VertiGo robotu

Şekil 2.4’de gösterilen City College of New York tarafından tasarlanan City Climber robotu (Xiao ve Sadegh, 2007) diğer vakumlu sistemlerden farklılık göstererek hovercraft sistemine benzer şekilde çalışmaktadır. Hovercraftların aksine basınçlandırılan bölmenin vakumlanması (Xiao ve Sadegh, 2007) ile yüzeye tutunmakta ve vakum bölgesi içerisindeki paletlerle de hareketini sağlamaktadır.



Şekil 2.4. City climber

Havacılık üzerine uygulamalar araştırıldığında yapısal inspection operasyonlarında dronların kullanıldığı görülmektedir. Bu konuda Airbus, Türk Havayolları, Easyjet (Şekil 2.5), KLM gibi lider firmaların çalışmaları vardır. Bu uygulamada drone ile şimşek hasarı için yere görüntü aktarımı yapılmaktadır. Ayrıca Airbus, drone ile uçağın fotogrametri ile 3 boyutlu modelinin çıkarılması üzerine de çalışmaktadır.



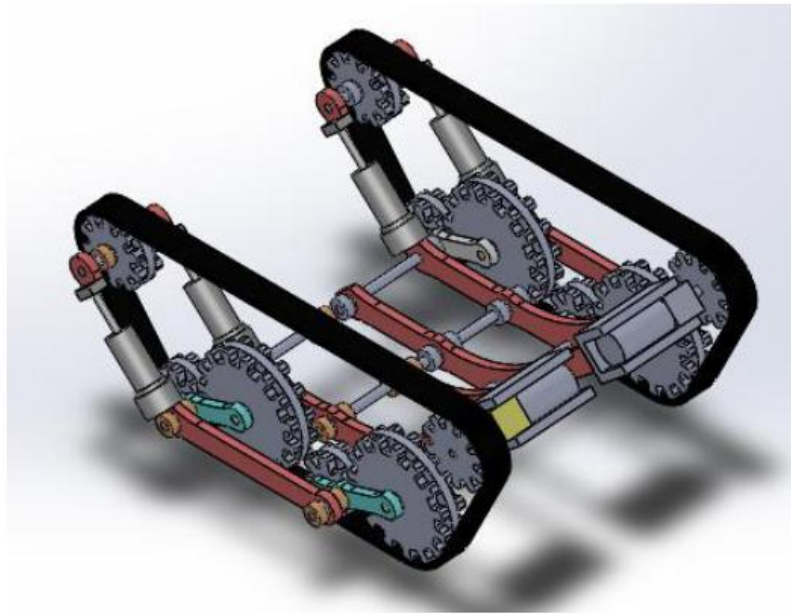
Şekil 2.5. Easyjet yapısal muayene dronu

Drone çözümünün yanı sıra Lufthansa Technic tarafından vakum sistemi ile çalışan uçak üzerinde hareket edebilen Şekil 2.6'da gösterilen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Vakum yardımıyla uçağa tutunmakta ve uçak üzerinde vakumlu kolları öteleyerek hareket edebilmektedir (Pack ve ark., 1997).



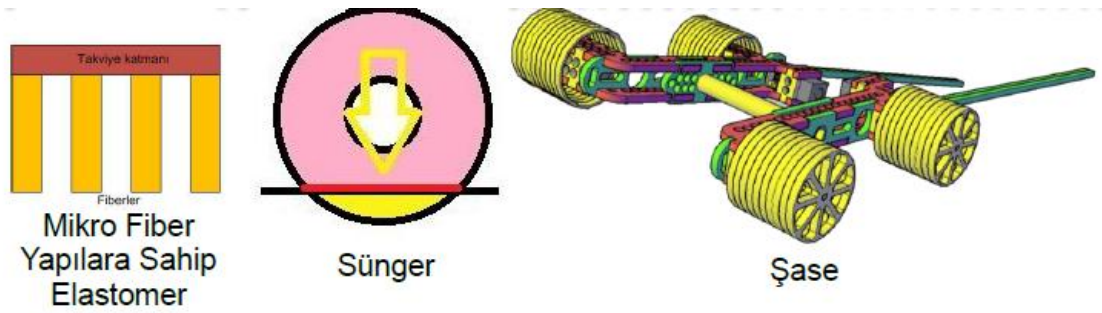
Şekil 2.6. Lufthansa Technic NDT robotu

Yapısal hasar tespiti çalışmalarında örneklenen sistemler anlık bilgi akışı sağlamaktadır. Bu bilgiler yer istasyonunda tecrübeli teknisyenler tarafından değerlendirilmektedir. Yer istasyonuna sağlanan bilgiler canlı gün ışığı veya termal kamera olmasının yanında eddy current testi için gerekli takımlar da olabilmektedir.



Şekil 2.7. Ferromanyetik paletli robot

Ülkemizde de bu konuda benzer çalışmalar yapılmıştır. Yüksek lisans tezi kapsamında ferromanyetik yüzeylere tırmanabilen robot tasarımı (Ünver ve Yasan, 2013) gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7). Paletleri üzerine mıknatıslar yerleştirilmiştir. Bu şekilde ferromanyetik yüzeylere tutunabilmektedir. Kontrol sisteminde Arduino programlama kartı kullanılmıştır. Kablosuz veri aktarımı için Xbee kartı ve motor sürücü kartı olarak Ardumoto kartı kullanılmıştır. Üzerindeki bu elektronik donanımlar ve dahili bataryaları ile kablosuz olarak görev yapabilmektedir. Bu robot, yakıt tankları, metal bacalar, gemiler gibi yüzeylere mıknatıs ile tutunup, paletleri vasıtasıyla ilerleyerek yüzeylere tırmanabilmektedir.



Şekil 2.8. Elestomer bantlı robot

Ülkemizde yapılan bir diğer çalışma ise robotun elestomer bantlar kullanılarak (Şekil 2.8) (Ünver ve Çalış, 2013), cam, cilalı ahşap, boyalı duvar gibi yüzeylere tırmanması üzerinedir. Bu sistemi diğerlerinden ayıran en önemli faktör boyutlarının çok küçük olabilmesidir. Ayrıca bu yapışma tipinde güç tüketimi de çok düşük olmaktadır. Bir diğer olumsuz yönü ise özellikle ters yüzeylere yapışma süresi çok kısa olmaktadır. Elestomer yapışma ihtiyaç duyulan yüzey kavramasını ve ağırlığı sağlamamaktadır.

Tez kapsamında yapılan literatür araştırması prototip ortaya çıktıktan sonra tekrarlanmış ve proje sürecinde ortaya konulan çalışmalarda bu bölüme eklenmiştir. Tez çalışması ile benzerlik gösteren bir sisteme ait bilgiler ve uygulama videosu internet üzerinden yayınlanmıştır. Söz konusu çalışma Lulea Teknoloji Üniversitesi tarafından yapılmıştır (Şekil 2.9). Cranfield Havayolları'na ait bir uçak üzerinde de gösterilmiştir (Şekil 2.10). Yapılan bu çalışma ile tez projesinin en büyük farkı itki sistemlerinin sağladığı kuvvettir. Tez çalışmasında geliştirilen prototip çok daha yüksek ağırlıkları taşıyabilecek yapıdadır. Buna ek olarak tasarlanan sistem işaretleme de yapabilmektedir.



Şekil 2.9. Lulea Teknoloji Üniversitesi robotu

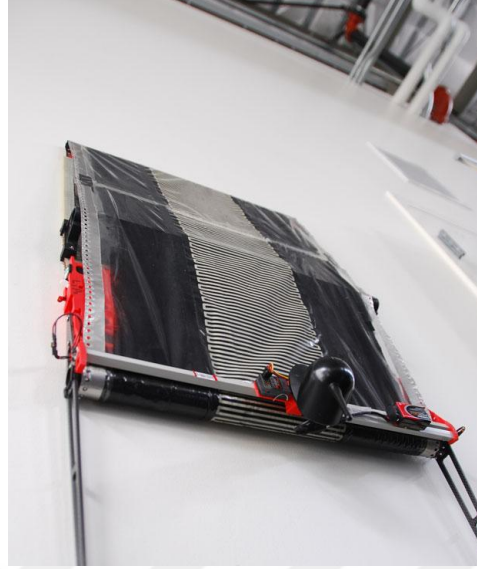


Şekil 2.10. Lulea Teknoloji Üniversitesi robotu uçak üzeri operasyonu

Yapılan araştırmalar sonucunda bilinen mekanik yöntemlerin dışında elektro yapışkan yöntemler kullanarak yüzeye tutunma yöntemi bulunmuştur. Yöntem olarak bilinen bir yöntemdir. Ve birçok tez çalışması yapılmıştır. Bunlardan başlıcaları yüzey yapısı ve tutunma arasındaki ilişkinin araştırılmasıdır (Guo ve ark., 2016).

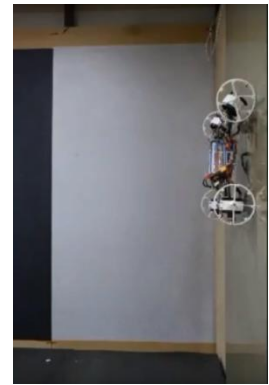
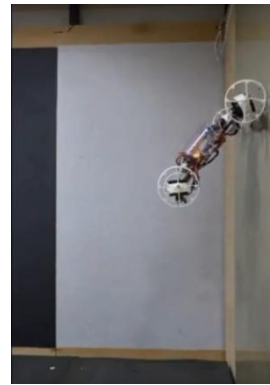
Grabit firması literatürdeki bilgi birikimini kullanarak elektro yapışkan robot parmakları ve dik açılı konveyör sistemleri geliştirmiştir (Ackerman, 2014). Bu teknoloji ile ayrıca duvara tırmanabilen robot tasarımları ve prototipleri de yapılmıştır (Şekil 2.11). Prototip incelendiğinde herhangi bir vakum ya da pervanelerden oluşacak itki kuvveti olmaksızın sistemin elektrik gücüyle artı ve eksi yüklerin dağılımını

kullanarak yüzeye yapıştığı görülmektedir. Sistem, bant şeklinde yapılmış elektro yapışkan yüzeyin motorlarla tahrik edilmesi sonucu ilerleme hareketi yapmaktadır.



Şekil 2.11. Grabit robotu


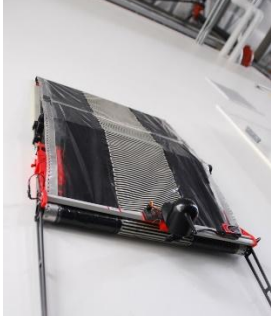
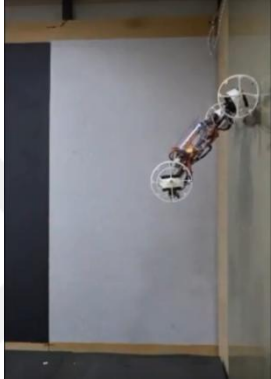
Araştırmalar sonucunda genelde sadece tırmanma özelliği olan sistemler ile karşılaşılmıştır. Ancak tüm sistemlerden farklı olarak dördöner insansız hava aracı ve tırmanabilen robot arasında dönüşüm yapabilen, bu sayede iki sisteminde faydalarından yararlanabilen çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalar da ilkel prototiplerden başlayarak yıllar içerisinde geliştirilmiştir. Son halinde uçuşa başladıktan sonra yüksekte herhangi bir eğimde yüzeye açısı değiştirilebilen fan motorlar aracılığıyla yapışan KAIST Urban Robotics Lab tarafından tasarlanan bir prototip ile gösterim yapılmıştır. Şekil 2.12’de prototipin sırasıyla uçarken, pozisyon değiştirirken ve duvara tutunduğundaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.12. Fan motorlu uçan ve tırmanabilen robot tasarımı

Çizelge 2.1. Literatür karşılaştırma tablosu

Marka	Resim	Kullanım Alanı	Tutunma Şekli	Çalışmanın Son Durumu
SERBOT		Güneş Enerjisi Paneli Temizliği	Vakumlu	Ürün
IPCEagle		Gökdelen Temizliği	Pervane Destekli Askılı	Ürün
Disney Vertigo		Eğlence	Pervane İtkisi	Prototip
City Climber		Araştırma	Vakumlu	Prototip
Drone İle Tespit		Uçak Yapısal Muayene	Motorlar Yardımı ile Uçan	Ürün
Vakumlu Sistemler		Uçak Yapısal Muayene	Vakumlu Ayaklarla Tutunma	Ürün
Ferromanyetik Sistemler		Metal Siloların Muayenesi	Mıknatısla Tutunma	Ürün
Elestomer Paletli Sistemler		Deneysel Amaçlı	Elestomer Bant Yüzey Enerjisi ile Tutunma	Prototip

Lulea Teknoloji Üniversitesi		Uçak Yapısal Muayene	Dairesel Kanallı Fan Motor İtkisi	Prototip
Grabit		Deneysel Amaçlı	Elektro yapışkan yüzey	Prototip
KAIST Urban Robotics Lab		Deneysel Amaçlı	İtki kuvvetinin açısı değiştirilebilen dairesel kanallı fan motor itkisi	Prototip

2.2. Uygulanan Alternatif Yöntemlere Göre Avantaj ve Dezavantajları

Literatür araştırması bölümünde detaylandırıldığı gibi havacılık sektöründe drone ile yapısal hasar tespit muayenesi yapılması konusu gündemde olan üzerine geliştirmeler yapılan bir konudur. Tezde tasarım ve prototipleme gerçekleştirilen robotik sistem, drone ile yapısal hasar tespiti konusuna alternatif ve rakip bir sistemin incelenmesi ve karşılaştırması olarak araştırılmıştır.

Bu başlık altında iki sistemin konsept tasarımı yapılırken birbirine göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir (Çizelge 2.2).

Sistemlerin ilk farklılık gösterdiği konu çalışma çevreleri olarak belirtilebilir. Çünkü yapısal muayenenin yapılacağı apron sahasında rüzgar hızları yüksek olmaktadır. Drone sistemleri muayene işlemini uçarak gerçekleştirdiği için rüzgardan etkilenmektedir. Rüzgar ise sistemin uçuş dengesini ve fotoğraf kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ancak tez kapsamında yapılan prototip, serbestlik derecesi daha az olduğu için daha güvenli operasyon yapabilmektedir. Bir diğer husus ise yağmur ve sis

gibi görüş mesafesinin azaldığı şartlarda drone sisteminin uçağa uzaklığı dolayısıyla alınan görüntü kalitesinin bozulmasıdır. Tez kapsamında incelenen ürün ise incelenecek bölgeye yakınlığı nedeniyle görüş mesafesi ile ilgili sorunun etkisi azaltılmıştır.

İmalatı yapılan prototip, tespit edilen hataları tek bir tuş ile fiziksel olarak işaretleyebilmektedir. Bu sayede ilgili hasarın tamiri gerçekleştirileceği zaman hasarın konumunun bulunması çok kolay olmaktadır. İlgili işlemin, drone ile sağlanması daha zor ve uzun bir süreçtir. Ayrıca tezde yapılan prototip üzerine farklı faydalı yükler tasarlanarak yüzeydeki küçük göçüklerin algılanması sağlanabilecektir. Optik sınırlamalardan dolayı bu özelliğin drone ile sağlanması zor ve uzun bir süreçtir. Bir diğer fark ise drone sistemlerinde yüksek kinetik enerji ile dönen pervanelerin oluşturduğu risk ve harici olumsuz etkiler göz önünde bulundurulduğunda, tez kapsamında gerçekleştirilen prototipin daha güvenli ve kontrollü olduğu söylenebilir.

Drone sistemlerinin pilotajı için eğitim ve kullanım tecrübesi öne çıkmaktadır. Bu kapsamda personelin eğitim ve tecrübe ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Ancak tezde yapılan sistem tak ve çalıştır olarak nitelendirebilecek kolaylıkta, hiçbir eğitim ve tecrübeye ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir.

Drone sistemleri ulusal güvenlik açısından tehdit oluşturdukları için özel izin ve düzenlemelere tabi olarak uçuş ve operasyonları gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında farklı havalimanları ve ülkelerde gerçekleştirilecek operasyonlarda durum daha karmaşık bir hal almaktadır. Tüm bu süreçler muayene işlemi için ayrı bir iş yükü ve zaman kaybına neden olmaktadır. Geliştirilen prototip ise genel amaçlı bir robotik sistem olduğu için herhangi bir yönetmelik veya düzenlemeye takılmadan kolayca kullanılabilir.

İki proje tüm bu hususlar bir yana bırakıldığında projeler maliyet olarak da çok fazla farklılık içermektedirler. Bir drone sisteminin hangarın içerisinde muayene yapabilmesi için oluşan geliştirme maliyeti ve kullanılacak drone ait maliyetlerin toplamı tez kapsamında geliştirilen prototip maliyetinin yaklaşık 10 katına denk gelmektedir. Bu ise rekabetin çok sıkı olduğu havayolu sektörü için önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır.

Olay sosyal algı olarak değerlendirildiği zaman günlük yaşamın içine kadar giren ve çocukların artık uçurtma yerine drone uçurduğu bir sosyal yapıda, muayene işlemini drone ile yapmak marka değeri ve kurumsal pazarlama açısından pozitif bir etkiye sahiptir.

Son olarak uçak üzerinde görsel muayene için fotoğraflanması için iki sistemde farklı sürelerle ihtiyaç duymaktadır. Drone sistemi uçarak fotoğrafı yapması için tez kapsamındaki prototipe göre çok daha kısa bir sürede işlemi tamamlamaktadır. Süre olarak karşılaştırıldığında drone sistemi tezde yapılan prototipe göre avantajlı durumdadır.

Çizelge 2.2. Kullanılan muayene yöntemleri karşılaştırma tablosu

Muayene yöntemi / özellik	Hangarda incelenme zorunluluğu	Olumsuz hava koşullarından etkilenme	İş güvenliği riskleri	Yöntemin kullanımı için ön izin süreci var mı?	Muayene işlemlerinde kullanım durumu
Gözle muayene	Var	Var	En yüksek	Yok	Aktif olarak kullanılan muayene yöntemi
Dört döner ile muayene	Var	Var	Yüksek	Var	Yeni bir yöntem, kısıtlı kullanımı var
Vakumlu tutunma sistemi ile muayene	Var	Yok	Düşük	Yok	Yeni bir yöntem, kısıtlı kullanımı var
İtki ile yüzeye tutunan cihaz ile muayene	Yok	Yok	Çok düşük	Yok	Yeni bir yöntem, kullanımı mevcut değil

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Asgari Operasyon Şartları

Tez kapsamında yapılacak prototipin uçak üzerinde görevini yerine getirebilmesi için en önemli kriter cihazın farklı eğimlerdeki yüzeylerde çalışabilmesidir. Uçağın silindirik gövdesi göz önünde bulundurulduğunda 0-180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde sabit durabilmesi ve motorlarla hareket edebilmesi gerekmektedir.

Projede diğer önemli konu ise elektrik kesilmeleri gibi durumlarda prototipin kendini yedek bataryalardan da besleyebilmesidir. Kullanılacak lipo piller ağırlık olarak platformu ve motorları zorlamaması için yerden de beslenebilmelidir. Bu durumda çekilecek amper kablo ile taşınabilmeli ve tutunmaya yetecek kadar motorları besleyebilmelidir.

Platformda kontrol, komuta ve görüntü transferi için kablosuz bağlantı kullanılarak operasyon esnekliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda kontrol bağlantısı bluetooth, görüntü aktarımı ise wifi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Pervane ve fan itkisi sistemi kanatçıklarının insana zarar vermemesi açısından muhafaza tasarlanarak üretilmesi önemlidir. Prototip imalatında kullanılan fan sisteminin çevresi hazır olarak muhafazalı temin edilmiştir.

Ürünün harici ekipmanlara ihtiyaç duymaması mümkün olduğunca kompakt olması gerekmektedir. Bunun nedeni hem taşınabilir olması hem de herhangi bir dış enerji kaynağı olmadan operasyonu tamamlayabilmesidir. Bu yüzden sistem üzerinden ya da yerden kablo ile kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır.

Operasyon esnasında en önemli hususlardan birisi de yere görüntü aktarımıdır. Çünkü kullanıcı değerlendirmeyi bu görüntüler üzerinden yapacaktır. Sistemde kullanılan kamera wifi üzerinden yerdeki tablete görüntü aktarabilmektedir. Aktarılan görüntüler ayrıca kayıt edilerek sonradan izlenebilmektedir.

Hasarlı olarak tespit edilen noktaların daha sonra tamirinin yapılması amacıyla işaretlenerek bulunması kolaylaştırılmalıdır. Aksi takdirde hasarlı yerler tespit edilebile muayene sonrasında konumlarının bulunması ayrı bir zorluk olarak saha personelinin karşısına çıkacaktır. Bunu önlemek için sistemde bulunan ve iki servo tarafından kontrol edilen bir kol, tahta kalemi mürekkebini kullanarak hasarlı bölgenin yakınına gözle görülebilen bir işaret koymaktadır.

Platform ağırlığı bir kişinin taşıyabileceği sınır düşünülerek en fazla 10 kg ile sınırlandırılmıştır. Hareketler esnasında uçaktaki pitot tüpü satcom modülü gibi farklı engellerle çarpışmasını engellemek amacıyla ultrasonik sensörler konulmuştur.

Ayrıca tez kapsamında yapılan prototipte hafifliği sağlamak amacıyla ana taşıyıcı parçanın kompozit olması düşünülmüştür. Taşıyıcı plaka, balpeteği kompozit panelden yapılmıştır. Bağlantı elemanları ise eklemeli ve ileri imalat yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Bunun bir diğer avantajı olası yapısal hasarlanmalarda operasyon alanında bulunan üç boyutlu yazıcılar ile yedek parçalar üretilerek operasyonun kesintisiz devamı sağlanabilecektir.

3.2. Başarı Kriterleri

Tasarım ve üretim faaliyetleri belirli bir amaç için gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için önce problemin tanımlanması ve çözüm alternatiflerinin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen alternatif ile ilgili asgari operasyon şartları belirlenerek tasarım girdileri tanımlanmalıdır. Tasarımcı prototipi ortaya çıkardıktan sonra başarılı olup olmadığını ölçmesi, yaptığı çalışmanın değerini ve kullanıcının taleplerini karşılama kapasitesini değerlendirmesi büyük öneme sahiptir. Tez kapsamında da tasarlanan ve üretilen prototipin benzer şekilde asgari operasyon kriterlerine uygunluğunu değerlendirmek için başarı kriterleri tanımlanmıştır. İlgili kriterler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Doğrulama testlerinde bu maddelerin sağlanıp sağlanmadığı belirlenmiştir.

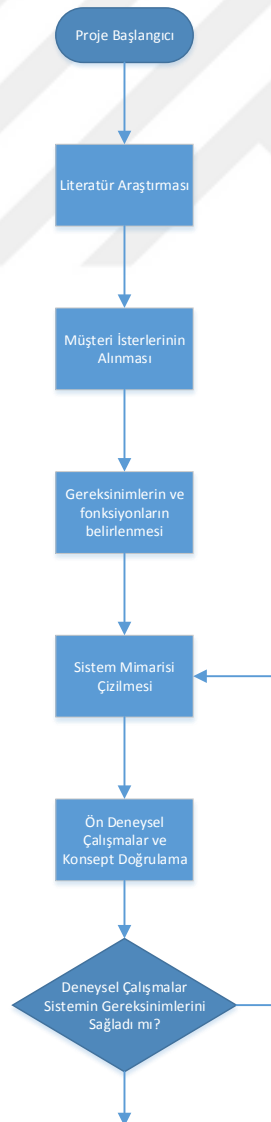
Çizelge 3.1. Başarı kriterleri tablosu

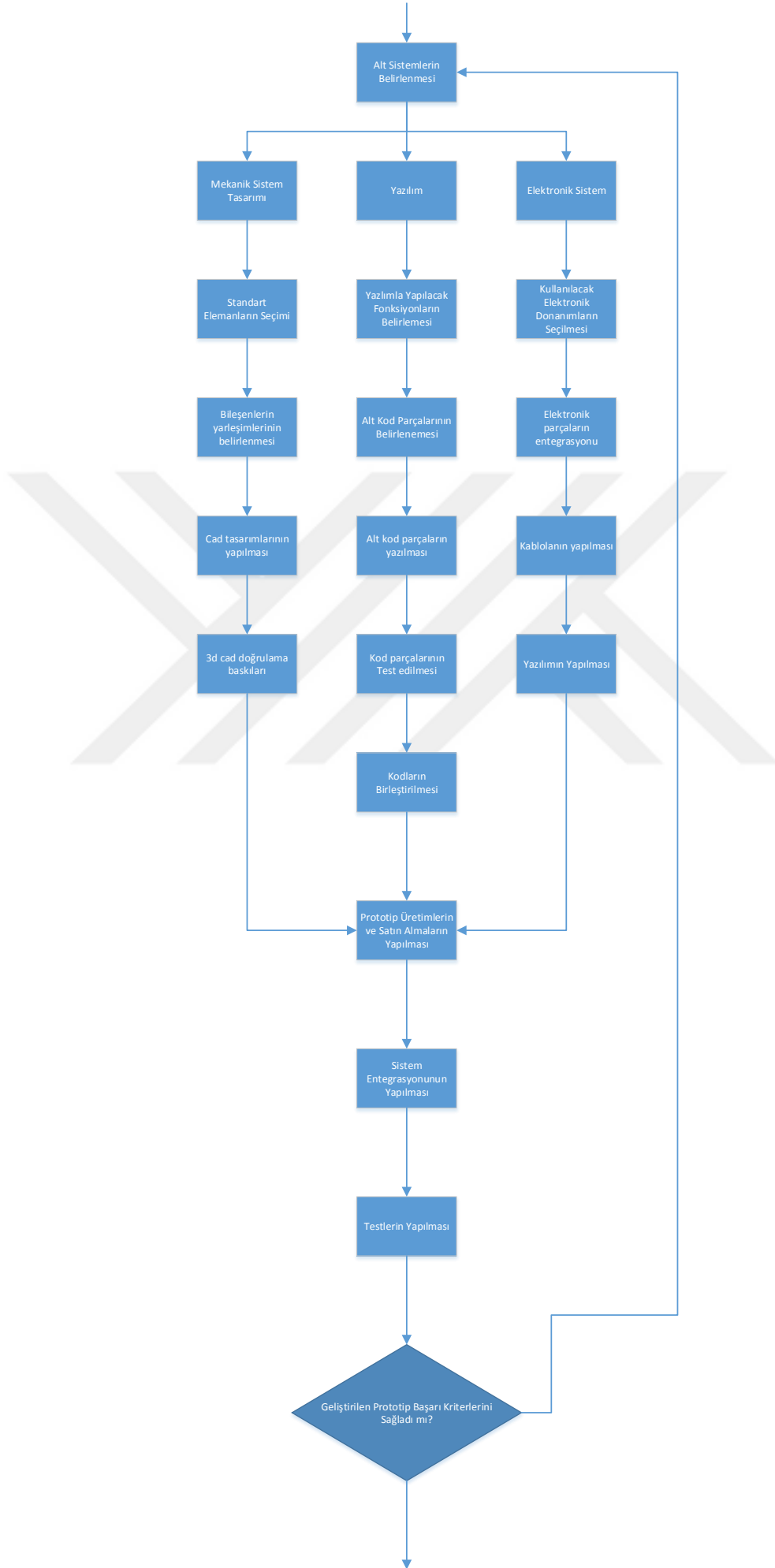
Başarı Kriterleri Tablosu
0-180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde sabit durmalı ve motorlarla hareket etmelidir.
500 gr payload taşınmalıdır.
Tam yüklü durumda ve 180 derece askıda iken yüzeye 1000 gr kuvvet uygulamalıdır.
Sistem uçak üzerine istenen noktalara silinebilir mürekkep ile işaret koymalıdır.
Güç sistemi yedekli olarak çalışmalıdır.
Platform ağırlığı 10 kg altında olmalıdır.
Yere anlık ve kablosuz olarak 1080x720 HD video aktarması yapabilmelidir.

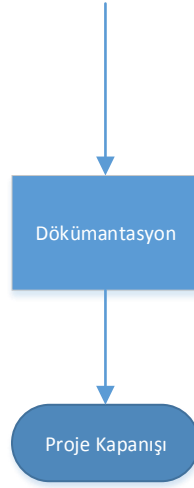
3.3. Tasarım Süreci

Fikirden ürüne giden süreç zorluklar ve engellerle doludur. Bu zorlukları aşmak mühendislik yaklaşımları ve yöntemleri ile mümkündür. Mühendislik araçları projenin yönetilmesi, katı modellerinin oluşturulması, bileşenlerin mekanik davranışlarının incelenmesi, prototiplerin oluşturulması gibi konular da hayati öneme sahiptir. Ürünün ortaya çıkmasında mühendislik araçlarının önemi kadar projenin planlanmasındaki yaklaşım da, sonucu etkileyen önemli faktörlerdendir.

Tez projesinde tasarım süreci planlanırken gereksinimler, ürün konsepti, çözüm konsepti, ön tasarım, detay tasarım ve üretim basamaklarından oluşan sistematik bir yol izlenmiştir (Şekil 3.1). Bu yaklaşım esas alınırken Engineering Design Process kitabından faydalanılmıştır (Haik ve Shahin, 2010).







Şekil 3.1. Tez kapsamında yapılan çalışmalar

Müşteri isteri belirlenirken sahada yapısal hasar tespiti yapan teknisyenlerle mülakatlar yapılmış ve problem tespit edilmiştir. Yapılan mülakatlar sonucunda teknisyenlerin etrafında ve üst kısımlarında çalışabilmek için iskeleleri uçağa yaklaştırmaları ve uçağın yolcu indirdiği yerden hangarlara çekilmeleri gerektiği bunların her birinin adam/saat olarak kayba neden olduğu ortaya çıkartılmıştır. Teknisyenlerden alınan problem detayları incelendiğinde uçak üzerine tırmanabilen bir sistem ile hangara çekilmesine gerek kalmadan muayene işleminin yapılabileceği bir çözüm konsepti geliştirilmiştir.

Çözüm konseptinin uçaklardaki muayene işlemlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- Farklı eğimlerdeki yüzeylerde hareket edilebilmelidir.
- Batarya ile kullanım sağlanabilmelidir.
- Cihaz tamamen kablosuz kullanılmalıdır.
- Pervaneler çalışanlar için en az risk oluşturacak şekilde korunmalıdır.
- Güç kesilmelerinde uçağa, kendine ve insana zarar vermemelidir.
- Açık kapalı her ortamda ve uzak uçak park alanlarında operasyon yapabilmelidir.
- Yere anlık görüntü aktarımı yapabilmelidir.
- Hataları işaretleyebilmelidir.
- Farklı yerlere taşınmasında kolaylık olması için ağırlığı az olmalıdır.
- Uçak üzerindeki engellere çarpmayacak şekilde sensörler barındırılmalıdır.

Yukarıdaki müşteri isterlerini karşılayabilmek için gerekli olan teknik isterler bir tablo halinde oluşturulmuştur (Çizelge 3.2). Bu sayede müşteri isterleri teknik istere dönüştürülmüş ve çıkacak nihai ürünün özelliklerinin ve tasarım kısıtlarının belirlenmesinde faydalı olmuştur.

Çizelge 3.2. Teknik ister dönüşüm tablosu

Teknik isterler	Operasyon isterleri
0-180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde sabit durabilmeli ve motorlarla hareket edebilmelidir.	Farklı eğimlerdeki yüzeylerde hareket edilebilmelidir.
Platforma dahili kaynaktan güç verilmelidir. İlgili kaynak payloadlar dahil tüm sistemi beslemeye yeterli olmalıdır.	Kablosuz kullanım sağlanmalıdır.
Platform wifi yada bluetooth ile yerden desteklenecektir.	Cihaz yerden kablosuz olarak kontrol edilebilmelidir.
Pervane dışına koruma yapılacaktır.	Pervaneler çalışanlar için en az risk oluşturacak şekilde korunmalıdır.
Yedekli güç kaynağı kullanılacaktır. Bu batarya kısa süreli enerji sağlayarak platformu güvenli bir konuma çekecektir.	Güç kesilmelerinde uçağa, kendine ve insana zarar vermemelidir.
Pit noktası vb. yerlerden beslenmemelidir. En kompakt biçimde tasarlanarak ek ünite ihtiyacı en az olmalıdır.	Açık kapalı her ortamda ve uzak uçak park alanlarında operasyon yapabilmelidir.
Yere anlık HD görüntü aktarımı sağlamalıdır.	Yere anlık görüntü aktarımı yapabilmelidir.
Sprey veya benzeri bir yöntemle silinebilir şekilde belirtilen yerlere işaret koyabilmelidir.	Hataları işaretleyebilmelidir.
LRU için maximum 10 kg sınırı göz önünde bulundurularak platform en fazla 10 kg olmalıdır.	Farklı yerlere taşınmasında kolaylık olması için ağırlığı az olmalıdır.
Ultrasonik veya endüktif sensörler ile ilerleme yönünde olaşı çarpışmalar engellenmelidir.	Uçak üzerindeki engellere çarpmayacak şekilde sensörler barındırılmalıdır.
Pervanelerden oluşacak titreşimler kamera ve platform bağlantılarında sönümleyiciler ile azaltılarak görüntü titreşimi azaltılmalıdır.	

Platform ağırlığını en aza indirmek için honeycomb kompozit paneller ya da ileri imalat yöntemleri kullanılarak üretim yapılmalıdır.	
--	--

Teknik isterler ve çıkacak prototipin mvp seviyesinde bir ürün olması bu sayede özellikle projenin olabileceği ve operasyon tarafından kullanımının katma değer üretilmesi hedeflenmiştir. Projenin fayda ve olabirliğini göstermesi açısından oluşturulacak prototip müşteri isterleri doğrultusunda yorumlanarak başarı kriterlerine dönüştürülmüştür. Bu kriterler belirlenirken sistemin hızlıca modellenmesi ön planda tutulmuştur. Uçak üzerindeki basınçlandırılan alanda tüm yüzeylerde hareket edebilmesi için prototip, 0 ile 180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde asılı durabilmeli ve hareket motorları sayesinde hareket edebilmelidir. Üzerinde, takılacak kamera ve işaretleme kol mekanizması düşünüldüğünde 500 gr faydalı yük taşıyabilmesi kriteri belirlenmiştir. Taşıdığı faydalı yükler sayesinde yer istasyonuna görüntü aktarımı yapabilecek ve istendiği takdirde işaretleme yapılabilecektir. Muayene işlemi sonrasında tespit edilen hasarların konumlarının bulunmasında işaretleme işlemi çok önemlidir. Aksi takdirde hasarın konumunun tespiti için teknisyenin tekrar zaman harcaması gerekecektir.

Sistem uçak üzerinde her konumda güvenle tutunabildiğinden emin olmak için yapışma açısının 180 derece olduğu durumlarda yüzeye en az 1kg kuvvet uygulaması gerekmektedir. Uçak üzerinde hat bakım süreçlerinde değiştirilebilen ve teknisyenin tek başına taşıyabildiği 4 MCU standardında bir elektronik kasanın limiti 10 kg olduğu için ortaya çıkacak ürününde en fazla 10 kg ağırlığında olması istenmektedir.

Görüntülerin yer istasyonunda incelenmesi ve hasar olup olmadığının net bir şekilde değerlendirilebilmesi için yere HD kalitede video aktarılması istenmektedir. Yukarıda da bahsedilen başarı kriterleri ürünün en son doğrulama testlerinde test kriterleri olarak dikkate alınacaktır.

Tez kapsamında eğimli yüzeylerde hareket edebilen birçok sistem araştırılmış ve incelenmiştir. Özellikle insan erişiminin zor olduğu yerlerde aktif bir şekilde kullanılan bu sistemlerin farklı yöntemler kullanarak tırmanma fonksiyonunu yerine getirdiği görülmüştür. Bunlardan bazıları yüzeyi vakumlayarak, bazıları ise elektro statik yapışma yöntemini kullanarak çalışmaktadır. Bazı özel firmalar ve üniversiteler pervane itkisi ile yüzeye yapışan ve bu itki esnasında vakum yapan sistemler üzerine

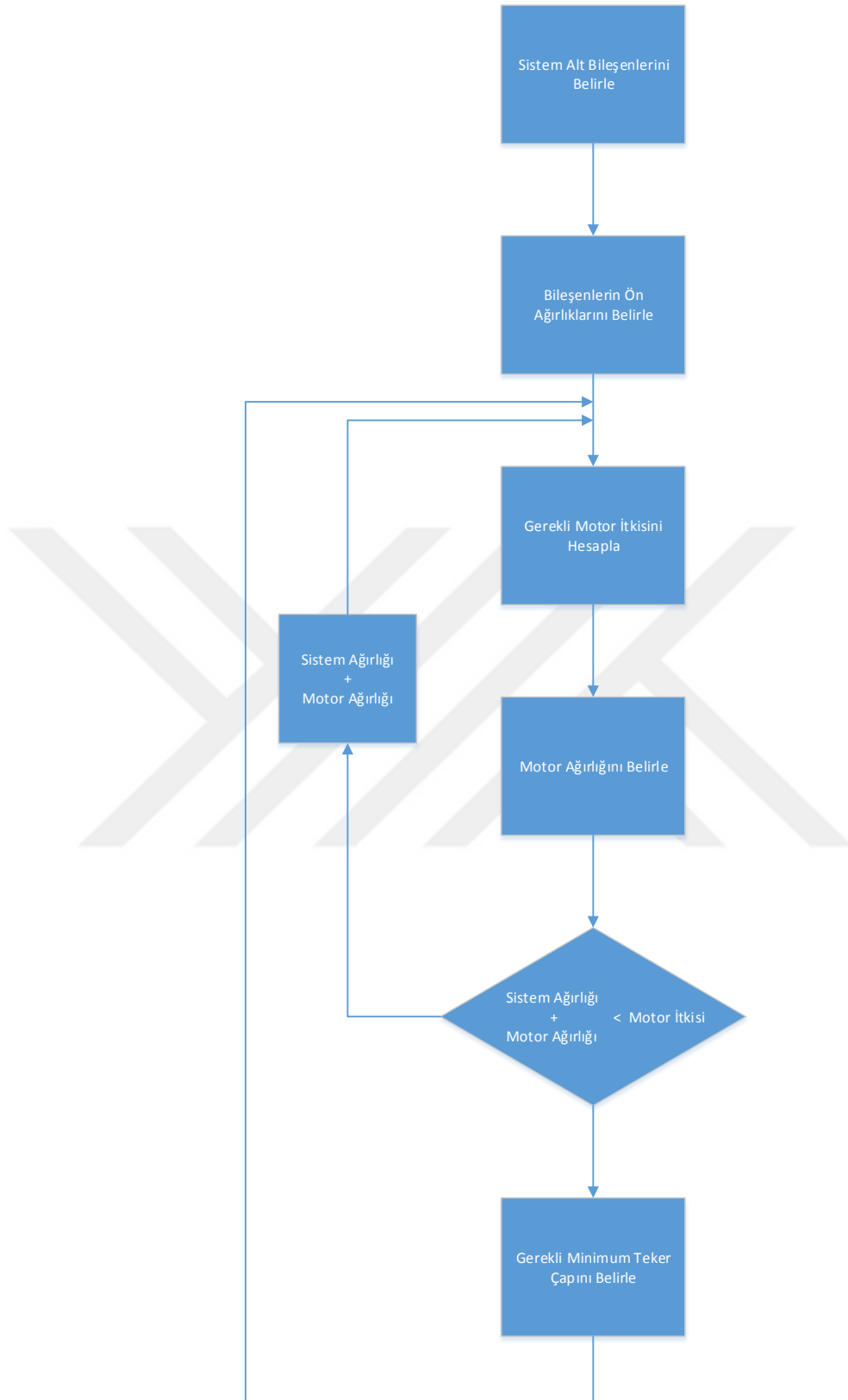
araştırmalarda bulunmaktadır. Ancak havacılık uygulamaları için çok yeni bir uygulama olarak karşılaşılan ve literatürde örneğine ender rastlanan bir uygulama olduğu araştırmalar sonucuna görölmüştür.

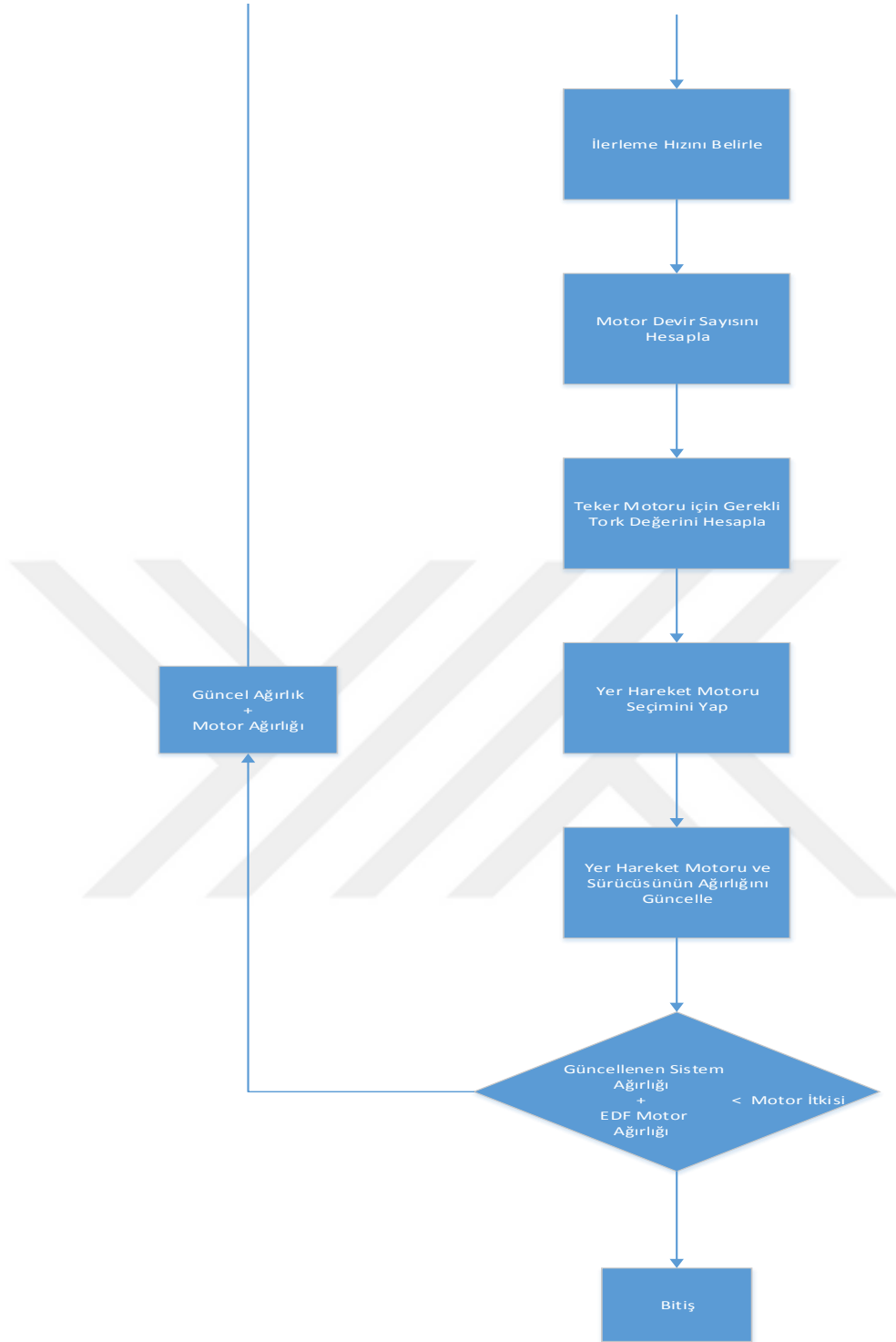
Proje kapsamında problemin analizinden ürünün testine kadarki sürede mühendislik yaklaşımı ile konular ele alınmış ve titizlikle her adım yerine getirilmiştir. Tasarım odaklı düşünme yönteminin en temel ve onu diğer yöntemlerden ayıran farkı olan insan odaklı olmak ilkesi ile operasyon yapan personelden sorunlar dinlenerek projeye başlanılmıştır. Bunun akabinde problemleri gidermek için olacak fonksiyonlar belirlenmiştir. Fonksiyonların projenin girdilerine dönüştürülmesi ise fonksiyon-teknik ister dönüşümü ile sağlanmıştır. Teknik isterler hem detay tasarım girdilerini oluştururken diğer yandan da proje sonunda başarı seviyesini belirleyecek kriterleri ortaya çıkartmaktadır. Projede tüm bu süreçler için Şekil 3.1 takip edilmiştir.

Tasarım sürecinde bilgisayar destekli tasarım programı olan SOLIDWORKS programı ve yapısal parçaların analizinde ANSYS programı aktif olarak kullanılmıştır. Bu programlar vasıtasıyla tasarlanan bileşenler ileri imalat tekniği olan katmanlı imalat teknolojisi ile üretilmiştir. Katmanlı imalat teknolojisi olarak eriyik yığma modelleme (FDM) yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni erişimi diğer yöntemlere nispeten kolay olduğu için tasarım iterasyonlarının hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir.

3.4. Hesaplamalar

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalara ait algoritma Şekil 3.2’de detaylı olarak verilmiştir. Tablonun akabinde, çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara yer verilmiştir.





Şekil 3.2. Hesaplama algoritması

Çizelge 3.3. Ön ağırlık tahmin tablosu

Bileşen	Adet	Malzeme	Birim (gr)	Toplam (gr)
Yer hareketi	1	Motor sürücü	20	20
	2	Teker	10	20
	2	Hareket motoru	20	40
	2	Bağlantı aparatı	15	30
	1	Sarhoş teker	30	30
Kontrol kartı	1	Nano	36	36
	1	Bluetooth	8	8
	1	IMU	7	7
	2	Çarpışma sensörü	9	18
İtki Sistemi	2	Dairesel Kanallı Fan @5 kg	500	1000
	2	ESC @120 A	190	380
Payload	1	Kamera	64	64
	1	Gimbal	25	25
	1	İşaretleyici	40	40
	1	Diğer	1071	1071
Güç Sistemi	1	İletim Hatları	100	100
Mekanik Gövde	1	Ana Şase	200	200
			Toplam	3089

3.4.1. Dairesel kanallı fan motoru hesabı

Geliştirilen prototipin gelecekte farklı görevler için daha ağır faydalı yükler taşıyabilmesi hedeflenerek 10 kg'lık (98,1 N) itki üretecek 2 adet dairesel kanallı fan kullanılmıştır. 2 adet kullanılmasının amacı ayrı güç kaynağı ile beslenerek olası güç kesilmelerine karşı sistemi güvenli hale getirebilmektir.

Motorun ait teknik bilgiler aşağıdaki gibidir:

Besleme gerilimi : 22,2v(6s)

Maximum Amper: 115A

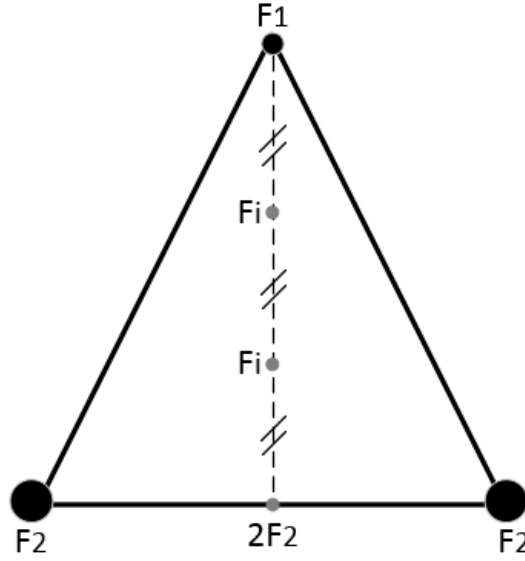
Watts: 2550 watts

İtki: 5000g @ 115A

ESC: 150A

Tek Motorun Ağırlığı : 495g

Sistemin tahmini toplam ağırlığı $W=3089\text{gr}=30,3\text{N}$ 'dır.

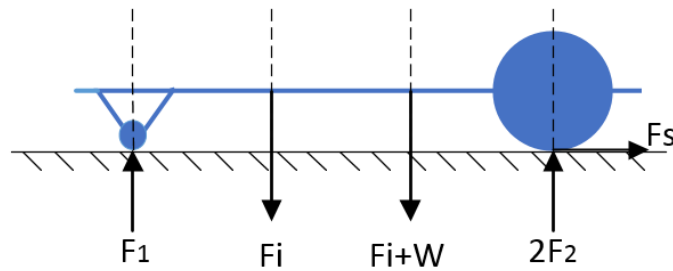


Şekil 3.3. Platformun üstten görünüşü

Cihazın hareketi için kullanılan tekerler eşkenar üçgen oluşturacak şekilde cihaza yerleştirilmiştir. F_i 'lik itki üreten dairesel kanallı fanlar Şekil 3.3'de gösterilen noktalara yerleştirilmiştir.

Sistemin üç farklı durumda yüzeye tutunabilmesi için gerekli olan minimum itki kuvvetinin hesaplanması;

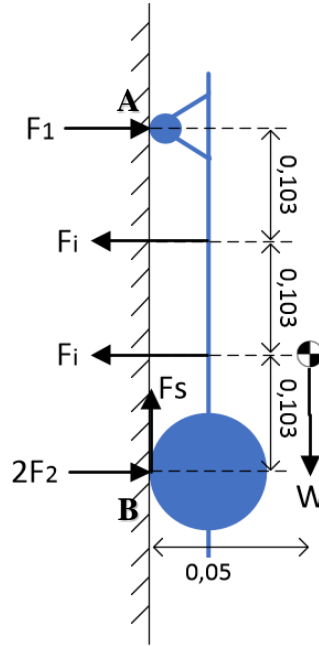
➤ 0° için;



Şekil 3.4. 0° için serbest cisim diyagramı

Şekil 3.4'de gösterilen durumda cihazın yüzeye tutunması, itki kuvvetinin hiç olmaması halinde dahi mümkündür.

➤ 90° için;



Şekil 3.5. 90° için serbest cisim diyagramı

Cihazın duvara tırmanma (90°) esnasında üzerinde oluşan kuvvetler Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Sistemin ağırlık merkezinin yüzeye uzaklığı yaklaşık olarak 50mm (0,05m) olarak alınmıştır (kauçuk-paslanmaz çelik yüzey için $\mu=0,64$).

Şekil 3.5’de sarhoş tekerin yüzeye değdiği noktaya göre (A noktası) moment alınırsa;

$$0,103F_i + 0,206F_i + 0,05W = 0,309.2F_2 \quad (3.1)$$

Sistemin toplam ağırlığı ($W=30,3N$) denklem (3.1)’de yerine yazıldığında,

$$0,309F_i + 0,05.30,3 = 0,618F_2$$

$$0,618F_2 = 0,309F_i + 1,515 \quad (3.2)$$

elde edilir.

Şekil 3.5’de hareket tekerinin yüzeye değdiği noktaya göre (B noktası) moment alınırsa;

$$0,103F_i + 0,206F_i = 0,309.2F_1 + 0,05W \quad (3.3)$$

Sistemin toplam ağırlığı ($W=30,3N$) denklem (3.3)’de yerine yazıldığında,

$$0,309F_i = 0,618F_1 + 0,05.30,3$$

$$0,618F_1 = 0,309F_i - 1,515 \quad (3.4)$$

elde edilir.

Denklem (3.2)'den (3.4) çıkarılırsa;

$$0,618F_2 - 0,618F_1 = 3,03 \quad (3.5)$$

elde edilir.

Şekil 3.5'de sisteme etki eden yatay kuvvetler toplamı "0" olacağı için;

$$F_1 + 2F_2 = 2F_i \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir.

Denklem (3.6) "0,618" ile çarpılırsa;

$$0,618F_1 + 1,236F_2 = 1,236F_i \quad (3.7)$$

elde edilir.

Denklem (3.5) ile (3.7) toplanırsa;

$$1,854F_2 = 1,236F_i + 3,03$$

$$F_2 = 0,67F_i + 1,63 \quad (3.8)$$

F_2 kuvvetine ait eşitlik elde edilir (denklem 3.8).

Şekil 3.5'de sisteme etki eden dikey kuvvetler toplamı "0" olacağı için;

$$F_s = W$$

eşitliği elde edilir. Sürtünme kuvveti (F_s), yüzey ve teker arasındaki sürtünme katsayısı (μ) ile yüzeyin B noktasında tekere uyguladığı kuvvetin ($2F_2$) çarpımı olarak ifade edilirse,

$$\mu \cdot 2F_2 = W \quad (3.9)$$

olur. Sürtünme katsayısı $\mu=0,64$ (kauçuk-paslanmaz çelik yüzey için), sistem ağırlığı $W=30,3N$ ve F_2 kuvveti için elde edilen denklem (3.8), denklem (3.9)'da yerine yazıldığında,

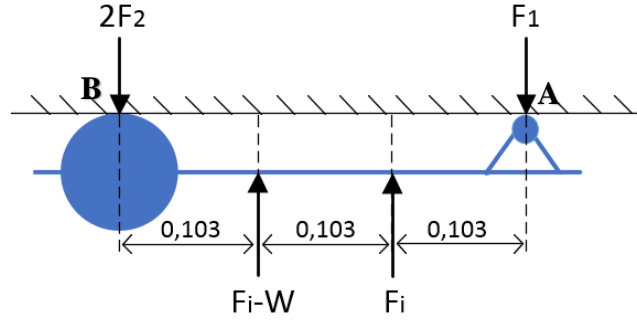
$$0,64 \cdot 2 \cdot (0,67F_i + 1,63) = 30,3$$

$$0,86F_i + 2,09 = 30,3$$

$$F_i = 32,8 N \quad (3.10)$$

olarak bulunur.

➤ 180° için;



Şekil 3.6. 180° için serbest cisim diyagramı

Cihazın tavana tutunması (180°) esnasında üzerinde oluşan kuvvetler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Şekil 3.6'da sarhoş tekerin yüzeye değdiği noktaya göre (A noktası) moment alınır;

$$0,309.2F_2 = 0,206(F_i - W) + 0,103F_i \quad (3.11)$$

elde edilir.

Sistemin toplam ağırlığı ($W=30,3N$) denklem (3.11)'de yerine yazıldığında,

$$0,618F_2 = 0,206F_i - 0,206.30,3 + 0,103F_i$$

$$0,618F_2 = 0,309F_i - 6,24$$

$$F_2 = 0,5F_i - 10,1 \quad (3.12)$$

F_2 kuvvetine ait eşitlik elde edilir (denklem 3.12). Bu durumda cihazın yüzeye tutunabilmesi için uygulanması gereken en küçük itki kuvveti $F_2=0$ olduğunda bulunan değerdir. Bu değer denklem (3.12)'de yerine yazılırsa;

$$F_i = 20,2 N \quad (3.13)$$

olarak bulunur.

Şekil 3.6'da hareket tekerinin yüzeye değdiği noktaya göre (B noktası) moment alınır;

$$0,309F_1 = 0,206F_i + 0,103(F_i - W) \quad (3.14)$$

elde edilir.

Sistemin toplam ağırlığı ($W=30,3N$) denklem (3.14)'de yerine yazıldığında,

$$0,309F_1 = 0,206F_i + 0,103F_i - 0,103.30,3$$

$$0,309F_1 = 0,309F_i - 3,12$$

$$F_1 = F_i - 10,1 \quad (3.15)$$

F_1 kuvvetine ait eşitlik elde edilir (denklem 3.15). Bu durumda cihazın yüzeye tutunabilmesi için uygulanması gereken en küçük itki kuvveti $F_1=0$ olduğunda bulunan değerdir. Bu değer denklem (3.15)'de yerine yazılırsa;

$$F_i = 10,1 N \quad (3.16)$$

olarak bulunur.

Yukarıda verilen tüm durumlar için itki kuvvetleri hesaplanmış ve cihazın yüzeye tutunabilmesi için gerekli olan itki kuvvetinin en az $F_i=32,8N$ olması gerektiği bulunmuştur. Prototip için seçilen dairesel kanallı fan $F_i=49N$ 'luk itki kuvveti üreterek tüm durumlarda yüzeye tutunabilme sağlamaktadır.

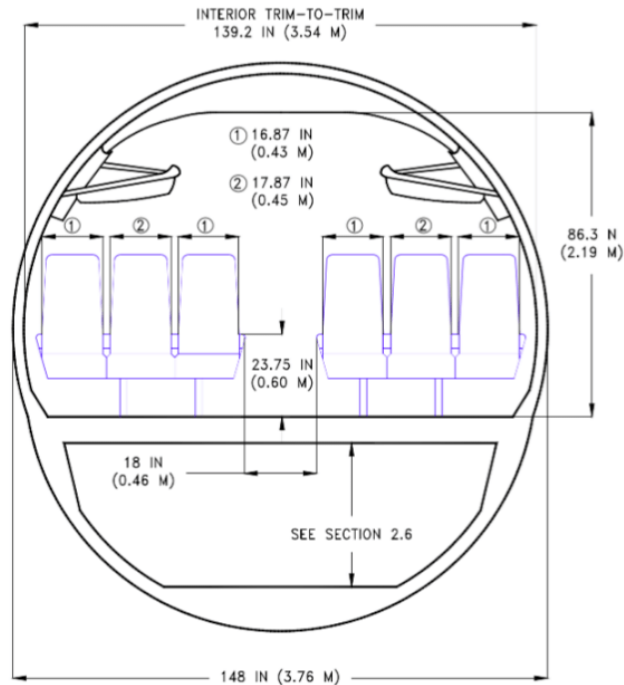
Seçilen motor itkisinin toplam ağırlıktan büyük olma durumu kontrol edildi;

Sistem ağırlığı + (Motor ağırlığı + ESC ağırlığı) < Seçilen motor itkisi

$$1,709.9,81 + 1,380.9,81 < 98,1$$

$$30,3 < 98,1$$

3.4.2. Gerekli minimum teker çapı



Şekil 3.7. B737'ye ait kabin kesiti

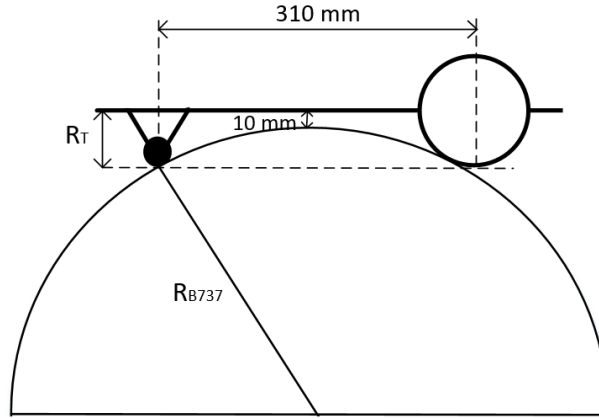
Bir B737 uçağının gövde çapı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi;

$$D_{B737} = 3,76 m$$

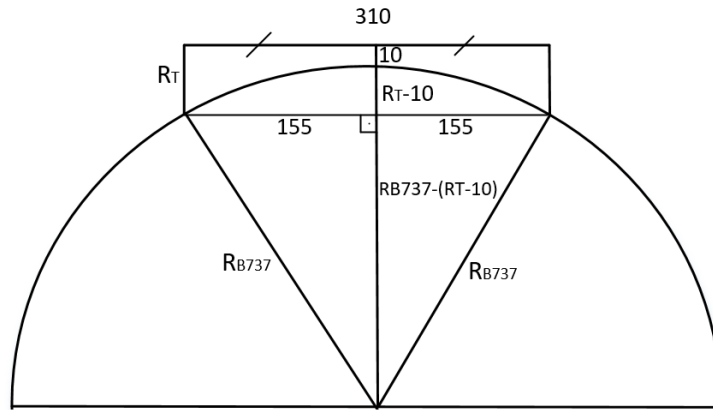
$$R_{B737} = 1,88 m = 1880 mm$$

olarak verilmektedir.

Cihazın operasyon esnasında uçak üzerindeki temsili görünümü Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Tekerlerin uçak yüzeyine değmesi ve cihaz platformunun uçakla arasındaki mesafenin 10mm olması planlanmıştır. Bu gereklilikler geometrik olarak Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Cihazın B737 uçağı üzerindeki temsili gösterimi



Şekil 3.9. Teker çapı hesaplarının geometrik gösterimi

Şekil 3.9’da oluşturulan üçgen için Pisagor teoremi uygulanırsa;

$$155^2 + (R_{B737} - (R_{Tmin} - 10))^2 = R_{B737}^2 \quad (3.17)$$

elde edilir. Burada B737 uçak gövde yarıçapı ($R_{B737}=1880mm$) değeri yerine yazılırsa;

$$155^2 + (1880 - R_{Tmin} + 10)^2 = 1880^2$$

$$(1890 - R_{Tmin})^2 = 1880^2 - 155^2$$

$$1890 - R_{Tmin} = 1873,6$$

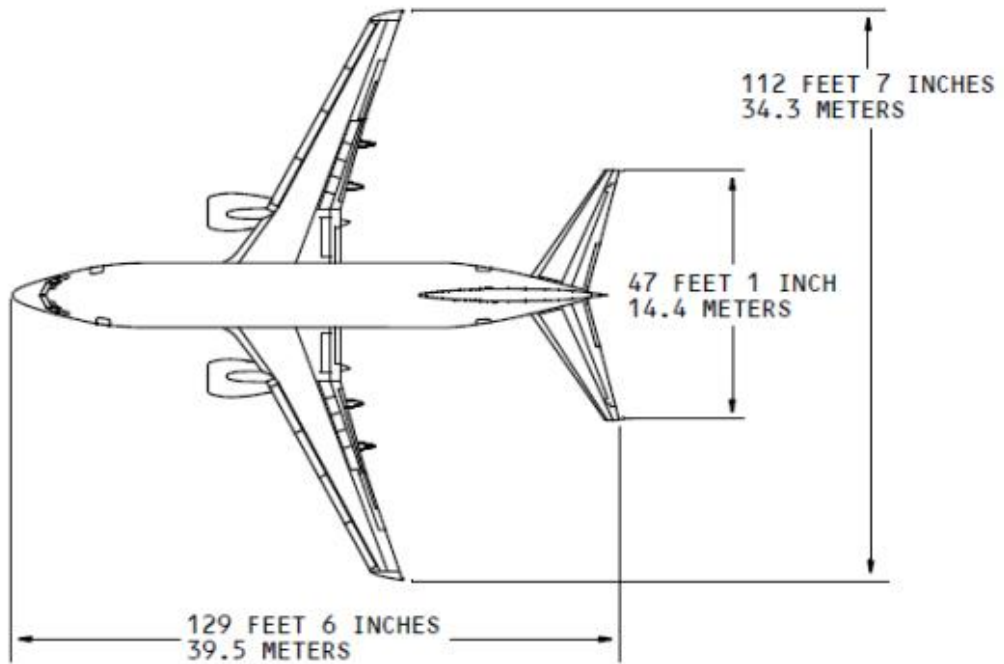
$$R_{Tmin} = 16,4 \text{ mm}$$

$$D_{Tmin} = 32,8 \text{ mm} \cong 33 \text{ mm} \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

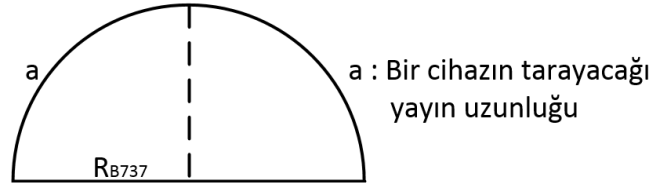
Yapılan hesaplamalarda teker çapının en az 33 mm olması gerektiği bulunmuştur. Standart ürünleri araştırdığımızda rastlanan en yakın ürün 46 mm çapında olduğu için prototipte bu ürün kullanılmıştır.

3.4.3. İlerleme hızının belirlenmesi



Şekil 3.10. B737 uçağına ait boyut bilgileri

Operasyonun uçuş arasında gerçekleştirilmesi gerektiği için tahmini olarak 30 dakika içinde uçağın üst yarım gövdesinde (Şekil 3.10) 4 adet cihaz kullanılması ön görülmektedir. Cihaz üzerinde kullanılacak kamera ile 50 cm genişliğinde bir alan taranmaktadır.



Şekil 3.11. Bir cihazın tarayacağı alana ait geometrik gösterim

Operasyon esnasında bir cihaz uçak gövde kesitinin $\frac{1}{4}$ 'lük kısmını tarayacağı için bu kısmın uzunluğu hesaplanırsa (Şekil 3.11);

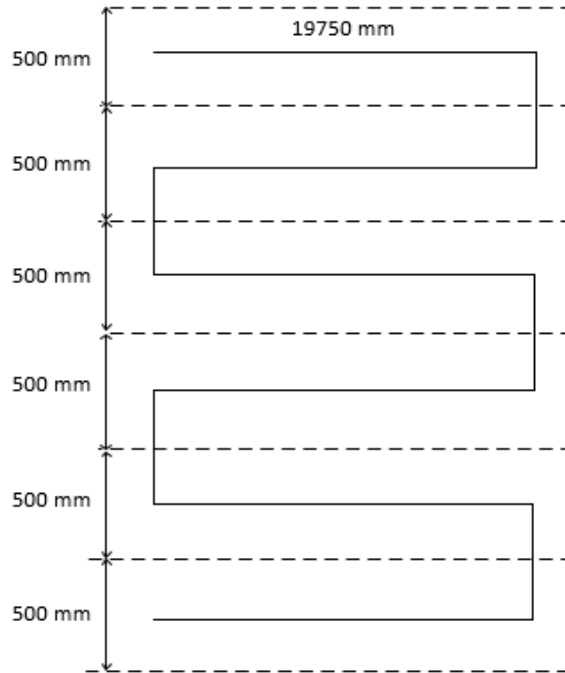
$$a = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{B737}}{4}$$

$$a = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1880}{4}$$

$$a = 2953 \text{ mm}$$

olarak bulunur.

(3.19)



Şekil 3.12. Bir cihazın aldığı toplam yola ait temsili gösterim

Bir cihaz 39500mm uzunluğundaki B737 uçağının yarısını (19750mm) ve 2953mm yay uzunluğundaki bir alanı tarayacaktır. Tarama işlemi esnasında hareketine

ait temsili gösterim Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Buna göre bir cihazın operasyon boyunca gideceği toplam yol;

$$x = (6.19750) + (5.500)$$

$$x = 121000 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Bir cihazın operasyon süresinin 30 dakika (1800s) olması planlanmaktadır. Bu durumda cihazın hızı;

$$x = v \cdot t$$

$$121000 = v \cdot 1800$$

$$v = 67,2 \text{ mm/s} \quad (3.20)$$

olarak hesaplanır.

3.4.4. İlerleme motorunun devir hesabı

Cihazın hızından motor devrine geçilirse,

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_T \cdot n}{60} \quad (3.21)$$

elde edilir.

Cihazın hızı (67,2mm/s) ve prototipte kullanılan teker yarıçapı (23mm) denklem (3.21)’de yerine yazılırsa;

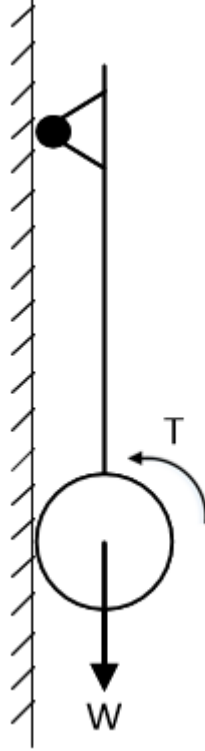
$$67,2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 23 \cdot n}{60}$$

$$n = 27,9 \text{ dev/dk} \cong 28 \text{ dev/dk} \quad (3.22)$$

olarak bulunur.

3.4.5. İlerleme motoru için gerekli tork değeri hesabı

Tekerin boyut ve ağırlığı dolayısıyla yuvarlanma direnci ihmal edilmiş ve kayma olmadığı durumlar için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. 90° eğime tırmanmak için gerekli torkun gösterimi

Cihazın duvara tırmanma esnasında (Şekil 3.13) 0,5s 'de 67,2mm/s hıza ulaşması için gerekli tork hesabı;

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F - W = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.23)$$

Sistemin toplam kütlesi ($m=3,09$), ağırlığı ($W=30,3N$), cihazın ilerleme hızı ($v=67,2mm/s=0,0672m/s$) ve bu hıza ulaşması için gerekli süre ($t=0,5s$) denklem (3.23)'de yerine yazıldığında,

$$F - 30,3 = 3,09 \cdot \frac{0,0672}{0,5}$$

$$F - 30,3 = 0,415$$

$$F = 30,72 N \quad (3.24)$$

olarak bulunur. Tork formülü kullanılarak hesaplamalara devam edilirse;

$$T = F \cdot R_T$$

$$T = 30,72 \cdot 0,023$$

$$T = 0,71 N \cdot m = 7,24 kg \cdot cm \quad (3.25)$$

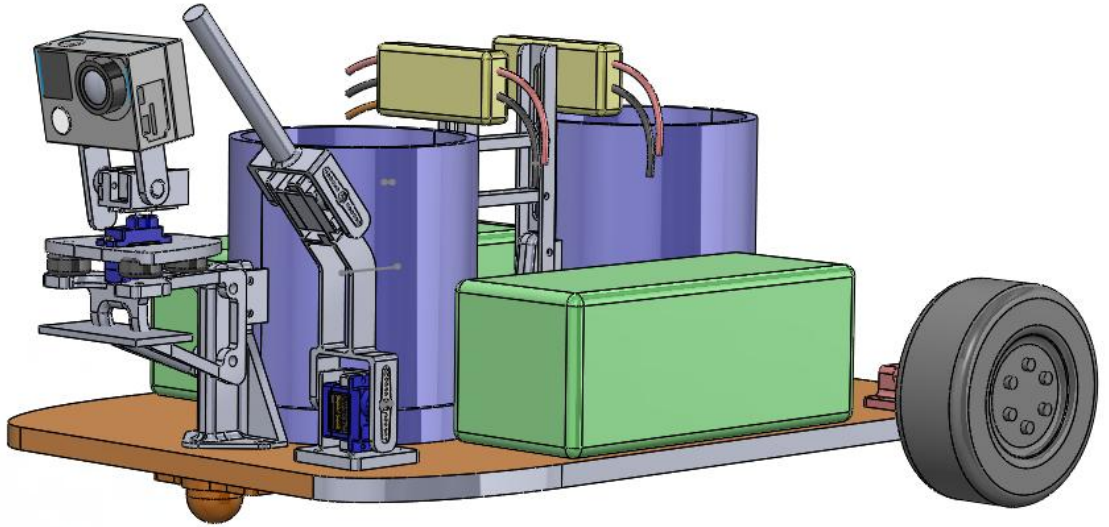
olarak hesaplanır.

Standart ürünler üzerine yapılan araştırmalar sonucunda, hesaplamalarda elde edilen devir ve tork değerlerini sağlayan motorlar arasından 12 V besleme gerilimi, 32 rpm devir ve 9 kg.cm torca sahip bir motor seğilmiştir.

3.5. Katı Modelleme

Tez projesi kapsamında sistemin tamamı Solidworks programı aracılığıyla katı model olarak tasarlanmıştır. Katı model oluşturulurken iki tip modelleme ihtiyaçı ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi hazır kullanılan parçalardır. Hazır kullanılan parçalar için yaklaşık en dış boyutlarıyla kaba bir modelleme yapılmıştır. İkincisi ise prototip için tasarımı yapılmış parçalardır. Bu parçalar detaylı bir şekilde ileri imalat yöntemlerinden birisi olan katmanlı imalat teknolojisiyle üretim kriterleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

Prototipe ait genel model şekil 3.14’de gösterilmiştir.

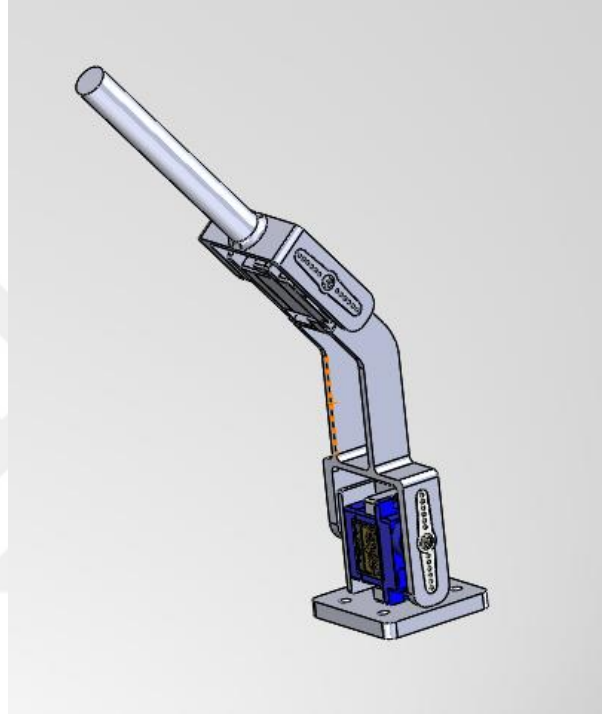


şekil 3.14. Genel görünüm

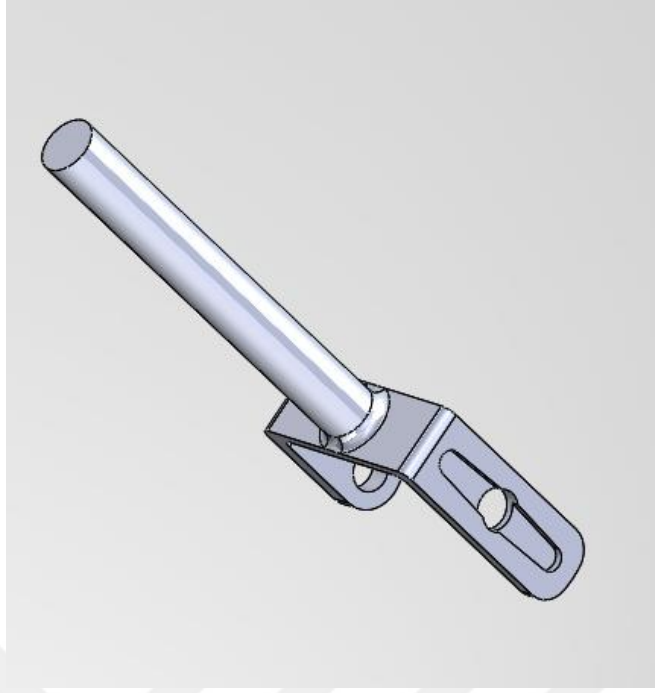
Prototip oluşturulurken balpeteği kompozit yapı üzerine bileşenlerin monte edilmesi ile yapı kurulmuştur. Yeşil olan parçalar bataryalardır. Mavi yuvarlak yapılar ise dairesel kanallı fan dış ölçülerine göre modellenmiş halleridirler. Sarı bileşenler ise dairesel kanallı fanlara ait elektronik hız kontrol devreleridir. Diğer gri kısımlar ise prototip içinde tasarımı yapılan parçalardır. Bunlar işaretleme mekanizması, gimbal

mekanizması, dairesel kanallı fanlar gövdeye bağlayan yapısal parçalar ve ilerleme motorlarının yataklarıdır.

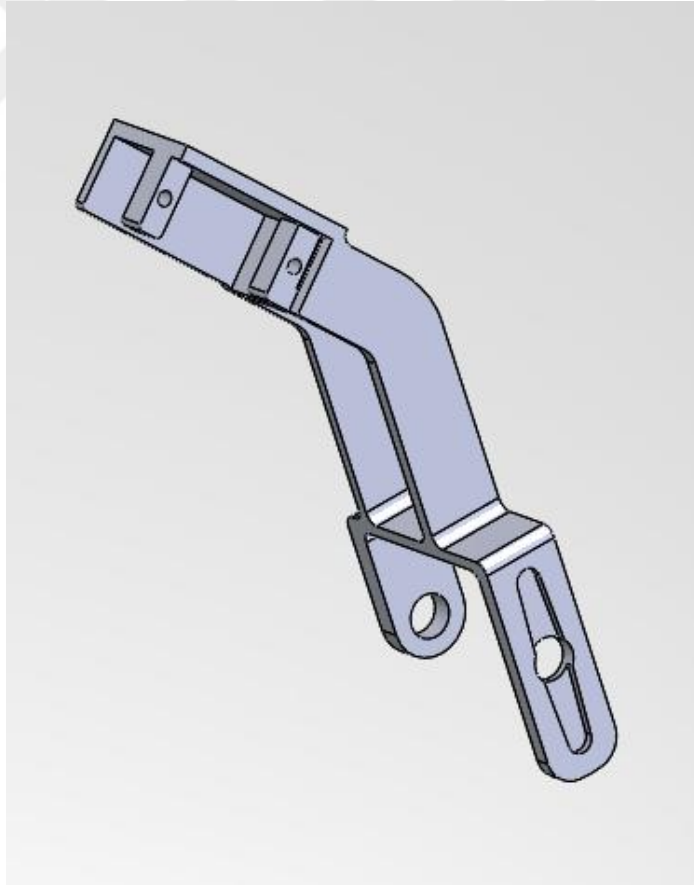
İşaretleme mekanizması temelde beş elemandan oluşmaktadır (Şekil 3.15-Şekil 3.19). Bunlardan iki tanesi kontrolcüden aldığı sinyallerle hareketi sağlayan 9 gr servolardır. Bu servolar sayesinde kol açılmakta kameranın önündeki yeri işaretlemekte ve tekrar geri toparlanmaktadır.



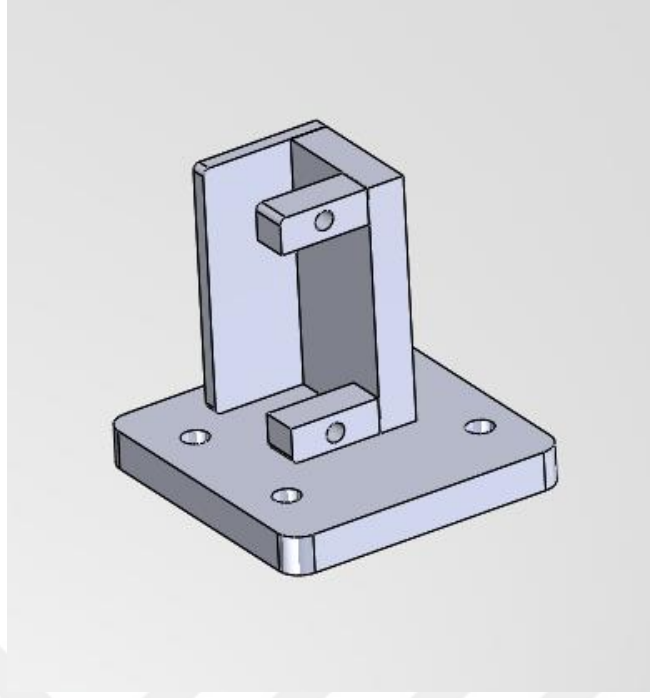
Şekil 3.15. İşaretleme mekanizması montajı



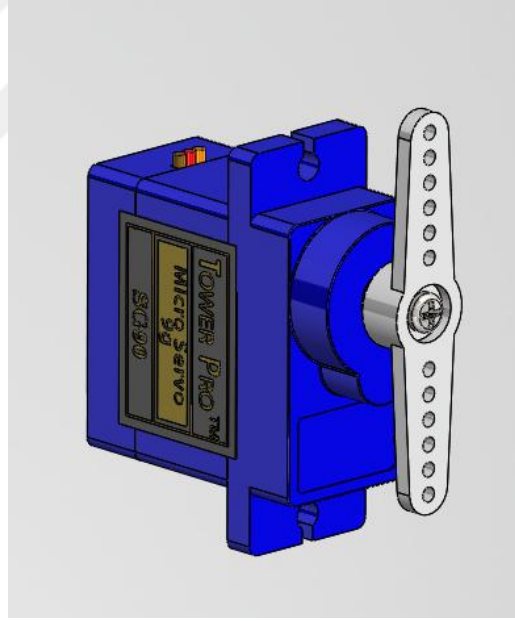
Şekil 3.16. İşaretleme mekanizması uç parçası



Şekil 3.17. İşaretleme mekanizması orta parçası

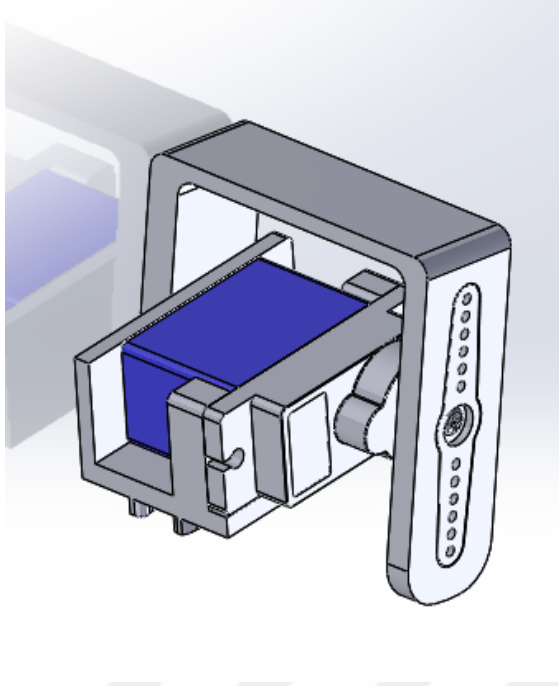


Şekil 3.18. İşaretleme mekanizması gövde bağlantı parçası

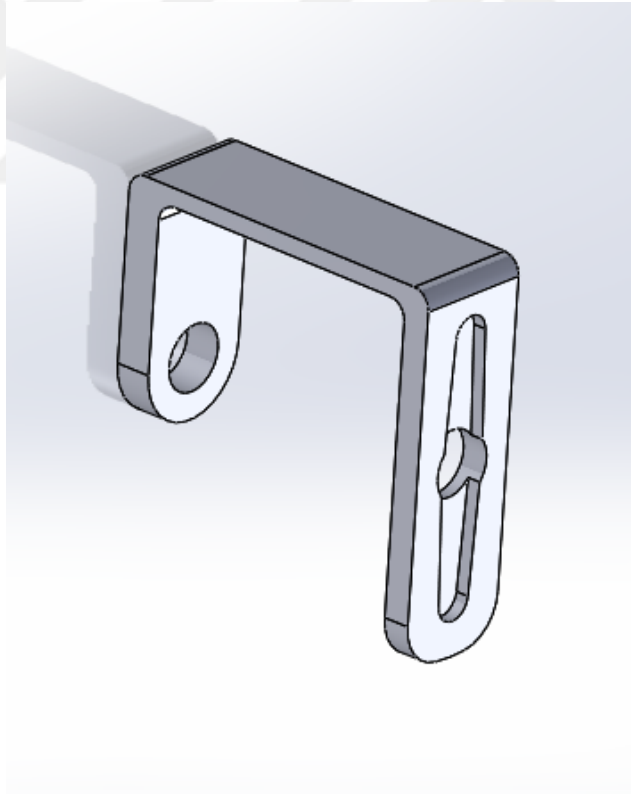


Şekil 3.19. İşaretleme mekanizmasında kullanılan servo motoru

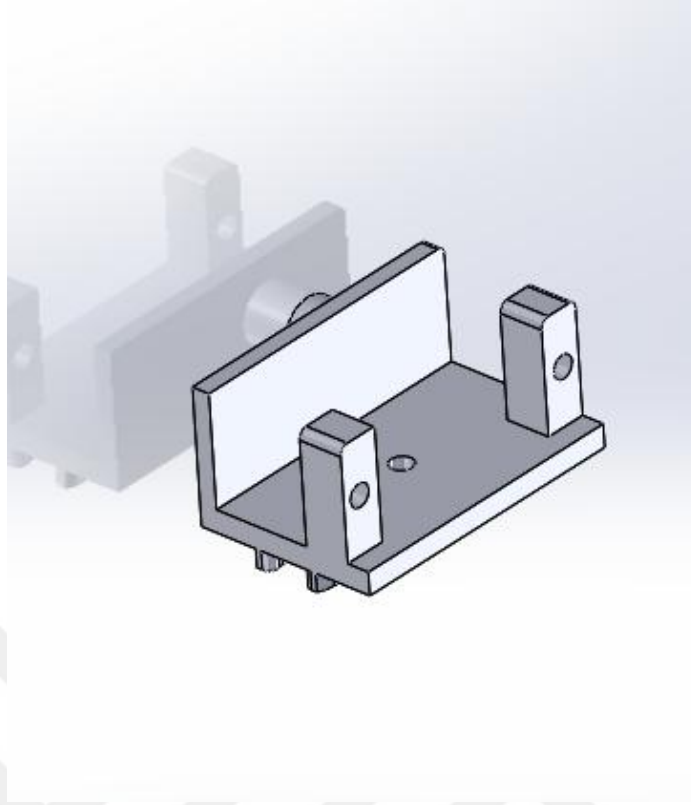
Muayene esnasında görüntü almak için kullanılan kamera açısı değiştirilmesi ve farklı noktaların görüntüsünün alınması için iki eksenli bir gimbal platformu tasarlanmıştır (Şekil 3.20-Şekil 3.22). Bu sayede operatör farklı yerleri de inceleyebilmektedir. İki adet servo ile tahrik edilen sistemde iki adet tutma kolu bulunmaktadır.



Şekil 3.20. Kamera platformu hareket mekanizması genel montajı



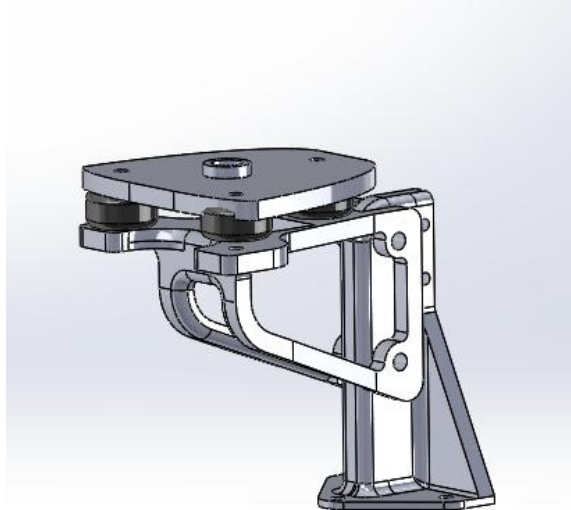
Şekil 3.21. Kamera platformu hareket mekanizması kamera bağlantı parçası



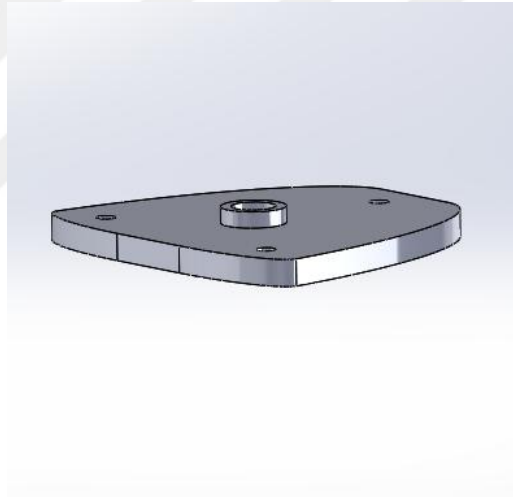
Şekil 3.22. Kamera platformu hareket mekanizması platforma bağlantı parçası

Dairesel kanallı fan motorların platforma bağlantısı üç ana parça aracılığı ile yapılmaktadır (Şekil 3.23-Şekil 3.31). Bunlar ön bağlantı parçası, orta bağlantı parçası ve arka bağlantı parçasıdır. Bu 3 bağlantı noktasının esas görevi dairesel kanallı fanların montajı olsa da ek bazı ek görevleri de bulunmaktadır.

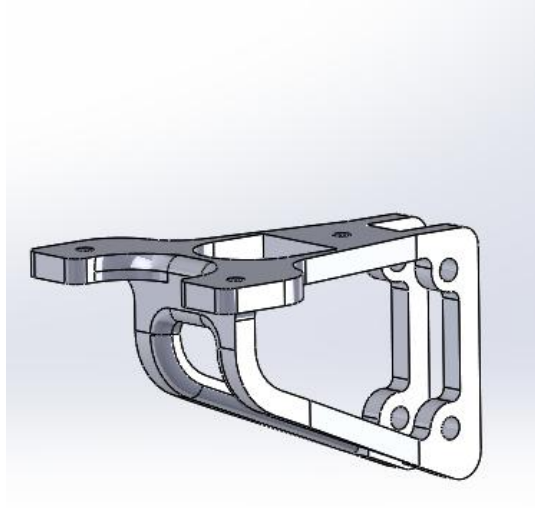
Ön bağlantı noktası ek olarak kamera hareket platformunu da taşımaktadır. Bu bağlantı noktası 6 adet parçadan oluşmaktadır. Bunlardan 3 tanesi titreşim emici kauçuk parçalardır. Diğer parçalardan birisi motoru platforma bağlamakta öteki ikisi kamera hareket platformunu gövdeye bağlamaktadır.



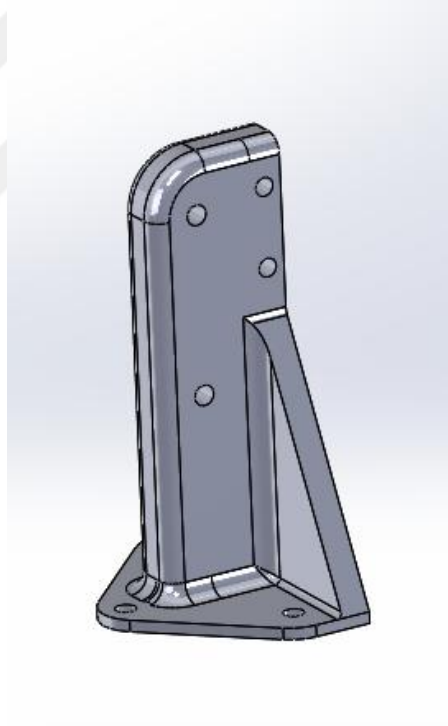
Şekil 3.23. Ön bağlantı noktası montaj görünümü



Şekil 3.24. Ön bağlantı noktası kamera hareket platformu tabanı

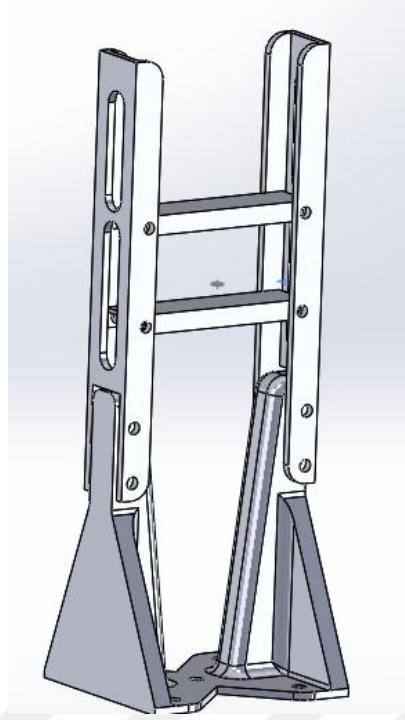


Şekil 3.25. Ön bağlantı noktası kamera hareket platformu bağlantısı

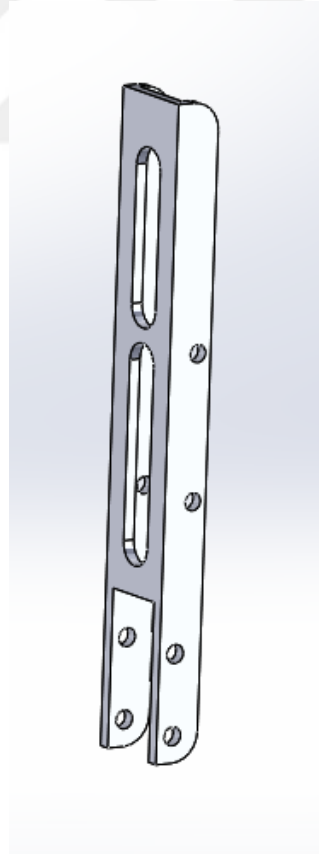


Şekil 3.26. Ön bağlantı noktası edf-platform bağlantısı yapısal elemanı

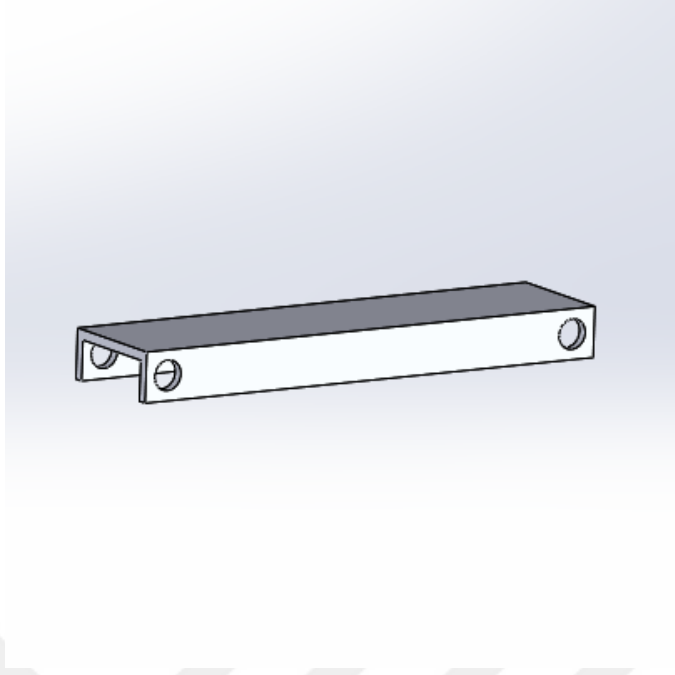
Orta bağlantı noktası üzerinde dairesel kanallı fanların sürücü devrelerini taşımaktadır. Beş adet parçadan oluşmaktadır. Bunlardan iki tanesi simetriktir. Motor kontrol devreleri için taşıyıcı vazifesi görmektedir. Bir adet ana yapısal eleman ise hem bu yapıları taşımakta hem de dairesel kanallı fanları gövdeye bağlamaktadır.



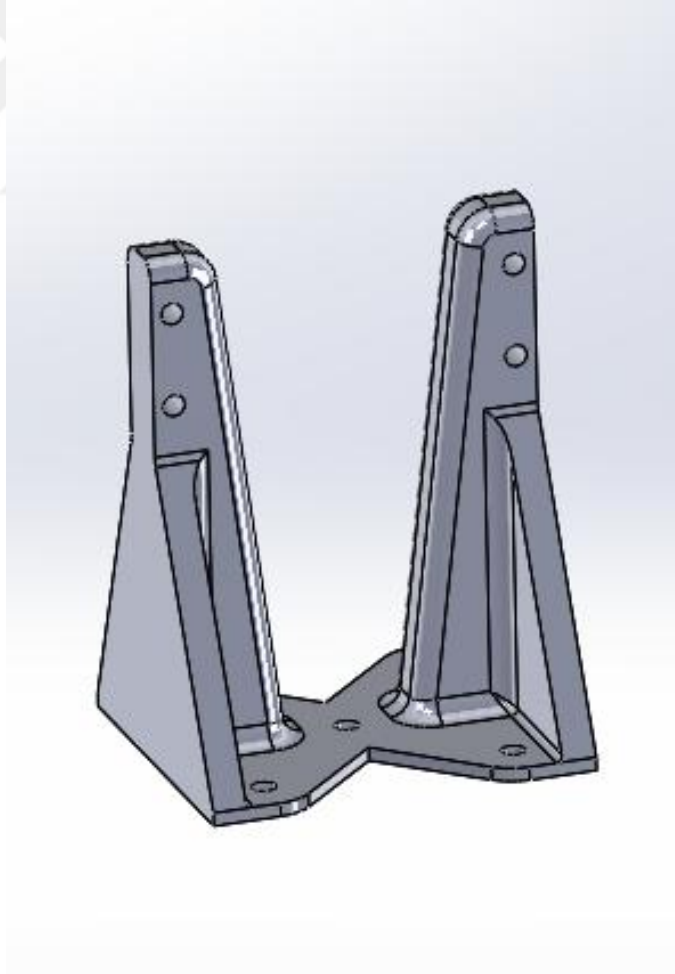
Şekil 3.27. Orta bağlantı noktası genel montaj



Şekil 3.28. Orta bağlantı noktası dikey yapısal eleman

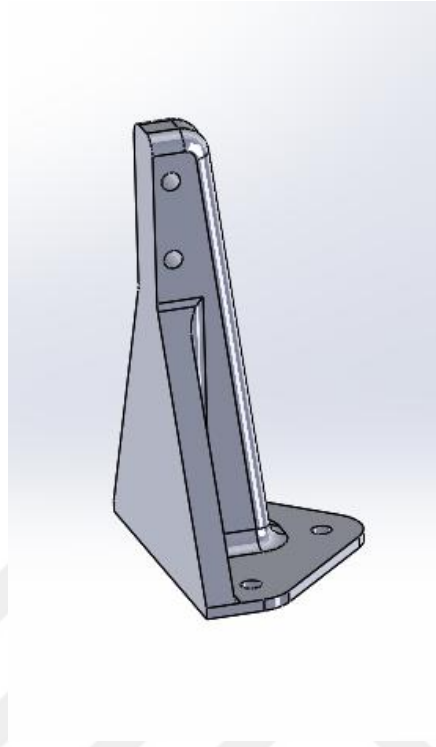


Şekil 3.29. Orta bağlantı noktası yatay yapısal eleman



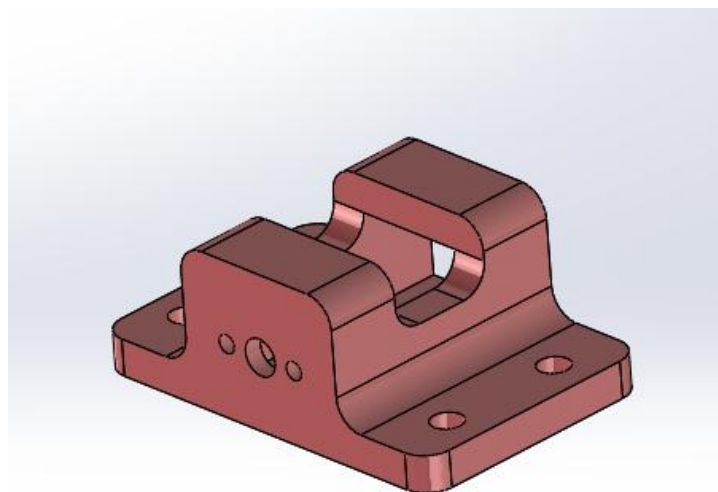
Şekil 3.30. Orta bağlantı noktası edf-platform bağlantı parçası

Arka bağlantı noktasının tek vazifesi dairesel kanallı fanların gövdeye bağlanmasıdır.



Şekil 3.31. Arka bağlantı noktası edf-platform bağlantı parçası

Yukarıda açıklanan parçaların dışında birde hareket motorlarını gövdeye bağlayan ve motor yatağı görevini gören yapısal parça da bulunmaktadır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Hareket motorları-gövde bağlantı parçası

3.6. Sistem Mimarisi

Şekil 3.33’de gösterilen tezde ortaya çıkartılan sistem, prototip oluşturulmadan önce Microsoft Visio aracılığıyla modellenmiştir. Bu sayede alt sistemlerin birbiri ile olan etkileşimleri net bir şekilde görülebilmektedir. Bu mimarinin bir diğer faydası prototipte bir arıza meydana gelmesi durumunda sistem mimarisi üzerinden akış takip edilerek problemin kaynağının kolaylıkla bulunabilmesidir.

Prototipin ilk parçası güç kaynağı olan lipo pillerdir. Bu piller platform üzerine konumlandırılarak ya da yerden kablo aracılığıyla platforma güç sağlayabilmektedirler. Platform ayrıca yerdeki herhangi bir enerji kaynağı ile de kablo vasıtası ile beslenebilmektedirler. Tezde yapılan prototip tüm sistem bileşenlerini lipo pil ile beslemektedir.

Lipo pillerden sonra sistemin diğer bileşenleri ile arada gerilimi ayarlayan bir düzenleme devresi bulunmaktadır. Bu devrenin amacı kendine gelen gerilimi diğer bileşenlerin ihtiyaç duyduğu gerilim değerine indirmektir.

Sistemde, uçak üzerindeki pitot tüpü, uydu anteni ya da yüksek frekans haberleşme antenlerine çarpmaması için çarpışma sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörler ultrasonik olarak çalışmaktadır. Sensör kitinin üzerinde ses dalgası yayan ve bu dalgaları alan iki kısım bulunmaktadır. Gönderilen sesin geri dönüş süresini hesaplayan ve buna göre uzaklık tayini yapan bir sensör çeşididir. Bu sensörler aldıkları veriyi kontrolcüye göndermektedirler. Sistem üzerinde iki adet bulunmaktadır. Bunlardan birisi ön tarafta diğeri arka tarafta yer almaktadır.

Prototip üzerinde iki adet dairesel kanallı fan bulunmaktadır. Bu motorların görevi yüksek miktarda hava debisi oluşturarak sistemin uçak yüzeyine tutunmasını sağlamaktır. Dairesel kanallı fanlar yüksek akım çektikleri için elektronik hız kontrolcüsüne ihtiyaç duymaktadırlar. Bu kontrolcünün görevi ihtiyacı olan gerilim ve akımı bataryalardan motora göndermesidir. Bu sayede motorun ana kontrolcüden fazla akım çekmesini ve yakmasını önlemiş olur. Bir diğer görevi ise ana kontrolcüden gelen devir sinyaline göre motorların devrini ayarlamaktır. Sistemde her dairesel kanallı fan için bir adet elektronik hız kontrolcüsü bulunmaktadır.

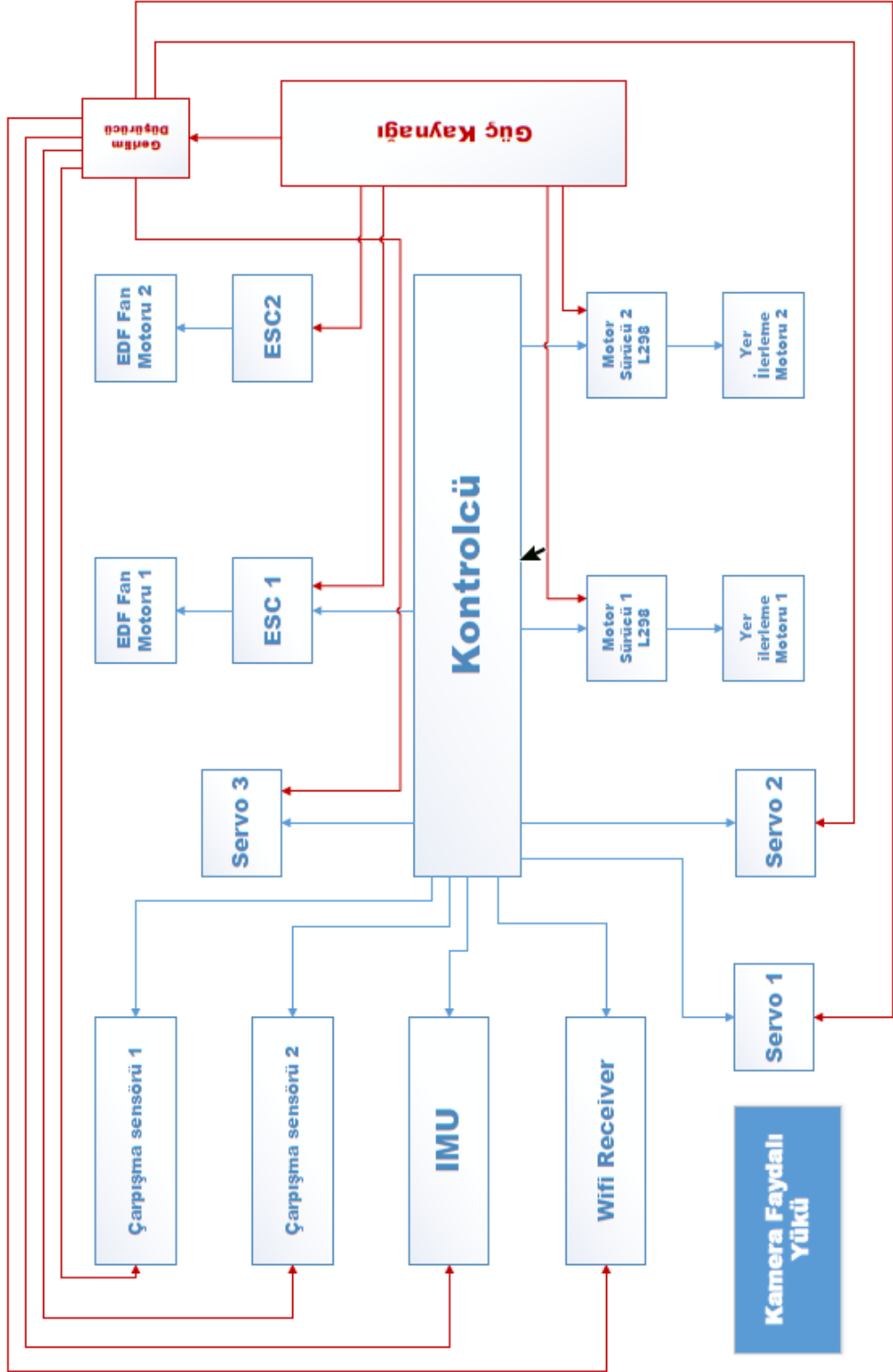
Sistem üzerindeki elektrikli dc motorlar platforma hareket kabiliyetini sağlamaktadırlar. Bu motorların tek amacı tutunduğu yüzey üzerinde ileri, geri, sağ ve sola hareket edebilmesini sağlamaktır. Platformun hareketi iki adet motor ile sağlanmaktadır. Bu motorların haricinde de bir sarhoş tekerlek bulunmaktadır. Bu

sayede platform uçak yüzeyine daima üç noktadan basmasını sağlamak ve hareket ederken uçak yüzeyinin silindirik yapısından dolayı herhangi bir tekerin uçaktan kesilmesini engellemektir. Dairesel kanallı fan motorlarda olduğu gibi bu motor tipinde de çektiği akım ve gerilim değeri nedeniyle ana kontrolcüye zarar vermemesi için bir motor sürücü devre kullanılmıştır. Bu devre ana kontrolcüden gelen sinyal değerine göre bataryalardan gelen enerji ile motora enerji akışını sağlamaktadır.

Platform üzerindeki tüm hareketleri ve fonksiyonları kontrol etmek üzere bir yer istasyonu bulunmaktadır. Bu yer istasyonu üzerinde verilen komutlarla platform üzerindeki kontrolcü fonksiyonları yerine getirmektedir. Yer istasyonu ile platform arasındaki iletişim bluetooth teknolojisi ile sağlanmaktadır. Yer istasyonu üzerindeki ara yüz üzerinden kullanıcı komutları vermekte, cihaz komutları bluetooth aracılığıyla platformun bluetooth alıcısına iletmektedir.

İşaretleme mekanizması göz ile muayene yapılırken bulunan hasarların konum bilgisinin göz ile bakılarak görülmesini sağlamaktır. Muayene işlemi sonrasında işaretlenen noktalar vasıtasıyla hasarlı bölgelerin konumu kolaylıkla görülebilmektedir. Bu işaretleme mekanizması iki adet servo ile çalışmaktadır. Yer istasyonunda komut verildiğinde ana kontrolcü üzerinden gelen sinyalle servolar hareket etmekte ve mekanizmanın ucundaki sünger ile işaretleme sağlanmış olmaktadır. İki eksenle hareket eden kırmalı bir kol vasıtasıyla geçici mürekkep ile işaretleme fonksiyonu da yerine getirilmiş olmaktadır.

Yukarıdaki tüm fonksiyonların yerine getirilebilmesi için bir adet mikro kontrolcü kullanılmaktadır. Mikro kontrolcünün görevi kendisine gelen çevresel ya da iletişim datalarını içerisine yüklenmiş olan yazılım vasıtasıyla değerlendirip gerekli çıktıyı eyleyiciler vasıtasıyla uygulamaktır. Mikro kontrolcü bu hayati fonksiyonu nedeniyle tüm projenin tam ortasında yer almaktadır.



Şekil 3.33. Sistem mimarisi

3.7. Kullanılan Bileşenler

3.7.1. Elektrik motoruna akuple dairesel kanallı fan motorlar (EDF)

EDF ismi elektrikli yuvalı fan kelimelerinin İngilizcelerinin bir araya gelmesi ile oluşmuş bir kısaltmadır. Elektrik motoruna akuple dairesel kanallı fan olarak ifade edilebilir. Esasında bir kanal içerisinde hava akışı oluşturan bir fanın fırçasız bir elektrik motoru ile tahrik edilmesi ile çalışır. Bu motorlar özellikle hobi amaçlı uçaklarda kullanılmaktadır. Bu motorların tercih edilmesinin birçok nedeni vardır. Bunlardan ilki yüksek hava debisine sahip olması nedeniyle hava araçlarının pervaneli motorlara göre daha hızlı seyir ve hareket imkanı sağlamasıdır. Diğer tercih nedeni olarak ise gerçek jet motoru sesine yakın bir ses çıkarması dolayısıyla kullanıcıya uçuş hissini daha çok yaşatmasıdır. Dairesel kanallı fan motorlarının bir diğer avantajı ise eşdeğer itki üreten pervaneli bir sisteme göre çok daha küçük hacim ve yapıya sahip olmalarıdır. Tüm bu olumlu taraflarına karşın dairesel kanallı fan motorlar yüksek enerji tüketimine sahiptir. Bu durum ise beraberinde enerji depolama ve operasyon süresi ile ilgili problemler getirmektedir.

Dairesel kanallı fan sistemleri birden fazla parçanın bir araya gelmesi ile meydana gelmişlerdir (Şekil 3.34). Bu parçalar fan pervanelerinin içinde döndüğü bir kanal, fan pervaneleri, fırçasız elektrik motorudur. Fırçasız motor hem fan pervanelerini kaplayan hem de üzerinde motor yuvası bulunan parçaya bağlanmaktadır. Fan pervanesi ise fırçasız motorun miline direkt olarak takılmaktadır (Şekil 3.35).



Şekil 3.34. Dairesel kanallı fan bileşenleri



Şekil 3.35. Dairesel kanallı fan montajı

3.7.2. Geliştirme kartları

Geliştirme kartları, üzerlerinde mikroçipleri ve çalışması için gerekli olan minimum donanımları içeren kartlardır. Özellikle yazılım geliştirenler için geliştirme sürecinde kolaylık sağlamak için tasarlanmış donanımlardır. Piyasada birçok geliştirme kartı mevcuttur. Bunlara arduino, beaglebone, STM ve Digilent BAYS gibi kartlar örnek verilebilir (Şekil 3.36 ve Şekil 3.37). Genellikle her kart markası için farklı bir yazılım geliştirme platformu bulunmaktadır. Kullanılan mikro işlemcilerin ve yazılım dillerinin farklı olması nedeniyle uygulama yapılacak teçhizatın özellikleri değerlendirilerek kart seçimi yapmak daha doğru sistemin seçilmesini sağlayacaktır.

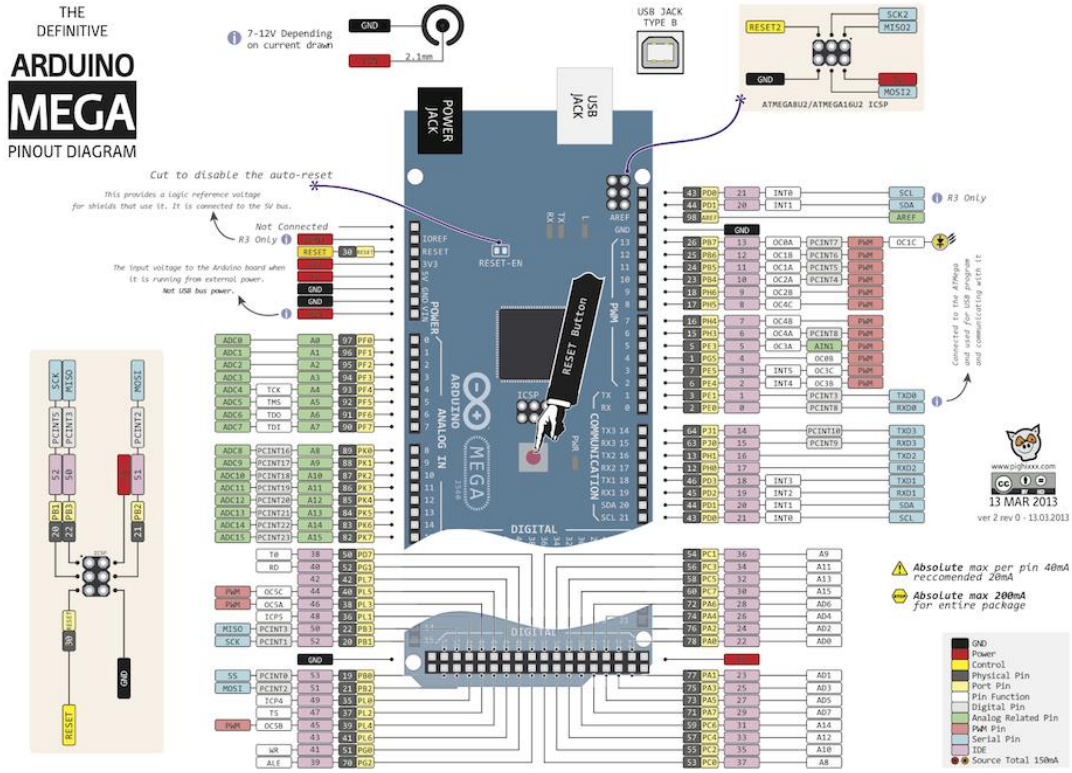


Şekil 3.36. Geliştirme kartı örnekleri



Şekil 3.37. Arduino geliştirme kartı

İlgili sistemler, içerisinde kullanıcılar tarafından yazılım geliştirme süreçlerinde sağladığı pratiklik ve kullanıcı dostu olması nedeniyle çokça tercih edilmektedir. Özellikle yeni başlayanlar yada hızlı prototip geliştirmek isteyenler arduino üzerinde çalışabilmektedir. Açık kaynaklı bir sistem olması nedeniyle örnek kodlar ya da kütüphaneler olan zengin ve uygulaması kolay bir sistem olduğu için prototipte kontrolcü olarak arduino mega kartı tercih edilmiştir (Şekil 3.38). Arduino mega kartı üzerinde Atmel firmasının 2560 işlemcisi bulunmaktadır. Arduino tarafından c dili temelinde geliştirilmiş IDE arayüzü üzerinde yazılımı gerçekleştirilmiştir. Kart üzerinde 56 adet giriş çıkış portu bulunmaktadır. Bu portlardan 15 tanesi pwm çıkışı vermektedir. 16 adet port ise analog giriş olarak kullanılabilir. Bir diğer ifadeyle analog olarak toplanan veriler bu girişlerden sisteme data girişi sağlayabilmektedir. Kart üzerinde 16 Mhz kristal da dahili olarak bulunmaktadır. Program atmak, seri olarak kart ile haberleşmek ve kartın çalışması için gerekli gücü bilgisayar üzerinden almasına imkan sağlar. Ayrıca 5 volt girişi olmaması ya da harici bir kaynaktan beslenmek istenmesi durumları için kart üzerinde güç soketi girişi de bulunmaktadır. Reset atmak istenildiğinde kartın elektriğini kesen bir reset tuşu kart üzerinde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.38. Arduino kartı port şeması

3.7.2.1. Arduino mega detaylı özellikler

Güç: Arduino Mega gücünü USB üzerinden veya harici güç kaynağından alabilir. Harici güç kaynağı AC-DC adaptör olabileceği gibi batarya da olabilir. Adaptör kart üzerindeki 2.1mm merkez-pozitif güç soketinden bağlanabilir. Batarya kart üzerindeki GND ve Vin pinleri üzerinden bağlanabilir.

Kartın çalışması için sürekli olarak USB'nin bağlı olması şart değildir. Kart sadece adaptör veya batarya ile çalıştırılabilir. Bu sayede kart bilgisayardan bağımsız olarak çalıştırılabilir.

Harici güç kaynağı olarak 6-20V arası kullanılabilir. Ancak bu değerler limit değerleridir. Kart için önerilen harici besleme 7-12V arasındadır. Çünkü kart üzerinde bulunan regülatör 7V altındaki değerlerde stabil çalışmayabilir. 12V üstündeki değerlerde de aşırı ısınabilir.

Mega kartının üzerindeki mikrodenetleyicinin çalışma gerilimi 5V'dur. Vin pini veya güç soketi üzerinden verilen 7-12V arası gerilim kart üzerinde bulunan voltaj regülatörü ile 5V'a düşürülerek karta dağılır.

VIN: Harici güç kaynağı kullanılırken 7-12V arası gerilim giriş pinidir.

5V: Bu pin regülatörden çıkan 5V çıkışı verir. Eğer kart sadece USB (5V) üzerinden çalışıyor ise USB üzerinden gelen 5V doğrudan bu pin üzerinden çıkış olarak verilir. Eğer karta güç Vin (7-12V) veya güç soketi (7-12V) üzerinden veriliyorsa regülatörden çıkan 5V doğrudan bu pin üzerinden çıkış olarak verilir.

3V3: Kart üzerinde bulunan 3.3V regülatörü çıkış pinidir. Maks. 50mA çıkış verebilir.

GND: Toprak pinleridir.

Hafıza: Atmega2560 256 KB'lık flash belleğe sahiptir (8 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır). 8 KB SRAM ve 4 KB EEPROM'u bulunmaktadır.

Giriş ve Çıkış: Mega üzerindeki 54 adet dijital pinin hepsi giriş veya çıkış olarak kullanılabilir. 16 tane analog giriş pini de bulunmaktadır. Bu analog giriş pinleri de aynı şekilde dijital giriş ve çıkış olarak kullanılabilir. Yani kart üzerinde toplam 70 tane dijital giriş çıkış pini vardır. Bu pinlerin tamamının lojik seviyesi 5V'dur. Her pin maks. 40mA giriş ve çıkış akımı ile çalışır. Ek olarak, bazı pinlerin farklı özellikleri bulunmaktadır. Özel pinler aşağıda belirtildiği gibidir.

Seri Haberleşme: TTL Seri veri alıp (RX), vermek (TX) için kullanılır. Pin 0 ve 1 doğrudan kart üzerinde bulunan Atmega16u2 USB-seri dönüştürücüsüne bağlıdır. Yani bilgisayardan karta kod yüklerken veya bilgisayar-mega arasında karşılıklı haberleşme yapılırken de bu pinler kullanılır. O yüzden karta kod yüklerken veya haberleşme yapılırken hata olmaması için mecbur kalınmadıkça bu pinlerin kullanılmamasında fayda vardır.

Harici Kesme: Harici kesme pinleri yükselen kenar, düşen kenar veya değişiklik kesmesi pinleri olarak kullanılabilir.

PWM : Kart üzerindeki bu pinler 8-bit çözünürlükte PWM çıkış pinleri olarak kullanılabilir.

SPI Pinleri: SPI pinleri seri haberleşme için kullanılır.

Analog : Mega 16 tane 10-bit çözünürlüğünde analog giriş pinine sahiptir. Bu pinler dijital giriş ve çıkış için de kullanılabilir. Pinlerin ölçüm aralığı 0-5V'dur. AREF pini ve analogReference() fonsiyonu kullanılarak alt limit yükseltip, üst limit düşürülebilir.

I2C : Bu pinler I2C haberleşmesi için kullanılır.

AREF : Analog giriş için referans pini.

Reset : Mikrodenetleyici resetlenmek istendiğinde bu pin LOW yapılır. Reset işlemi kart üzerinde bulunan Reset Butonu ile de yapılabilir.

Haberleşme: Arduino Mega'nın bilgisayarla, başka bir arduino veya mikrodenetleyici ile haberleşmesi için birkaç farklı seçenek vardır. Atmega2560, 4 tane donanımsal UART TTL (5V) seri haberleşme imkanı sunar. Kart üzerinde bulunan Atmega16u2 USB-seri dönüştürücüde bilgisayarda sanal bir com port açarak Atmega2560 ile bilgisayar arasında bir köprü kurar. Arduino bilgisayar programı içerisinde barındırdığı seri monitör ile arduino ile bilgisayar arasında text temelli bilgilerin gönderilip alınmasını sağlar. USB-seri dönüştürücü ile bilgisayar arasında USB üzerinden haberleşme olduğu zaman kart üzerinde bulunan RX ve TX ledleri yanacaktır.

Atmega2560 aynı şekilde I2C ve SPI portlarında sağlamaktadır. Arduino bilgisayar programı ile gelen Wire kütüphanesi I2C kullanımını, SPI kütüphanesi de SPI haberleşmesini sağlamak için kullanılır.

Programlama: Arduino Mega kartı Arduino bilgisayar programı (Arduino IDE) ile programlanır. Programda Tools > Board sekmesi altında Arduino Mega'yı seçip programlamaya başlanabilir. Arduino Mega üzerindeki Atmega2560 üzerine bootloader denilen özel bir yazılım yüklü gelir. Bu sayede kartı programlarken ekstra bir programlayıcı kullanılmasına gerek yoktur. Haberleşme orjinal STK500 protokolü ile sağlanır.

Bootloader yazılımı bypass edilerek kart doğrudan mikrodenetleyicinin ICSP header'i üzerinden ISP programlayıcı ile programlanabilir.

Bootloader yazılımı gibi Atmega16u2 içerisindeki kaynak yazılım da açık kaynaklıdır. Bu yazılıma da DFU bootloader adı verilir. Atmel's FLIP software (Windows) veya DFU programmer (Mac OS X and Linux) kullanılarak bu yazılım yeniden yüklenebilir. Veya Atmega2560'da olduğu gibi 16u2'de ISP programlayıcı ile programlanabilir. Gerek Atmega2560 gerekse 16u2 içerisindeki yazılımlar her zaman en güncel hali ile gönderilir. O yüzden mecbur kalmadıkça bu yazılımların değiştirilmesine gerek yoktur.

USB Aşırı Akım Koruması: Arduino Mega üzerinde bulunan resetlenebilir sigorta bilgisayarın USB portunu kısa devrelerden veya aşırı akım tüketimi durumlarından korumaktadır. Kart bilgisayar USB portu üzerinden 500mA'den fazla akım çektiğinde kart otomatik olarak USB'den aldığı gücü koruma amacıyla kesmektedir. Fazla akım durumu veya kısa devre ortadan kaldırıldığında sigorta normal konuma döner ve tekrar bağlantı kurulur.

3.7.3. Elektronik hız kontrol ünitesi (ESC)

Elektronik hız kontrol üniteleri (Şekil 3.39) yüksek akım ve volt değerlerinde çalışan motorların sürülmesinde kullanılmaktadır. Farklı amper değerleri için değişik marka ve modeller mevcuttur. Çalışma prensibi kontrol kartından gelen PWM değerine göre üzerinden geçen akım değerini ayarlayarak devir yön kontrolü yapmasıdır. Mikro işlemcilerle kullanılmasının yanında bir RC kumanda alıcına bağlı olarak da çalışabilir.



Şekil 3.39. Elektronik hız kontrol ünitesi

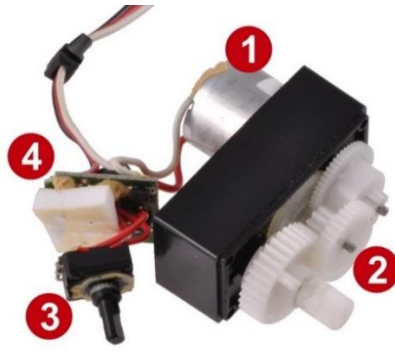
3.7.4. Servo motorlar

Servo motorlar, mekanizmalardaki açısal-doğrusal pozisyon, hız ve ivme kontrolünü hatasız bir şekilde yapan tahrik sistemi olarak tanımlanır. Yani hareket kontrolü yapılan bir düzenektir. Servo motorlar, istenilen pozisyonu alması ve yeni bir komut gelmediği sürece bulunduğu pozisyonu değiştirmemesi amacıyla tasarlanmıştır. Robotik uygulamalarda yaygın bir kullanım alanı vardır. Servo motorların dc-ac, dijital-analog, çekirdeksiz, fırçasız gibi farklı tipleri bulunmaktadır.

Dijital servo motorlar analog servo motorlara göre daha yüksek frekansta çalışmaktadır ve çalışma torkları daha yüksektir. Hızlanmaları daha yumuşaktır. Ancak analog servo motorlardan daha fazla güç tüketmesi dijital servo motorların olumsuz yönleridir.

Servolarda motor olarak fırçalı veya fırçasız motor kullanımına göre ve çekirdekte kalıcı mıknatıs veya bobinler kullanılmasına göre de farklılıklar göstermektedir.

Servoların hareketleri genellikle 0 ile 180 derece aralığında dönüş yapmaktadır. Servoların dönüşü genellikle mekanik olarak sınırlandırılmaktadır.



Şekil 3.40. Servo motorun temel bileşenleri

Şekil 3.40’da, servo motorunun temel bileşenlerinde 1 numaralı parça dc elektrik motorudur. Servo, bu motor aracılığıyla tahrik edilmektedir. 2 numaralı dişli sistemi ise devri düşürerek tutma torkunu arttırmaktadır. Bu sayede motor 180 derecelik aralıkta daha hassas ve yüksek torklu hareket edebilmektedir. 3 numaralı potansiyometre ise servonun konumu ile ilgili kontrol kartına geri besleme sağlamaktadır. 4 numaralı kart ise kontrol kartı olarak geçmektedir. Servonun fonksiyonlarını yöneten karttır.

Prototip içerisinde işaretleme amaçlı olarak iki adet motorla sürülen bir kol mekanizması bulunmaktadır. Bu mekanizmada kolun istenen hareketi sağlaması için iki adet servo motor kullanılmıştır. Bu sayede açılma ve kapanma hareketlerinde bulunması gereken konumları hatasız olarak hareketi tekrarlayabilmektedir. Şekil 3.41’de, kullanılan servo motor görülmektedir.



Şekil 3.41. SG90 servo motoru

Servonun özellikleri:

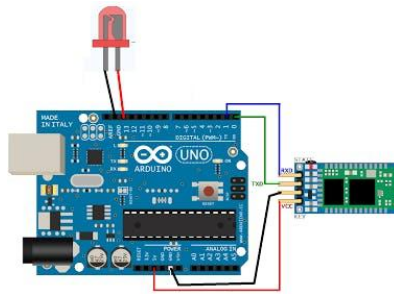
- Model : SG90
- Ağırlık: 9 Gr
- Çalışma gerilimi: 4.8 - 6.0 VDC

- Hız @4.8V: 0.1 sn/60°
- Zorlanma Torku @6V: 1.8 kg.cm
- Dişli kutusu: Plastik
- Dönüş açısı: 0-180°

3.7.5. Kablosuz haberleşme

Günümüzde kablosuz sistemlere olan ilgi hızla artmaktadır. Özellikle haberleşme alanında yaygın olarak karşılaşılan bu teknolojiler, günümüzde enerji aktarımı için de uygulanmaktadır. Kablosuz sistemlerde birçok haberleşme sistemi bulunmaktadır. Bunların en yaygınlarını wireless ağ sistemleri, bluetooth, kızılötesi olarak örneklendirilebilir. Prototipte bluetooth ve wifi haberleşme sistemleri kullanılmıştır. Komuta kontrol amaçlı olarak bluetooth, görüntü ve video aktarımında ise wifi aktarım kullanılmaktadır. Yer istasyonunda iki adet tablet kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi wifi üzerinden gelen görüntüleri kullanıcının görüntülemesi diğeri ise hareket komutlarının verilmesi için kullanılmaktadır. Hareket komutları yer istasyonundan araç üzerine bluetooth üzerinden gönderilmekte ve araç üzerindeki bluetooth modülü tarafından alınarak arduino işlemcisi üzerinde işlenmektedir.

Prototipte bluetooth haberleşme modülü olarak piyasada sıkça kullanılan HC05 modülü tercih edilmiştir. Bluetooth 2.0 teknolojisini kullanan modül seri port standartları ile haberleşmeye uygundur. 5 volt ile çalışan bu modül 2.4 Ghz frekansında haberleşmektedir. Modüle ait bağlantı şematiği Şekil 3.42’de gösterilmektedir.

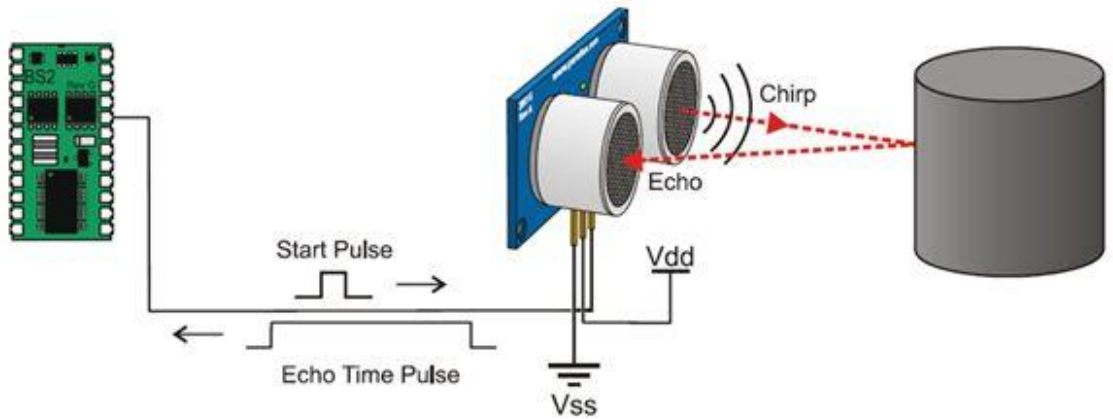


Şekil 3.42. Arduino haberleşme şematiği

3.7.6. Ultrasonik sensör

Ultrasonik sensörler günlük yaşantıda ve endüstride birçok uygulamada kullanılan sensör tipidir. Genel olarak uzaklık algılamada ya da varlık yokluk algılamada tercih edilen bir sensör tipidir. Temel çalışma prensibi ultrason yayan bir kaynak ve ultrason algılayıcıdan oluşmaktadır. Kaynaktan gönderilen sesin tekrar geri dönme süresini ölçerek engele olan uzaklık tespit edilebilmektedir. Çok çeşitli sensör olmasına rağmen arduino projelerinde sıkça kullanılan HC-SR04 modeli tercih edilmiştir (Şekil 3.43). Ekonomik oluşu ve kolay bulunabilirliği bu tercihin yapılmasında etkili olmuştur.

HC-SR04 sensörü 5V dc ile çalışmaktadır. Sensör kontrol kartına analog sinyal göndermektedir. Gelen analog değer okunarak üreticinin verdiği kullanım klavuzundaki değerlerle karşılaştırılarak 4m ile 2cm aralığındaki uzaklık ölçülmektedir. Prototipte engel olup olmadığı tespit edilmek için kullanılmıştır. Araç engel algıladığı zaman engel olan yöndeki hareketini durdurmaktadır.



Şekil 3.43. HC-SR04 haberleşme sistemi şematığı

3.7.7. Lipo piller

Pil ve batarya teknolojileri enerjinin depolanması için ilk akla gelen ve gündelik yaşantıda sıkça karşılaşılan teknolojilerdir. Pil elektrokimyasal tepkimeler sonucunda potansiyel fark ile elektrik enerjisi üreten cihazlara verilen genel bir isimdir. Depolama sistemleri kullanım amaçlarına göre farklılıklar göstermektedir. Kullanıcı bakım ihtiyacı, kullanım çevrimi ya da güç/ağırlık oranı gibi farklı parametreler kullanarak pil teknolojileri arasında farklı tercihlerde bulunabilir. Piller bileşenlerine göre genellikle

nikel-kadmiyum, nikel-metal hidrit, kurşun asit, lityum polimer (Li-Po) ve lityum iyon (Li-Ion) en sık karşılaşılan çeşitlerdir.

Prototipte ticarileşmiş pil çeşitleri arasında en yüksek güç/ağırlık oranına sahip Lipo piller kullanılmıştır. Bunun nedeni projede kullanılan dairesel kanallı fanların yüksek güç ihtiyacına karşılık platformun ağırlık değerinin minimum olması gerekliliğidir. Lipo bataryalar 3,7 voltluk hücrelerin seri ya da paralel bağlanması ile yüksek akım ve gerilim değerine ulaşırlar. Prototipte 22,2 volt 16000 mAh lipo batarya kullanılmıştır (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. 22,2V 16000mAh lipo batarya

3.7.8. Motor sürücü (L298)

Şekil 3.45’de gösterilen motor sürücü, yüksek akım çeken motor ile kontrolcü kartı izole etmektedir. Bu sayede kontrol kartı çıkışlarının zarar görmesi ihtimaline karşı koruma sağlamaktadır. Birbirinden bağımsız olarak iki ayrı motoru kontrol edebilir. Kanal başına 2A akım verebilmektedir. Üzerinde dahili regülatörü vardır. Yüksek sıcaklık ve kısa devre koruması vardır. Motor dönüş yönüne göre yanan ledler vardır. Kart üzerinde dahili soğutucu vardır. Akım okuma (current sense) pinleri dışa verilmiş haldedir.



Şekil 3.45. L298 DC motor sürücü kartı

3.7.9. Redüktörlü DC motorlar

Redüktörlü dc motorlar prototipte ilerleme hareket motorları için kullanılmıştır. Redüktörlü tercih edilmesinin nedeni düşük devir ve yüksek tork ihtiyacı olmasıdır. Kullanılan motor 12 volt doğru akım ile çalışmaktadır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46. Redüktörlü DC motor

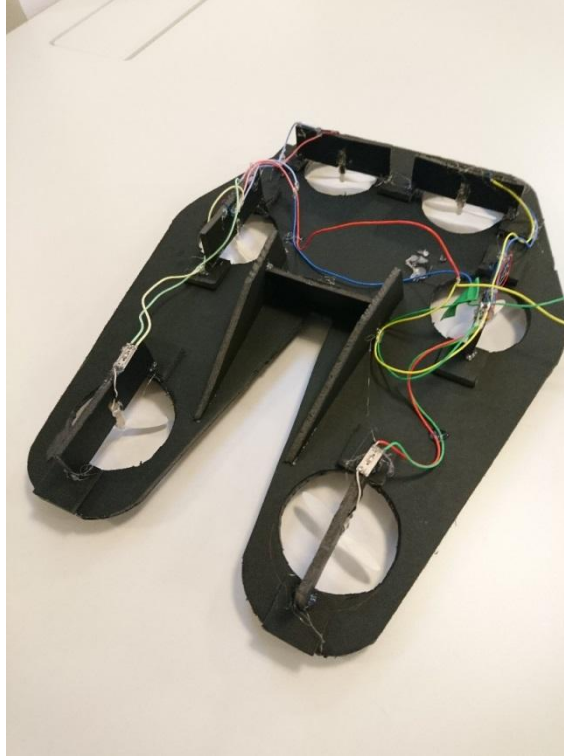
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Konsept Doğrulama ve Geliştirme Çalışmaları

Prototip imalatı iterasyonlar halinde geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Bu sayede prototipte imalat aşamalarında karşılaşılabilecek problemler önceden öngörülmüştür. Tasarımda özellikle kritik fonksiyonlar için hızlı prototiplerin üretilmesi, tasarım odaklı düşünme yöntemi için temel oluşturmaktadır. Tasarım odaklı düşünme yöntemi tasarımcıların ve çözüm geliştiricilerin prototiplerinin kritik fonksiyonları için olabilecek en hızlı şekilde yapmalarını ve çözümü deneyip hemen itere etmelerini benimseyen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile çözüm için hemen deneyip, yaşanacak başarısızlığın hemen yaşanıp bu sayede çabuk öğrenmeyi ve daha az maliyetle faaliyetlerin gerçekleştirilmesini hedeflenmiştir. Prototip imalatında yapılan çalışmalar bu yaklaşımdan faydalanarak gerçekleştirilmiştir.

Protoipte 5 farklı tasarım iterasyonu yapılmıştır. Aşağıda yapılan tasarım iterasyonları ve deneyimler özetlenmiştir.

4.1.1. Versiyon 1



Şekil 4.1. Versiyon 1 görseli

İlk tasarımda pervanelerin yüzeye yakınlığının tutunmaya olan etkisi incelenmiştir (Şekil 4.1). Mini pervaneler ve fotoblok karton kullanılarak sistem model oluşturulmuştur. Sistemin enerji ihtiyacı dışarıdan sağlanmıştır. Kontrol ise sistemin enerjilendiğinde motorların çalışması ve enerji kesildiğinde durması şeklinde basitleştirilmiştir. Buna karşılık motor devrinin tutunmaya olan etkisini incelemek için güç kaynağı üzerinden volt değerleri değiştirilerek devir değişimi sağlanmıştır. Ancak buradaki kontrol açık kontroldür. Motor üzerinden devir bilgisi almadan sadece girişi değiştirerek devir değişimi sağlanmaktadır. Bu ise hassas olarak motorların devrinin kontrol edilmesine yeterli olmamaktadır.

İlk tasarım iterasyonunda mini pervaneler ile çevresindeki gövdenin altında kalan alanda vakum oluşması nedeniyle hem vakum hem de pervanelerin kuvvet vektörleri sayesinde yüzeye tutunmaktadır. Bu çalışmada pervanelerin yüksek akım ihtiyacı ve platform ağırlığının kritik olduğu gözleminde bulunulmuştur. Pervaneler birbirine yakın yüzeylerde havayı azaltarak vakum etkisi oluşmasına yardımcı olmuştur.

4.1.2. Versiyon 2

Mini pervaneler ile üzerinde gezilen yüzey arasında boşluk oluşturulmuş hava akımının rahatça hareket edebileceği bir tasarım denenmiştir. Bu sistem yapılanmasında pervanelerin itki kuvvetinin vakum etkisi olmadan uyguladığı kuvvet ile karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak vakum etkisi yardımcı olduğunda aynı amperde ve volt girişine karşılık daha fazla yük taşındığı deneysel çalışma sonunda gözlenmiştir.

4.1.3. Versiyon 3



Şekil 4.2. Versiyon 3 için kullanılması düşünülen motor

İlk iki çalışma kaldırma ve yapışma özelliklerinin incelenmesi için yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı sistemin yapılandırılmasında kullanılacak itki sisteminin elemanları için alternatif oluşturmaktır. İlk iki çalışmada kullanılan pervaneli bir motor kullanılması durumunda sistemin nasıl etkilenebileceği incelenmiştir. İnceleme yapılırken motor ve pervane üreticilerinin verdiği değerler üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Motor tabloları göz önünde bulundurulduğunda en verimli birleşim T-Motor U11 motoru ile 30" pervane birleşimi en optimum çalışmayı vermektedir (Şekil 4.2). Verimi ve operasyon süresi yüksek olmasına karşılık 80 cm x 190 cm platform boyutları büyük olacağı için versiyon 4'e geçildi.

4.1.4. Versiyon 4

Çalışmanın bu aşamasında itkinin 4 adet pervane tarafından sağlanması değerlendirildi. 15" lik 4 motor ikili çiftler halinde takılarak platform boyutlarının küçültülmesi hedeflendi. Ancak takılacak faydalı yükün çok düşmesine sebep oldu. Platform boyutlarını daha da küçültmek için dairesel kanallı fan kullanılmasına karar verildi.

4.1.5. Versiyon 5



Şekil 4.3. Versiyon 5 için itki sağlayacak motorlar

Önceki denemelerde pervaneler kullanılmıştır. Ancak bu adımda pervanelerin yerine fan motorlar kullanılması seçeneği araştırılmıştır (Şekil 4.3). Pervaneli sistemler

daha yüksek verime sahip olmasına rağmen boyut olarak operasyonda çok büyük olduğu için güç/ağırlık oranı çok daha yüksek ama enerji ihtiyacı da çok daha yüksek olan elektrikli fan motorlar araştırılarak kullanılabilceği bilgisine ulaşılmıştır. Daha sonrasında dairesel kanallı fan sistemi ile sistem mimarisi güncellenmiştir. Sistem mimarisinin revize edilmesine müteakip farklı dairesel kanallı fanlar araştırılmış ve geniş sistemin bileşenleri itere edilerek ağırlık analizi yapılmıştır. Ağırlık analizi sonucunda 2 adet 5 kg'lık motor kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuca göre tezde bu versiyondaki mimari kullanılarak prototip oluşturulmuştur.

4.2. Tasarım Doğrulama ve Geçerli Kılma Testleri

Doğrulama ve geçerli kılma süreçleri ürünün başarısını ortaya koyan en önemli göstergelerdir. Tezde bu iki faaliyete de yer verilmiştir. Doğrulama faaliyetleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testlerde başarı kriterleri esas alınarak testler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1).

Özet olarak başarı kriterleri aşağıdaki gibidir:

1. 0-180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde sabit durmalı ve motorlarla hareket etmelidir.
2. 500 gr faydalı yük taşınmalıdır.
3. Tam yüklü durumda ve 180 derece askıda iken yüzeye 1000 gr kuvvet uygulamalıdır.
4. Sistem uçak üzerine istenen noktalara silinebilir mürekkep ile işaret koymalıdır.
5. Güç sistemi yedekli olarak çalışmalıdır.
6. Platform ağırlığı 10 kg altında olmalıdır.
7. Yere anlık ve kablosuz olarak 1080x720 HD video aktarması yapabilmelidir.

Prototip genel olarak başarı kriterlerini sağlamıştır. Ancak doğrulama testleri esnasında gözlemlenen en büyük problem motorların gürültü seviyeleri ve çektiği akım miktarına bağlı olarak sistem bileşenlerindeki aşırı ısınmalar olmuştur.

İlk başarı kriteri olan 0-180 derece aralığındaki tüm yüzeylerde sabit durması ve motorlarla hareket edebilmesi özelliği test edilmiştir. Bu kriterin testinde prototip için geliştirilen platform sırasıyla 0, 45, 90, 135, 180 derece aralığındaki değerlerde denenmiştir. Yapılan denemelerde hem platformun yüzeye tutunduğu hem de hareket edebildiği doğrulanmıştır.

Sistemin başarılı olması için gerekli diğer özellik sistemin 180 derece asılı durduğu durumlarda 500 gr faydalı yük taşıyabilmesidir. Bu kriterin testleri ise, prototip laboratuvar ortamında 180 derece eğimde yer çekimine karşı asılı dururken gerçekleştirilmiştir. Burada 500 gr'lık ağırlığın hesaplamasına kamera sistemi ve işaretleme mekanizması eklenmiştir. Eksik kalan ağırlık değeri ise platformun üzerine eklenmiştir.

Yapısal muayeneler esnasında en kritik hususlardan birisi tespit edilen anormalliklerin işaretlenmesidir. Muayene işlemi bittikten sonra yapısal tamir işlemlerinin hızlıca gerçekleştirilebilmesi için bu husus ayrı bir önem arz etmektedir. Kullanıcının bu ihtiyacı göz önünde bulundurularak ortaya konulan başarı kriteri de test edilmiştir. Sistemin üzerinde servo motorlar aracılığıyla hareket eden iki eksenli bir mekanizma bulunmaktadır. Bu mekanizmanın uç kısmına yerleştirilen mürekkep emdirilmiş sünger, yer istasyonundan verilen komutla işaretleme işlemini gerçekleştirmektedir. İlgili kriter de laboratuvar ortamında test edilerek doğrulanmıştır.

Sistemin tam yük durumunda 1000 gr yüzeye kuvvet uygulaması gereksinimi test edilirken piller platform üzerinde takılmamıştır. Bunun nedeni platform üzerinde bulunduğu anda ağırlıktan dolayı motorların toplamda yaklaşık 240 amper güç çekmesidir. Bu durum bileşenlerin tehlikeli derecede ısınmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple test yapılırken sistem yerden beslenmiş ve üzerine 1950 gr yük bağlanmıştır. Test sonunda yüzeye sistem 180 derecede asılı kalarak en az 1000 gr kuvvet uygulama şartını sağlamıştır.

Geliştirilen prototipte motorların ya da bataryaların birinin arıza yapması durumu göz önünde bulundurulmuştur. Sistem mimarisinde de görüleceği üzere motorlar, motor sürücüleri ve bataryalar ayrı kaynaklardan beslenecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede ilgili parçalardan birinde yaşanacak bir arıza durumunda prototipin görevi, güvenle sonlandırabilmektedir. Bu güvenlik önlemi yazılımsal geliştirmelerle ilerleyen aşamalarda güçlendirilerek sistemi arızalara karşı daha korumalı hale getirebilecektir.

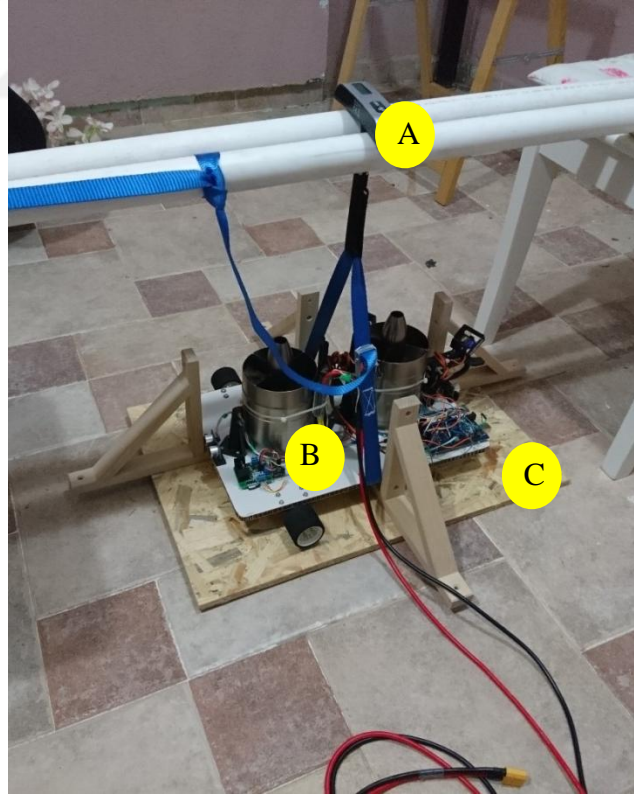
Başarı kriterlerinden bir diğeri ise geliştirilen sistemin taşıma kolaylığı olması açısından 10 kg altında olmasının istenmesidir. 10 kg sınırı uçak sistemlerinde hat bakımda değiştirilebilir 4MCU standardında bir elektronik kutunun, en fazla izin verilen ağırlık baz alınarak belirlenmiştir. Prototipte en büyük ağırlıkları bataryalar oluşturmaktadır. Teorik olarak platform yaklaşık 6500 gr gelerek bu şartı da sağlamıştır.

Doğrulama testlerinin en son testi ise yere görüntünün sağlıklı olarak aktarılmasıdır. Bu ister, platform üzerindeki kameranın wifi bağlantısı kullanılarak yere görüntü aktarımı sağlanarak karşılanmıştır. Mobil telefona yüklenen uygulama aracılığıyla kamera tarafından alınan görüntü yere aktarılarak doğrulama testleri tamamlanmıştır.

Geçerli kılma testleri havacılık bakım onarım süreçlerinde kullanılacak henüz onaylanmış bir yöntem ve bakım teçhizatı olmadığı için uçuşa elverişliliği olan bir uçak üzerinde denenememiştir.

4.2.1. Motor itki sistemi kuvvet ölçümleri

Motor itkisinin test edilmesi için basit bir test düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 4.4). Bu düzende ölçüm yapılırken prototip askıda kalacak şekilde elektronik dinamometreye bağlanmıştır. Aşağıda sırasıyla görseller kullanılarak açıklanmıştır (Şekil 4.4.-Şekil 4.6).



Şekil 4.4. Ölçüm sistemin genel görünüşü

A: Kuvvet ölçümünü gerçekleştiren dinamometredir.

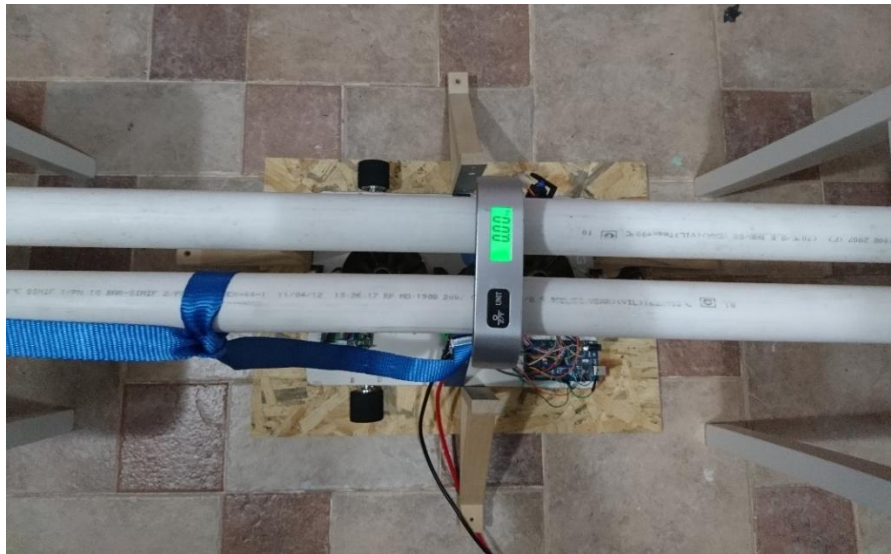
B: Tez çalışması kapsamında geliştirilen prototiptir. Ve askıda kalacak şekilde kayışla bağlanmıştır.

C: Sistemin x ve y eksenlerinde ki hareketlerini kısıtlayarak sadece z ekseninde hareket etmesini sağlamak amacıyla yapılan platformdur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Ölçüm eksenini dışındaki eksenlerde sistem hareketini kısıtlayan platform

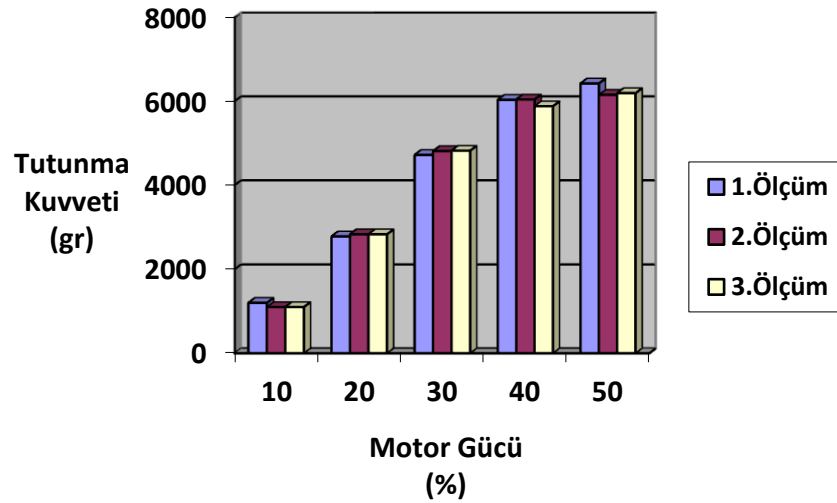
Sistem bağlandığında ölçüm öncesi sistemin darası alınmıştır. Bu şekilde itki sistemi çalıştırıldığında motorların ürettiği net kuvvetin ölçülmesi sağlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Sistemin üstten görünüşü

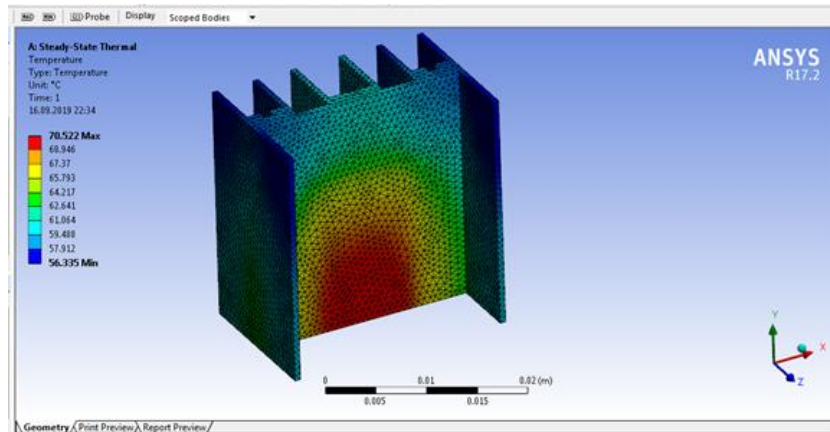
Çizelge 4.1. Başarı kriterleri test sonuçları

Başarı Kriteri	İstenilen Değer	Ölçülen Değer	Test Yöntemi
Tutunma kuvveti	0-45° eğimde \geq 1000 gr	1133,3 gr	Cihaz, yerçekimi yönündeki kuvveti ölçen bir düzeneğe üzerine yerleştirilmiştir ve IMU sensörü farkı eğimlerde tutularak test gerçekleştirilmiştir
Tutunma kuvveti	45-90° eğimde \geq 6000 gr	6253,3 gr	
Eğimde tutunma kuvveti	90-135° \geq 6000 gr	6253,3 gr	
Eğimde tutunma kuvveti	135-180° \geq 4000 gr	4783,3 gr	
Kablo sıcaklığı	Maksimum 2dk süre ile 70 °C	42 °C	Cihaz 2dk süre ile maksimum kuvvet uygulayacağı durumda çalıştırılmış ve lehim noktasında termokupl ile kablo sıcaklığı ölçülmüştür
İlerleme hızı	Minimum 0,07 m/s	0,064 m/s	Cihaz uzaklıkları belirli iki nokta arasında süre tutularak hareket ettirilmiştir ve buradan gerçek hız bilgisine ulaşılmıştır
Ağırlık	Maksimum 10 kg	2100 gr	Cihaz tartı mekanizmasına yerleştirilerek toplam ağırlığı ölçülmüştür
Kablosuz video aktarım hızı	40 fps	60 fps	Çekilen örnek video üzerinden saniyedeki kare bilgisi alınmıştır
Kamera çözünürlüğü	1080x720 piksel	1920x1080 piksel	Çekilen örnek video üzerinden çözünürlük bilgisi alınmıştır
Engelden korunma mesafesi	20-50 cm	30cm	Cihaz ilerleme esnasında engeli algılayarak durduğu mesafe ölçülerek tespit edilmiştir
Besleme gerilimi	24 V DC maksimum	24V DC	Besleme gerilimi multimetre ile ölçülerek tespit edilmiştir



Şekil 4.7. Tutunma kuvveti ölçümleri grafiği

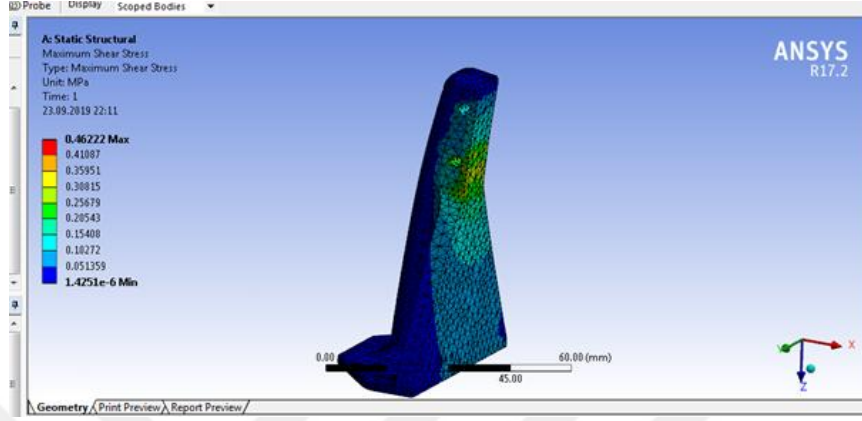
Çalışma kapsamında kullanılan motor sürücü devre için sıcaklık analizi yapılmıştır. Kart üzerindeki ısınan entegreleri soğutan fin yapısı, entegrenin çalışma sıcaklığını geçmediğini doğrulamak için ANSYS programı ile analiz edilmiştir (Şekil 4.8). Analiz şartları motorların tam yükte çalıştığı durumlar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bu durumda entegrenin çalışabileceği en yüksek sıcaklık 75 derece iken, kullanılan soğutma finleri üzerinde en fazla 70 derece sıcaklık olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.8. Sıcaklık analizi sonucu

Tasarımda bir diğer kritik bileşen ise motorları tutan kollardır. Bu kollar motorların uyguladığı basma kuvvetleri uygulanarak test edilmiştir. Malzeme olarak ABS plastik malzemesinden ve doludan işlenmiş bir üretim yapıldığı varsayımı

yapılmıştır. Şekil 4.9’da gösterilen analizde oluşan en yüksek gerilme 0,46 MPa çıkmıştır. ABS plastik için akma değeri 65 MPa olduğu göz önünde bulundurulursa kolların basma kuvvetinden dolayı oluşan gerilmelerin güvenli bölge içinde kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Gerilme analizi sonucu

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, uçakların sefer aralarında ve hangarlarda yapılan bakım işlemleri sırasında; yıldırım ve dolu kaynaklı yapısal hasar muayene işlemlerinin daha kısa sürede ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayan bir cihazın tasarımı ve prototip üretimi yapılmıştır. Geliştirilen cihaz, üzerinde sayısal kamera ile aldığı görüntüleri kablosuz olarak yer bilgisayarına gönderebilmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen cihaz, iki adet dairesel kanallı fanla oluşturulan itki sayesinde uçak üzerindeki farklı eğimlerdeki yüzeylere tutunabilmektedir. Yüze tutunan cihaz elektrik tahrikli motor sayesinde tutunduğu yüzeyde hareket edebilmektedir.

Tasarım çalışmaları, THY Teknik'in ihtiyaçları göz önüne alınarak belirlenen tasarım konsepti esas alınarak yürütülmüştür. Tasarlanan cihazın bir prototipi üretilmiştir. Üretilen prototip, yapılan tasarımı doğrulamak ve geçerli kılmak, geliştirilen cihazın uçaklarda kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla yere dik ve paralel yüzeylerde gezdirilerek denenmiştir. Yapılan doğrulama çalışmalarından geliştirilen sistemin uçak gövdelerindeki yapısal hasarların tespitinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Dördöner sistemlerin havalimanlarında kullanımı havacılık otoritelerince yasaklanmıştır. Yapısal hasar kontrolünde iskele gibi yapıların kullanımı ise taşıma vb. zorluklar nedeniyle mümkün olmamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen cihazın yapısal hasar kontrolünde kullanımına engel olan bir durum bulunmamaktadır. Geliştirilen cihaz kullanılarak uçak yolcu kapısında iken bile yapısal muayene yapmak mümkündür. Geliştirilen cihaz, kameralar dışında farklı faydalı yükleri de taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen cihaz tüm faydalarına rağmen diğer alternatiflerle kıyaslandığında gürültü seviyesi yönünden dezavantajlı konumdadır. Bu olumsuzluğun kaynağı; itki oluşturmak için kullanılan pervane sistemidir. Pervaneli sistemler yüksek hava debisi ile çalıştıkları için aeroakustik kaynaklı gürültüye neden olmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda cihazın gürültü seviyesinin düşürülmesini sağlayacak iyileştirmeler yapılabilir. Geliştirilen cihazın bir diğer dezavantajı ise anlık olarak 120 amper akım gerektiren yüksek güç ihtiyacıdır. Cihazın yüksek akım çekmesi nedeniyle yüksek kapasiteli batarya kullanımı yüzünden cihaz ağırlığı artmakta bu nedenle batarya kullanımı mümkün olamamaktadır. Ancak, geliştirilen cihaz yerdeki bir enerji kaynağından beslendiğinde bu olumsuzluk ortadan kaldırılabilir. Bu

nedenle, geliştirilen cihaz yerdeki enerji kaynağından beslenebilir bir sistem olarak tasarlanmış dolayısıyla muayene yapan personelin yer aracından enerji alarak muayene yapmasına imkan sağlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında ortaya çıkarılan katma değerli ürün prototipi, rakiplerine göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip yenilikçi bir üründür. Bu ise kullanıcıya farklı faydalı yüklerle operasyonu yapabilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen cihaz, kullanıcının operasyon kriterleri göz önünde bulundurularak iyileştirilebilir ve sürü halinde hareket ederek ilgili işlemi çok kısa sürede tamamlayabilen bir platforma dönüştürülebilir.

Geliştirilen cihaz, uçakların yapısal hasar kontrolünde kullanılabilmesi için havacılık otoritelerinin süreçlerine göre sertifikasyon veya eşdeğerlik süreçlerine tabi tutulmalıdır. Olası güç kesilmeleri veya arıza durumlarında cihazın tutunduğu yüzeyden düşerek kendine veya uçağa zarar vermesini engellemek için cihaz, bir ucu uçak gövdesine vantuzla bağlanmış bir kabloya bağlanabilir.

Diğer yandan, cihaz ile alınan sayısal görüntülerin yer bilgisayarında yapay sinir ağları, derin öğrenme vb. yöntemler kullanılarak işlenmesi ve sınıflandırılması, muayene sonuçlarının raporlanması için bir görüntü işleme yazılımına ihtiyaç bulunmaktadır. Geliştirilen prototipte kullanılan kontrol kartı daha güvenilir operasyon için endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek daha güvenilir bir kontrol kartı ile değiştirilmelidir.

KAYNAKLAR

A Wall-climbing Drone Capable of Soft Landing using Tilt-rotor Mechanism [online], <https://www.youtube.com/watch?v=i0h9MVeIWas>, [Ziyaret Tarihi: 11 Nisan 2019].

Aircraft inspection robot, http://www.nzherald.co.nz/business/news/article.cfm?c_id=3&objectid=11646277, [Ziyaret Tarihi: 14 Ocak 2017].

City Climber Robot [online], <https://robotics.cuny.cuny.edu/research/cityclimber>, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2017].

Climbing Robot For Aircraft Inspections [online], <http://australianaviation.com.au/2016/05/air-new-zealand-trials-wall-climbing-robot-for-aircraft-inspections/>, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2017]

Climbing Robot For Aircraft Inspections [online], <http://www.ceasiomag.com/2016/12/aircraft-inspection-made-easy-fly-safely-morfi-igus-bearing-technology0>, [Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2017].

Dalkılıç, H. ve Özcanhan, M. H., 2016, Gömülü Sistem Tabanlı Model Mobil Aracın Akıllı Telefonla Uzaktan Kontrolü, *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, Aydın.

Diegel, O., Badve, A., Bright, G., Potgieter, J., Tlale, S., 2002, Improved mecanum wheel design for omni - directional robots, *Australasian Conference on Robotics and Automation*, Auckland, 117-121.

Disney VertiGo [online], http://www.upi.com/Odd_News/2015/12/30/Disney-shows-off-VertiGo-wall-climbing-robot-car/9461451494374/, [Ziyaret Tarihi: 14 Ocak 2017].

Electrostatics: Good for Robot Grippers, and Lots More [online], <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/electrostatic-robot-grippers>, [Ziyaret Tarihi: 7 Nisan 2019].

Guo., J. and Tailor, M. and Bamber, T. and Chamberlain, M. and Justham, L. and Jackson, M. 2016, Investigation of relationship between interfacial electroadhesive force and surface texture. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 49. 035303. 10.1088/0022-3727/49/3/035303.

Haik, Y. and Shahin, T., (2010), Engineering Design Process. *Cengage Learning*,

Hobby King Mercury Aluminum Alloy 104mm 11 Blade EDF Unit CCW (6S 1900KV) [online], https://hobbyking.com/en_us/mercury-aluminum-alloy-104mm-11-blade-edf-unit-ccw-6s-1900kv.html?__store=en_us, [Ziyaret Tarihi: 5 Eylül 2019]

- Invert robotic [online] , <http://www.nzvif.co.nz/portfolio/case-studies/invert-robotics/>, [Ziyaret Tarihi: 14 Ocak 2017]
- Jalamkar, D. and Selvakumar, A. A., 2016, Use of Internet of Things in a Humanoid Robot - A Review, *Advances in Robotics & Automation*, 5 (2), 149.
- Johnson, R. J. and Suid, M. H., 2015 , Pressure Control Of Wall Climbing Robot Using Pid Controller, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10 , 9825-9829.
- Juang, H. S., and Lum, K. Y., 2013, Design and Control of a Two-Wheel Self-Balancing Robot using the Arduino Microcontroller Board, *10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA) Hangzhou, China*, 634-639.
- Kadir, W. and Samin, R. E. And KSM K. I., Babul S., 2012, Internet Controlled Robotic Arm, *Procedia Engineering*, 41, 1065-1071.
- Karacı, A. ve Erdemir, M., 2017, Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı Ve Denetimi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (4), 435-449.
- Kim, S. and Kim, H. B., 2010, High Resolution Mobile Robot Obstacle Detection Using Low Directivity Ultrasonic Sensor Ring, *6th International Conference on Intelligent Computing*, Changsha, 18-21.
- Lin, J. R., Talty, T. and Tonguz, O., 2015, On the potential of bluetooth low energy technology for vehicular applications, *IEEE Communications Magazine*, 53 (1), 267-275.
- Longo, D. and Muscato, G., 2006, The Alicia3 climbing robot: a three-module robot for automatic wall inspection, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13 (1), 42-50.
- Nagakubo, A. and Hirose, S., 1994, Walking and running of the quadruped wall-climbing robot, *Proceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation*, San Diego, 1005-1012.
- Nishi A., 1991, A Wall Climbing Robot For Inspection Use, *Proceedings of the 8th ISARC, Stuttgart, Germany*, 267-274
- Pack, R. T. and Christopher, J. L. And Kawamura K., 1997. A Rubbertuator based structure-climbing inspection robot, *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, USA, 1869-1874
- Researchers at Luleå University of Technology prove robots can handle aircraft inspection [online], <https://www.youtube.com/watch?v=vLDw2sbT2ds>, [Ziyaret Tarihi: 5 Nisan 2019]

- Sadeghi, H.M. and Moradi, A., 2008, Design and Fabrication of a Column-Climber Robot (Koala Robot), *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2 (5), 656-661.
- Sarik, J. and Kymissis, I., 2010, Lab kits using the arduino prototyping platform, *IEEE Frontiers in Education Conference*, Washington, 1-5.
- Siegel, M. and Gunatilake, P., 1998, Remote Enhanced Visual Inspection of Aircraft by a Mobile Robot, *IEEE Workshop on Emerging Technologies*, St. Paul, MN, USA, 49-58.
- Solar Panel Cleaning [online], <https://www.serbot.ch/en/solar-panel-cleaning>, [Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2017]
- Soygüder, S. ve Alli, H., 2008, Çok yönlü tekerleklere sahip bir mobil robotun tasarımı ve modelinin gerçekleştirilmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 111-120.
- Şahin, I. ve Yalvaç, M., 2012, Myrobot: Kablosuz kontrol edilebilen mobil araştırma robotu, *Education Sciences*, 7 (1), 340-347.
- Tonbul, T. ve Sarıtaş, M., 2013, Beş eksenli bir edubot robot kolunda ters kinematik hesaplamalar ve yörünge planlaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 145-167.
- Tummala, R.L., Mukherjee, R., Xi, N., Aslam, D., Dulimarta, H., 2002, Climbing the walls: presenting two under actuated kinematic designs for miniature climbing robots, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 10-19.
- Ünver Ö. ve Çalış A., (2013), “Mikro-Fiber Yapılar Kullanan Tırmanan Robotun Tasarımı Optimizasyonu Ve Üretimi”, Yüksek Lisans, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-61.
- Ünver, Ö. ve Yasan, Ö. B., (2013), “Ferromanyetik Yüzeyle Tırmanabilen Robot Tasarımı”, Yüksek Lisans, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-60.
- Wall climbing robot, [online], https://www.youtube.com/watch?time_continue=8&v=WC8XtH9i7qk, [Ziyaret Tarihi: 7 Nisan 2019]
- Xiao, J. and Sadegh, A. 2007, *City-Climber: A New Generation Wall-Climbing Robots*, 10, 5772/5090.
- Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. ve Karakuzu, C., 2017, Kablosuz Eldiven Sistemi ile Kontrol Edilen Robot Kol Tasarımı, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 9 (2), 35-42.

Zhang, H., Zhang, J., Zong, G., Wang, W., Liu, R., 2006, Sky cleaner 3: a real pneumatic climbing robot for glass-wall cleaning, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13 (1), 32-41.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kerem Said GÜRMAN
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorlu / 14.08.1991
Telefon : 0541 505 60 86
Faks : -
E-Posta : saidgurman@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Halide Edip Adıvar Lisesi	Üsküdar	İstanbul	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	Selçuklu	Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015- Devam ediyor	Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.	Arge Başkanlığı Mekanik Sistemler Şefi

UZMANLIK ALANI

-

YABANCI DİLLER

İngilizce

KATILDIĞI SEMPOZYUMLAR

Gürman K.S., Çakan A., Botsalı M.F., 2019, “Pervane İtkisi İle Uçak Yüzeyinde Gezinen Mobil Robot Tasarımı Ve Üretimi”, 1. International Symposium On Implementations Of Digital Industry And Management Of Digital Transformation, 612-619, Konya