

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

HAFİF PLATFORM İHA'LAR İÇİN PORTATİF
ELEKTROMANYETİK KATAPULT SİSTEM
TASARIMI

Mekatronik Mühendisliği Tasarımı Raporu

G210104022 Muhammed Enes SANCAR

G210104016 Furkan Taha BADEMCİ

Danışmanı : Arş. Gör. Yusuf HAMİDA EL NASER

OCAK 2025

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

HAFİF PLATFORM İHA'LAR İÇİN PORTATİF ELEKTROMANYETİK KATAPULT SİSTEM TASARIMI

Mekatronik Mühendisliği Tasarımı Raporu

G210104022 Muhammed Enes SANCAR

G210104016 Furkan Taha BADEMCİ

Danışmanı : Arş. Gör. Yusuf HAMİDA EL NASER

Bu rapor 23.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman	Jüri	Jüri
Arş. Gör. Yusuf HAMİDA EL NASER	Prof. Dr. Durmuş KARAYEL	Doç. Dr. Ergün NART

BEYAN

Rapor içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, raporda yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammed Enes SANCAR

Furkan Taha BADEMCİ

TEŞEKKÜR

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, bize güç veren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailelerimize sonsuz teşekkürlerimi sunarız. Eğitimin her aşamasında, araştırmalarımı şekillendirirken ve kariyerimde adım atarken gösterdiğiniz anlayış, sabır ve sevgi, bugünlere ulaşmamı mümkün sağladı. Her zorluğu birlikte aşarak, bana daima doğruyu ve en iyiyi göstermeyi başardınız. Beni, bu uzun yolculukta yalnız bırakmadığınız için teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Enes SANCAR

Furkan Taha BADEMCİ

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	3
TEŞEKKÜR.....	4
İÇİNDEKİLER	5
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	8
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	9
TABLolar LİSTESİ.....	10
ÖZET.....	11
ABSTRACT.....	12
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	13
1.1. İHA'ların Tanımı ve Özellikleri.....	14
1.2. Katapult Sistemleri ve Türleri	15
1.2.1. Gazlı Katapult Sistemleri	15
1.2.2. Yaylı Katapult Sistemleri.....	16
1.2.3. Elektromanyetik Katapult Sistemleri	16
1.3. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı	17
BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ARAŞTIRILMASI.....	18
2.1. Roket ve Füze Fırlatma Sistemleri	18
2.2. Uçak Gemileri	19
2.3. Savunma Sistemleri	20
2.4. Kurtarma Operasyonları.....	21
2.5. Sivil Taşımacılık	21
2.6. Uzay Araştırmaları.....	22
BÖLÜM 3. KAVRAMSAL TASARIM	23
3.1. Tasarım Şartnamesi.....	23

3.2. Kullanılacak Alt Sistemler	24
3.2.1. Bobin.....	24
3.2.2. Mıknatıslar.....	25
3.2.3. Hall Effect Sensörleri.....	27
3.2.4. MOSFET	28
3.2.5. Batarya	29
3.2.6. Taşıyıcı Ray ve İHA Taşıyan Bölüm.....	29
3.2.7. Loadcell (Yük Hücresi).....	30
3.2.8. Switch (Anahtar).....	30
3.2.9. Şok Emici	30
3.2.10. Mikrodenetleyici.....	31
3.2.11. Voltaj Regülatörü	32
3.2.12. Sigorta	32
3.3. Kavramsal Tasarım Fonksiyonu	33
3.4. Olası Tasarım.....	35
BÖLÜM 4. YÖNTEM ve MATERYAL.....	38
4.1.Yöntem Tasarımı	38
4.1.1. Bobin Tasarımı ve Elektromanyetik Kuvvetler	38
4.1.2. Hız-İvme- Kuvvet Hesabı	38
4.1.3. Bobin ve Manyetik Alan Hesabı.....	39
4.1.4. Bobindeki Katman Başına Sarım Sayısı	41
4.1.5. Toplam Katman Sayısı	41
4.1.6. Bobin Yüksekliği	42
4.1.7. Katman Başına Sarım Yoğunluğu:.....	42
4.1.8. Direnç Hesabı	43
4.1.9. Endüktans Formülü.....	44

4.1.10. Rezonans Hesabı:	44
4.1.11. Manyetik Alan Hesabı:	44
4.1.12. Elektromanyetik Kuvvet	47
4.1.13. Güç Ünitesi ve Enerji	51
4.1.14. Kontrol Devresi ve Kontrol Yazılımı	54
4.1.15. Mekanik Bileşenlerin Tasarımı	55
4.1.16. Güvenlik Elemanları	58
4.2. Kullanılan Materyaller	59
4.2.1 Elektronik Komponentler	59
4.2.2. Mekanik Komponentler	63
4.2.3 Maliyet Analizi	66
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	67
KAYNAKLAR	68
EKLER	71
STANDARTLAR VE KISITLAR FORMU	73

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

IHA	: İnsansız Hava Aracı
MOSFET	: Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
EMALS	: Elektromanyetik Uçak Fırlatma Sistemi
UT-CEM	: Elektromekanik Merkezi - Austin Texas Üniversitesi
LSP	: Cankurtaran Projeksiyonları
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğrusal Akım
H	: Henny (Endüktans Değeri)
N	: Kuzey Kutbu
S	: Güney Kutbu
F3O4	: Manyetit Kimyasal Formülü
AlNiCo	: Alüminyum Nikel Kobalt Alaşımı
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
CPU	: Merkezi İşlemci Birimi
E	: Enerji
T	: Tesla
Ω	: Ohm (Direnç)
L	: Bobin
C	: Kapasitör
ADC	: Analog Dijital Çevirici
PLA	: Polilaktik Asit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Sistem Ana Fonksiyonu	34
Şekil 2: Sistem Alt Fonksiyonu.....	34
Şekil 3: Kablo Çapının Manyetik Alana Etki Grafiği	40
Şekil 4: Bobin Uzunluğunun Manyetik Alana Etki Grafiği	40
Şekil 5: Sarım Sayısının Manyetik Alana Etki Grafiği	43
Şekil 6: Nüve malzemesinin Manyetik Alana Etki Grafiği	45
Şekil 7: Sistem Bütünleşik Görseli	47
Şekil 8: Uzaklığın Manyetik Alana Etki Grafiği.....	49
Şekil 9: Bobin Merkezinden Mıknatısa Olan Uzaklık Gösterimi	49

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Tasarım Şartnamesi.....	23
Tablo 2: Sabit Parametreler Tablosu	50
Tablo 3: Maliyet Tablosu	66

ÖZET

Anahtar kelimeler: İHA, Elektromanyetik Fırlatma, Portatif Sistem, Neodyum Mıknatıs, Katapult

Hafif Platform İHA'lar için tasarlanan portatif elektromanyetik katapult sistemi, Mini Talon gibi küçük ölçekli İHA'ların dar alanlarda hızlı ve güvenli kalkışını sağlamayı amaçlayan yenilikçi bir mühendislik çözümüdür. Çalışmada, elektromanyetik sistemlerin hassas hız kontrolü, düşük bakım ihtiyacı, enerji verimliliği ve tekrar kullanılabilirlik gibi avantajları ön plana çıkarılmıştır. Tasarım sürecinde bobin, mıknatıs, hall etkisi sensörleri, MOSFET, batarya ve kapasitör gibi bileşenler detaylı şekilde incelenmiş ve seçilmiştir. Sistemin, 1.5 kg ağırlığındaki bir İHA'yı 12 m/s hızla fırlatabilmesi için hız, ivme, manyetik alan ve kuvvet hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Proje, taşınabilirliğin yanı sıra kullanıcı dostu bir yapıya sahip olmasıyla dikkat çekmektedir. Elektromanyetik katapult sistemlerinin sunduğu enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik özellikleri, bu teknolojiyi sivil taşımacılık, askeri savunma, kurtarma operasyonları ve uzay araştırmaları gibi geniş bir uygulama alanında öne çıkarmaktadır. Bu bağlamda, çalışma hem teorik hem de uygulamalı mühendislik bilgilerini birleştiren kapsamlı bir tasarım ve analiz sürecini içermektedir.

ABSTRACT

Keywords: UAV, Electromagnetic Launch, Portable System, Neodymium Magnet, Catapult

The portable electromagnetic catapult system designed for lightweight platform UAVs is an innovative engineering solution aimed at enabling the quick and safe launch of small-scale UAVs, such as Mini Talon, in confined spaces. The study highlights the advantages of electromagnetic systems, including precise speed control, low maintenance requirements, energy efficiency, and reusability. The design process meticulously examined and selected components such as coils, magnets, Hall effect sensors, MOSFETs, batteries, and capacitors. Calculations for speed, acceleration, magnetic field, and force were conducted to ensure the system could launch a 1.5 kg UAV at a speed of 12 m/s. The project stands out for its portability and user-friendly design. The energy efficiency and environmental sustainability of electromagnetic catapult systems position this technology as a promising solution for a wide range of applications, including civil transportation, military defense, rescue operations, and space exploration. This work integrates both theoretical and practical engineering knowledge into a comprehensive design and analysis process.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektromanyetik fırlatma sistemleri, modern teknolojinin sunduğu yenilikçi çözümler arasında yer almakta ve çeşitli alanlarda geniş bir kullanım potansiyeli sunmaktadır. Wenxin Li ve çalışma arkadaşlarının yaptığı çalışmada, uçak gemisi tabanlı uçak mancınık sistemlerinde elektromanyetik fırlatma teknolojisinin avantajları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu sistemlerin geleneksel buhar mancınıkların kıyasla daha düşük ağırlık ve hacme sahip olduğu, enerji verimliliği ve esneklik sağladığı belirtilmiştir.

Wenxin Li ve ark. elektromanyetik katapult teknolojisinin yalnızca deniz platformlarında değil, kara ve diğer zorlu arazi koşullarında da uygulanabilirliği üzerinde durulmaktadır. Tasarlanan sistemin insansız hava araçlarının (İHA) hızlı ve güvenli bir şekilde fırlatılmasını sağlaması hedeflenmektedir. Elektromanyetik katapult düşük bakım maliyeti, ayarlanabilir hız kapasitesi ve tekrar kullanılabilirlik gibi avantajları, bu teknolojiyi geniş bir yelpazede uygulanabilir kılmaktadır.

Bu yazıda, elektromanyetik katapult sisteminin tasarımı ve farklı kullanım alanları ele alarak, bu yenilikçi teknolojinin kara ve deniz platformlarındaki potansiyeli ortaya konulması amaçlanmaktadır. [1]

1.1. İHA'ların Tanımı ve Özellikleri



Resim 1: Hazır Gövde Mini Talon Uçağı

İnsansız Hava Araçları (İHA), insan müdahalesi olmadan veya uzaktan kontrol edilerek uçabilen, çeşitli sensörler ve teknolojilerle donatılmış gelişmiş hava araçlarıdır. Günümüzde askeri, ticari ve sivil birçok alanda aktif olarak kullanılan İHA'lar, keşif, gözetleme, tarım, lojistik ve acil yardım gibi farklı alanlarda önemli katkılar sunmaktadır.

İHA'ların tasarımları ve kullanım amaçları, sahip oldukları kalkış ve iniş sistemleri ile doğrudan ilişkilidir. Daha büyük ve gelişmiş modeller genellikle iniş takımlarına sahipken, daha hafif ve küçük ölçekli İHA'larda bu donanım bulunmaz. Bu tür İHA'lar, genellikle katapult sistemleri ile fırlatılarak havalanır. Katapult sistemleri, hem İHA'nın ağırlığını azaltır hem de dar alanlarda operasyon gerçekleştirme avantajı sağlamaktadır. İniş sırasında ise paraşüt veya tamponlu iniş mekanizmaları gibi sistemler kullanılır. İniş takımı olmayan İHA'ların güvenli bir şekilde havalanması, doğru tasarlanmış bir fırlatma mekanizması ile mümkün olmaktadır.[2]

1.2. Katapult Sistemleri ve Türleri

Katapult sistemleri, nesneleri hızlandırarak belirli bir mesafeye fırlatmak için kullanılan mekanizmalardır. İHA'ların kalkışı için kullanılan katapult sistemleri, teknolojilerine göre üç ana gruba ayrılır: gazlı, yaylı ve elektromanyetik sistemler.

1.2.1. Gazlı Katapult Sistemleri



Resim 2: Gazlı Katapult Sistem

Gazlı katapult sistemleri, sıkıştırılmış gazın enerjisinden faydalanarak İHA'yı hızlandırmaktadır. Yüksek başlangıç gücü sağlayan bu sistemler, daha büyük ve ağır İHA'lar için uygundur. Ancak, gaz tüplerinin taşınması ve depolanması zorluk yaratmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin yüksek bakım gereksinimi operasyonel maliyetleri arttırmaktadır. Taşınabilirlik açısından sınırlı olan gazlı katapult sistemleri, hafif ve kompakt çözümler için genellikle tercih edilmemektedir.

1.2.2. Yaylı Katapult Sistemleri



Resim 3: Yaylı Katapult Sistem

Yaylı katapult sistemleri, sıkıştırılmış yayların depoladığı enerjiyi kullanarak fırlatma işlemini gerçekleştirir. Bu sistemler, düşük maliyetli ve basit bir yapıya sahip olmaları nedeniyle popülerdir. Ancak, zamanla yayların deformasyona uğraması, sistem performansını düşürmektedir. Ayrıca, sınırlı itki gücü nedeniyle daha ağır İHA'lar için uygun değildir. Yaylı katapult sistemleri, genellikle düşük maliyetli ve küçük ölçekli operasyonlarda kullanılmaktadır.

1.2.3. Elektromanyetik Katapult Sistemleri

Elektromanyetik katapult sistemleri, elektrik akımıyla üretilen manyetik alanları kullanarak İHA'ları hızlandırmaktadır. Bu sistemler, hassas kontrol yeteneği ve düşük bakım ihtiyacıyla dikkat çekmektedir. Taşınabilirlik açısından avantajlı olan elektromanyetik katapultlar, özellikle küçük ölçekli ve kompakt tasarımlar için idealdir. İlk yatırım maliyeti diğer sistemlere göre daha yüksek olsa da, uzun vadede sağladığı enerji verimliliği ve güvenilirlik bu maliyeti dengelemektedir. Elektromanyetik sistemler, yenilikçi bir çözüm olarak İHA kalkış mekanizmalarında öne çıkmaktadır.

1.3. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Küçük ölçekli ve hafif İHA'lar için kullanılan mevcut kalkış sistemleri, genellikle sabit ve ağır platformlar için tasarlanmıştır. Bu durum, taşınabilirlik ve pratiklik açısından ciddi kısıtlamalara yol açmaktadır. Geleneksel gazlı ve yaylı sistemlerin ağır ve hantal yapıları, dar alanlarda kullanımı zorlaştırır iken, sık bakım ihtiyacı ve düşük hassasiyet gibi sorunlar operasyonel güvenliği olumsuz etkiler.

Bu çalışmada, bu sorunlara yenilikçi bir çözüm sunmak amacıyla elektromanyetik fırlatma teknolojisinin uygulanacağı taşınabilir bir katapult sistemi tasarlanması hedeflenmiştir. Tasarlanacak sistem, düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir ve kolay taşınabilir bir yapıya sahip olacaktır. Ayrıca, sahada hızlı kurulabilen ve tek kişi tarafından taşınabilen bir çözüm olarak geliştirilecektir. Çalışma, elektromanyetik fırlatma teknolojisinin İHA uygulamalarındaki potansiyelini artırarak sektöre yeni bir perspektif kazandırmayı amaçlamaktadır.

Bu proje ile küçük ölçekli İHA'ların kalkış süreçlerini daha güvenli, verimli ve pratik hale getirmek mümkün olacak, böylece taşınabilir elektromanyetik sistemlerin kullanım alanları genişletilmesi amaçlanmaktadır.



Resim 4: Katapult Kullanan İHA Personeli

BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ARAŞTIRILMASI

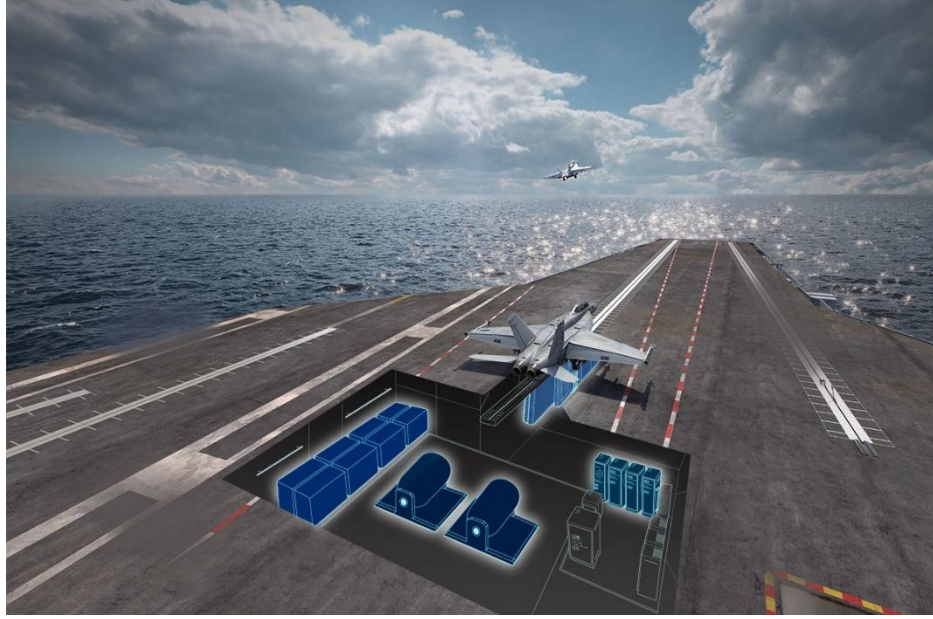
Elektromanyetik fırlatma sistemleri, teknolojik gelişmelerle birlikte geleneksel fırlatma yöntemlerine yenilikçi alternatifler sunan, enerji verimliliği ve çevresel uyum açısından üstün özelliklere sahip sistemlerdir. Bu teknolojiler, askeri uygulamalardan sivil taşımacılığa kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır.

2.1. Roket ve Füze Fırlatma Sistemleri

Elektromanyetik fırlatıcılar, roket ve füze sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Geleneksel kimyasal itki sistemleri, fırlatma sırasında duman, yüksek sıcaklık ve gürültü gibi çevresel etkiler yaratır. Bu etkiler, özellikle askeri operasyonlarda gizlilik açısından ciddi bir dezavantaj oluşturabilir. Elektromanyetik fırlatıcılar, bu dezavantajları ortadan kaldırarak sessiz ve çevre dostu bir çözüm sunar.

Bu sistemler, roketlerin atmosferik geçişini optimize ederek fırlatma sürecinde enerji verimliliğini artırır. Mobil platformlara kolayca entegre edilebilir olmaları, bu teknolojiyi özellikle taşınabilir füze fırlatma sistemleri için ideal bir çözüm haline getirir. Ayrıca, esnek yapılarına bağlı olarak farklı projelere kolayca adapte edilebilir. Yapılan çalışmalar, elektromanyetik sistemlerin roketlerin güvenliğini artırdığını ve fırlatma maliyetlerini düşürdüğünü göstermiştir.

2.2. Uçak Gemileri



Resim 5: Elektromanyetik Uçak Fırlatma Sistemleri

Uçak gemilerinde kullanılan geleneksel buharlı katapult sistemleri, yoğun bakım gereksinimleri ve büyük boyutları nedeniyle sınırlamalar oluşturur. Elektromanyetik Uçak Fırlatma Sistemleri (EMALS), bu sınırlamaları aşan modern bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

EMALS, uçakların kısa pistlerde kalkış yapabilmesini sağlar ve enerji tüketiminde tasarruf sunar. Geleneksel sistemlere kıyasla düşük bakım gereksinimi ile operasyonel verimliliği artırır. Bu teknolojinin bir diğer avantajı, daha hafif uçakların kalkışını mümkün kılmasıdır. Ayrıca, uçak gemisi tasarımında daha fazla esneklik sağlayarak gemi içinde alan kullanımını optimize eder. EMALS, hem askeri hem de ticari uçaklar için fırlatma süreçlerini daha güvenli ve sürdürülebilir hale getirmektedir.[1]

2.3. Savunma Sistemleri



Resim 6: Aselsan tarafından Tasarlanmış Tufan Elektro Manyetik Top Sistemi

Elektromanyetik fırlatma teknolojilerinin gelişimi, özellikle yüksek hızlı mühimmat fırlatma sistemlerinin etkinliğini artırmak için büyük bir potansiyel sunmaktadır. A.E. Zielinski ve M.D. Werst'in çalışmasında, University of Texas at Austin, Center for Electromechanics (UT-CEM) tarafından tasarlanan hızlı ateşleme özelliklerine sahip bir ray tabancası fırlatıcı prototipi incelenmiştir. Bu sistem, 185 gramlık yükleri saniyede 5 kez 1,850 m/s hıza hızlandırabilen, su-glikol soğutmalı, 2.25 metre uzunluğunda bir ray tabancası kullanmaktadır. Çalışmanın öne çıkan özelliklerinden biri, yüksek verimliliği ile dikkat çeken bu elektromanyetik fırlatıcı da, katı bir armatur ve yapısal olarak rijit bir tasarım kullanılmasıdır. Bu sayede, gelecekteki araç entegrasyonu ve silahlandırma gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde geliştirilmiştir.

Bu tasarımın özellikleri, elektromanyetik katapultların yalnızca askeri alanda değil, farklı uygulama alanlarında da kullanılması için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Elektromanyetik fırlatma sistemlerinin özellikle kara, deniz ve hava platformlarında kullanılabilirliği, bu teknolojilerin çok yönlülüğünü ve güvenilirliğini artırmaktadır. Hızlı ateşleme kapasitesi, yüksek verimlilik ve taşıma kolaylığı gibi avantajlar, bu sistemlerin önümüzdeki yıllarda geniş çapta kullanımını mümkün kılmaktadır.

Bu yazıda, cannon-caliber elektromanyetik fırlatıcıların tasarım detayları ve farklı endüstriyel uygulamalardaki potansiyelleri ele alınmaktadır. [3]

2.4. Kurtarma Operasyonları

Su üstü kurtarma operasyonlarında etkili ve hızlı müdahale araçlarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Geleneksel yöntemler, özellikle manuel olarak fırlatılan kurtarma ekipmanlarının sınırlı menzili (10–20 m) nedeniyle geniş mesafelerde yetersiz kalmakta ve acil durumlarda hayat kurtarma potansiyelini ciddi şekilde kısıtlamaktadır. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için elektromanyetik katapult teknolojisi, kurtarma araçlarının (cankurtaran projeksiyonları, LSP) daha uzun mesafelere hızlı ve güvenli bir şekilde ulaştırılmasını sağlayan yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Örneğin, elektromanyetik fırlatma sistemleriyle 180 metre gibi uzak mesafelere hassas bir şekilde kurtarma torbalarının fırlatılması mümkün hale gelmiştir. Bu tür sistemler, sadece su üstü operasyonlarda değil, aynı zamanda zorlu arazi koşullarında malzeme ve ekipman teslimatı için de etkili bir çözüm sunmaktadır. Geleneksel basınçlı gaz sistemlerinin aksine, elektromanyetik katapultlar düşük bakım gereksinimi, esnek hız kontrolü ve güvenilirlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Çalışma, elektromanyetik katapult teknolojisinin kurtarma operasyonlarında geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu göstermektedir. [4]

2.5. Sivil Taşımacılık

Elektromanyetik fırlatma sistemleri, sivil taşımacılıkta da yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle uçakların kalkış pistlerini kısaltarak küçük ve yoğun şehirleşmiş alanlarda kalkışı mümkün hale getirir. Geleneksel sistemlere kıyasla daha

küçük altyapıya ihtiyaç duyulması, bu teknolojinin geniş bir uygulama alanına yayılmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, elektromanyetik sistemler, enerji tasarrufu ve düşük işletim maliyetleri ile çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sunar. Ulaşım altyapısının sınırlı olduğu bölgelerde, bu sistemler ekonomik ve çevresel açıdan uygulanabilir bir seçenek haline gelmektedir.

2.6. Uzay Araştırmaları

Uzay araştırmalarında elektromanyetik fırlatıcılar, roketlerin ve uyduların yörüngeye yerleştirilmesi de maliyet ve çevre dostu bir çözüm sunar. Bu sistemler, düşük maliyetli yörünge fırlatmaları için yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Elektromanyetik teknolojiler, uzay araçlarının atmosfere giriş ve çıkış süreçlerini optimize ederek enerji kullanımını azaltır ve çevresel etkileri minimize eder. Ayrıca, tekrar kullanılabilir yapıları ile uzun vadede önemli tasarruflar sağlar. Uzay araştırmalarında bu sistemlerin kullanımı, hem ticari hem de bilimsel projelerde sürdürülebilirliği artırmaktadır.[5]

BÖLÜM 3. KAVRAMSAL TASARIM

3.1. Tasarım Şartnamesi

Taşınabilir elektromanyetik katapult sistemi, dar alanlarda hafif platform İHA'larının hızlı ve güvenli kalkışını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Sistem, Mini Talon İHA gibi küçük ölçekli hava araçlarının kalkışını desteklemek amacıyla elektromanyetik kuvvetlerin avantajlarından yararlanır. Projede tasarlanacak ürünün performans, taşınabilirlik, güvenlik ve maliyet gibi tüm yönleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Tasarım şartnamesi, sistemin teknik gerekliliklerini (geometri, kinematik yapı, enerji yönetimi vb.) ve sınırlamalarını içermektedir. Gereksinimler, karşılanması zorunlu “ihtiyaçlar” (İ) ve uygulanabilirlik durumunda eklenmesi faydalı “arzular” (A) olarak ayrılmıştır. İhtiyaçlar sistemin işlevselliği için kritik öneme sahipken, arzular tasarımı daha da iyileştirmek için eklenmesi düşünülebilecek gerekliliklerdir.

Tablo 1: Tasarım Şartnamesi

Tasarım Şartnamesi	
Gereksinimler	İ/A
Geometrik ve Yapısal Özellikler:	
Hafif platform İHA'lara uygun boyut ve tasarım	İ
Taşınabilir ve kompakt yapı	İ
Hafif ve dayanıklı materyallerden imalat	İ
Mekanik güvenlik elemanları	A
Kullanım Özellikleri:	
Hızlı kurulum ve tek kişilik kullanıma uygun	İ
Dış ortama uygun tasarım	İ
Operatör için kolay kullanım arayüzü	A
Kullanım Öncesi ve sonrası durum izleme sistemleri	A
Performans Gereksinimleri:	
Ağırlığı 1.2 kg olan İHA'nın 12 m/s hıza ulaştırılması	İ
5 kullanıma kadar stabil kalkış	İ

Taşıyabilir yüksek gerilimli güç grubu	i
Güvenlik Özellikleri:	i
Kısa devre koruması	i
Aşırı yük koruması	i
Sıvı ve toza karşı devrenin korunması	A

3.2. Kullanılacak Alt Sistemler

Elektromanyetik katapult sistemi, mini İHA'ların dar alanlarda güvenli, kontrollü ve hızlı bir kalkış gerçekleştirebilmesi için çeşitli mekanik ve elektronik bileşenlerin bir araya gelmesiyle tasarlanmıştır. Aşağıda, bu projede kullanılacak tüm sistem ve parçalar detaylı şekilde açıklanmıştır.



Resim 7: Örnek Bobin

3.2.1. Bobin

Bobin, genellikle bir çekirdek üzerine sarılmış yalıtılmış iletken telden oluşan bir elektrik bileşenidir. Üzerinden elektrik akımı geçtiğinde manyetik bir alan oluşturmaktadır. Bu alan, endüktans adı verilen bir özellik sayesinde elektrik ve manyetik enerjiyi depolanmaktadır. Bobinler, alternatif akım (AC) devrelerinde reaktans oluşturarak sinyal filtreleme, empedans ayarlama ve enerji depolama gibi işlemler için kullanılmaktadır. Doğru akım (DC) devrelerinde ise elektromıknatıs görevi görerek mekanik hareket üretmek veya manyetik alan oluşturmak için kullanılabilir. Bobinin manyetik alan gücü, tel sarım sayısı, telden geçen akım ve çekirdek malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Endüktans değeri, Henry (H) birimiyle

ifade edilir ve devredeki enerji dönüşümünde kritik bir rol oynamaktadır.

Elektromanyetik katapult sisteminde elektrik akımını manyetik alana dönüştüren temel bileşenlerdir. Elektrik akımı, bobinden geçtiğinde manyetik alan oluşturur ve bu alan, bobin etrafındaki mıknatıslar veya taşıyıcı platformu iterek hızlanmasını sağlamaktadır. Sistemdeki bobinler, taşıyıcı platformun hareketini ve hızını kontrol etmektedir. Bobinlerin sırasıyla devreye girmesi, taşıyıcı platformun düzgün bir şekilde hızlanmasını sağlamaktadır. Bobinler, taşıyıcı platformun hızlanmasını sağlamak amacıyla ray boyunca belirli bir sırayla yerleştirilmiştir. Bu bobinler, neodyum mıknatıslarla etkileşime girerek itme kuvveti üretir ve platformu ileriye doğru hızlandırmaktadır. [6][7]

3.2.2. Mıknatıslar



Resim 8: Mıknatıs

Mıknatıs, çevresinde manyetik alan oluşturarak demir, nikel, kobalt gibi manyetik malzemeleri kendine çeken bir nesnedir. Mıknatısların bu özelliği, manyetik dipol adı verilen atomik düzeydeki elektron hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Bir mıknatısın manyetik alanı, kuzey (N) ve güney (S) kutuplarına sahiptir. Bu alan mıknatısın etrafında kuvvet çizgileri şeklinde yayılmaktadır. Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkiyi temel alan elektromıknatıslar gibi yapay mıknatıslar da bulunmaktadır. [8]

3.2.2.1. Doğal Mıknatıslar

Doğal mıknatıslar, doğada manyetik özellik gösteren minerallerden oluşur. Örneğin, manyetit (Fe_3O_4), doğal bir mıknatıstır ve sabit bir manyetik alan oluşturmaktadır. Ancak manyetik güçleri yapay mıknatıslara kıyasla daha düşüktür. Genellikle eğitim, jeolojik araştırmalar ve basit manyetik deneylerde kullanılmaktadır.

3.2.2.2. Yapay Kalıcı Mıknatıslar



Resim 9: Silindirik Neodyum Mıknatıs Görseli

Yapay kalıcı mıknatıslar, insan yapımıdır ve manyetik özelliklerini uzun süre koruyabilmektedir. Neodyum mıknatıslar (N52 gibi) bu grubun en güçlü türlerindendir. Kompakt boyutlarına rağmen yüksek manyetik alan oluşturmaktadır. Ferrit mıknatıslar ise daha düşük maliyetlidir ve hoparlörler, elektrik motorları gibi günlük cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. AlNiCo mıknatıslar ise yüksek sıcaklıklarda manyetik özelliklerini koruma avantajıyla endüstriyel fırınlar ve algılama cihazlarında kullanılmaktadır.[9]

3.2.2.3. Elektromıknatıslar



Resim 10: Elektro Mıknatıs Görseli

Elektromıknatıslar, bir bobinden elektrik akımı geçtiğinde manyetik alan oluşturan geçici mıknatıslardır. Akım kesildiğinde manyetik özellik kaybolur, bu da kontrol edilebilirlik sağlamaktadır. Vinçlerde metal hurdaların taşınması,

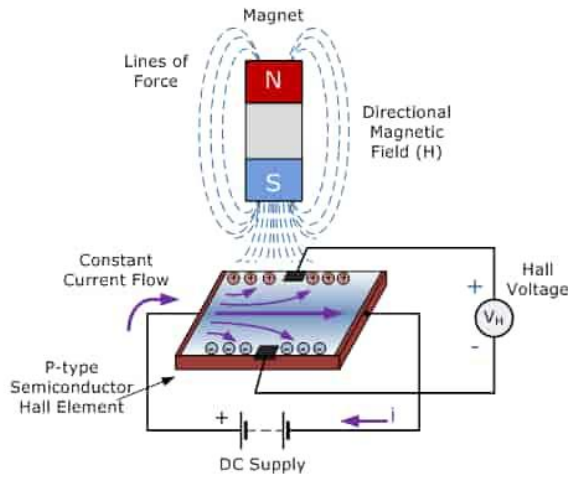
elektromanyetik trenler, elektrik motorları, jeneratörler ve MRI (manyetik rezonans görüntüleme) cihazları gibi pek çok teknolojik ve endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

3.2.2.3. Geçici Mıknatıslar

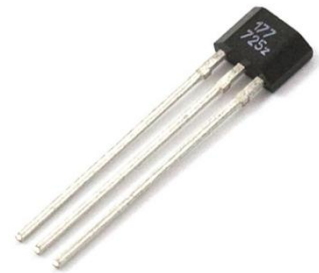
Geçici mıknatıslar, bir dış manyetik alanın etkisi altında mıknatıslanır. Manyetik alan kalktığında mıknatıs özelliklerini kaydetmemektedir. Yumuşak demir gibi malzemelerden yapılmaktadır. Elektromıknatıs çekirdeklerinde, elektrik motorlarında ve geçici manyetik tutma gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Her bir mıknatıs türü, gücü, dayanıklılığı ve uygulama alanları açısından farklı avantajlar sunmaktadır. Projelerde en uygun mıknatıs, uygulamanın gereksinimlerine göre seçilir. N52, güçlü neodyum mıknatısların en yüksek derecelerinden biridir. Bu mıknatıslar, yüksek manyetik alan güçleri üretir ve bobinlerle etkileşime girerek taşıyıcı platformun hareketini sağlamaktadır. N52 mıknatıslar, küçük boyutlarına rağmen yüksek itme kuvveti sağlayarak fırlatma işlemi sırasında platformun hızlanmasını sağlamaktadır. Neodyum mıknatıslar, bobinler tarafından üretilen manyetik alanlarla etkileşime girerek taşıyıcı platformu hızlandırmaktadır. Bu mıknatıslar, sistemin yüksek hızda ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

3.2.3. Hall Effect Sensörleri



Resim 12: Hall Effect Sensörü Çalışma Prensibi

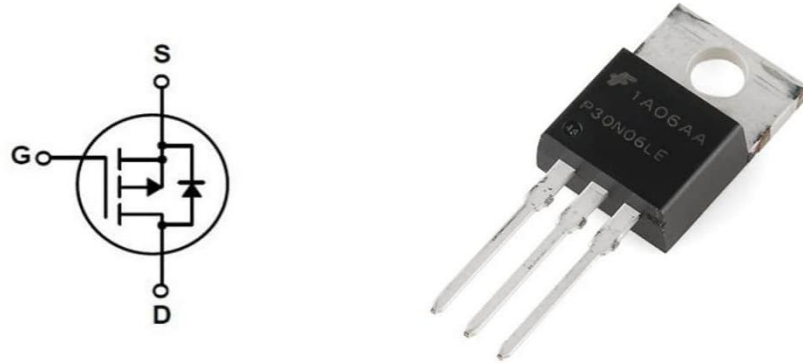


Resim 11: Hall Effect Sensör

Hall effect sensörleri, bir manyetik alanın varlığını ve büyüklüğünü tespit eden cihazlardır. Bu sensörler, manyetik alanın, akım akışına ve manyetik alana dik olarak bir gerilim (Hall gerilmesi) oluşturduğu prensibe dayanmaktadır. Genellikle pozisyon algılama, hız ölçümü ve akım ölçümü gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv sistemlerinde, robotiklerde ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hassasiyetleri yüksektir ve düşük güç tüketirler. Örneğin, düşük güçlü uygulamalarda, güvenlik sistemlerinde, Hall effect sensörleri, kapı/pencere durumlarını izlemek için kullanılabilir çünkü enerji tüketimleri minimumdur. [10]

Sistem içerisinde bu sensörler, bobinlerin sırasıyla devreye girmesini kontrol etmektedir. Mıknatısların hareketini izler ve taşıyıcı platformun hızlanmasını düzenlemektedir. Hall effect sensörleri, bobinlerin doğru sırayla devreye girmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sensörler, taşıyıcı platformun hızını ve hareketini izler, böylece fırlatma süreci stabil bir şekilde gerçekleşmektedir.

3.2.4. MOSFET



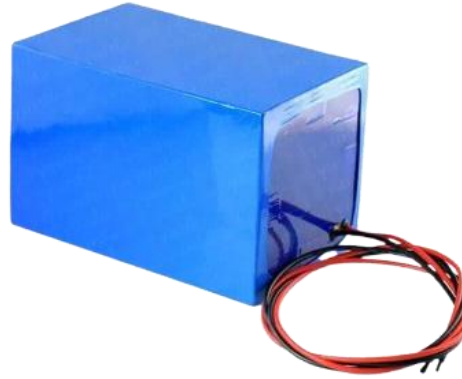
Resim 13: Mosfet ve Devre Şeması

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), voltaj kontrollü bir anahtarlama elemanıdır. Elektronik devrelerde hem anahtar hem de amplifikatör olarak kullanılmaktadır. Yapısında metal, oksit ve yarı iletken tabakalar bulunmaktadır. MOSFET, özellikle yüksek hızlı anahtarlama, düşük güç tüketimi ve yüksek verimliliği sayesinde mikrodenetleyiciler, güç elektroniği, motor sürücüler ve yenilenebilir enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Modern tasarım ve

kontrol sistemlerinde sunduğu avantajlar, onu elektrikli araçlardan telekomünikasyon cihazlarına kadar geniş bir uygulama alanında vazgeçilmez hale getirmektedir. [11]

MOSFET'ler, elektromanyetik katapult sisteminde kullanılan anahtar elemanlardır. MOSFET'ler, elektrik akımını kontrol ederek bobinlerin açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Bu sayede bobinler sırasıyla devreye girer ve taşıyıcı platformun hızlanmasını optimize etmektedir. MOSFET'ler, Hall effect sensörlerinden alınan verilerle hareket etmektedir. Bu şekilde bobinlerin sırasıyla devreye girmesini sağlamaktadır. Bu sayede taşıyıcı platformun hızlanması kontrollü bir şekilde gerçekleştirir.

3.2.5. Batarya



Resim 14: Batarya

Batarya, elektromanyetik katapult sisteminin enerji kaynağıdır. Yüksek kapasiteli bataryalar, bobinler ve diğer bileşenlere gerekli enerjiyi sağlar. Bu bataryalar, sistemin taşınabilirliğini sağlar ve şarj edilebilir özellikleriyle uzun süreli kullanıma uygundur. Batarya, taşıyıcı platformu hızlandırmak için gereken enerjiyi sağlar. Sistem, taşınabilir bataryalar sayesinde mobil kullanım için uygun hale gelir.

3.2.6. Taşıyıcı Ray ve İHA Taşıyan Bölüm

Taşıyıcı ray, taşıyıcı platformun doğrusal hareketini sağlayan ve platformun üzerinde hareket ettiği bir kanal bulunan raydır. Bu ray, taşıyıcı platformun düzgün bir şekilde hareket etmesini sağlar ve ray boyunca bobinler ve Hall effect sensörleri yer alır. Ray, ayaklar aracılığıyla açısı ayarlanabilen şekilde tasarlanır. Ray, taşıyıcı platformun düz bir çizgide hareket etmesini sağlar. Rayın açısının ayarlanabilir

olması, fırlatmanın doğruluğunu ve sistemin performansını optimize eder. Ray malzemesinin metal seçilmesi taşıyacağı yüklere ve kullanılacağı ortam şartlarına dayanıklılığı için önemlidir.

3.2.7. Loadcell (Yük Hücresi)

Loadcell, bir kuvvet veya ağırlık ölçme sensörüdür. Teknik olarak, üzerine uygulanan kuvveti elektriksel bir sinyale dönüştürerek ölçer. Bu işlem genellikle, yük altında deforme olan ve direncinde değişiklik meydana gelen bir gerinim ölçer (strain gauge) kullanılarak yapılır. Bu direnç değişikliği, elektriksel bir çıkışa dönüştürülür ve ölçülerek yorumlanır. Loadcell'ler, tek nokta, S-kiriş ve çok eksenli türler gibi farklı tasarımlarda gelir ve her biri belirli uygulamalara uygun olarak geliştirilmiştir, örneğin tartı sistemleri, endüstriyel otomasyon ve test ekipmanlarında kullanılır. [12]

Loadcell, taşıyıcı platformun üzerinde bulunan bir sensördür ve üzerine konulan İHA'nın ağırlığını ölçer. Ağırlık değeri 1.5 kg'ı geçtiğinde, sistem çalışmayı engeller ve operatöre uyarı gönderir. Loadcell, İHA'nın ağırlığını ölçerek aşırı yük durumunda sistemin çalışmasını engeller ve güvenliği sağlar.

3.2.8. Switch (Anahtar)

Switch, taşıyıcı platformun doğru başlangıç konumunda olup olmadığını fiziksel olarak kontrol eder. Platform doğru konumda değilse, sistem çalışmaz ve operatöre uyarı gönderilir. Switch, rayın en alt kısmında taşıyıcı platformun başlangıçta olacağı konumda kalkıştan önce olması gereken konumu kontrol eder. Taşıyıcı doğru konumdaysa, operatöre atışa hazır bilgisi gönderilir.

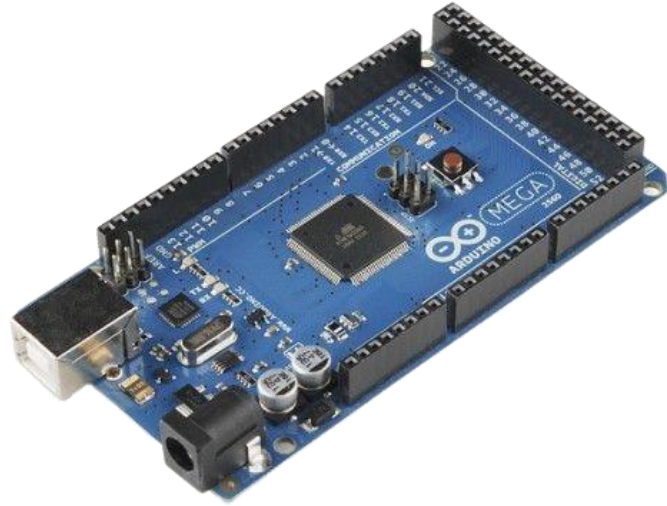
3.2.9. Şok Emici

Şok emici, genellikle titreşimleri ve darbeleri azaltmak amacıyla kullanılan bir mekanik cihazdır. Çalışma prensibi, kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek sistemin hareketini yavaşlatmaktadır. Şok emiciler, araçlarda süspansiyon sistemlerinde, makinelerde ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. [13]

Şok emici, taşıyıcı platformun İHA fırlatıldıktan sonra güvenli bir şekilde durmasını sağlar. Bu bileşen, taşıyıcının ivmeyle raydan fırlamasını veya istenmeyen hareketler yapmasını engeller. İvmeyi yavaşça soğurarak hem sistemin güvenliğini hem de uzun ömürlü kullanımını destekler. Şok emici, fırlatma işlemi sonrasında

taşıyıcı platformun düzgün bir şekilde durmasını sağlar. Bu, sistemin güvenliğini artırırken, bileşenlerin aşırı zorlanmasını engeller ve platformun uzun süreli kullanımını sağlar.

3.2.10. Mikrodenetleyici



Resim 15: Arduino Mega

Mikrodenetleyiciler, merkezi işlem birimi (CPU), bellek ve giriş-çıkış birimlerini tek bir entegre devrede birleştirerek otomasyon, kontrol ve veri işleme gibi görevlerde kullanılan programlanabilir cihazlardır. Küçük boyutları ve enerji verimliliğiyle sanayi, tüketici elektroniği, otomasyon ve tıbbi cihazlar gibi birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Arduino Mega, Atmega2560 mikrodenetleyicisine dayalı, geniş giriş-çıkış kapasitesine ve yüksek bellek kapasitesine sahip bir geliştirme kartıdır. Kolay programlanabilirliği ve açık kaynaklı yapısı sayesinde prototip geliştirme, robotik ve otomasyon projelerinde sıkça tercih edilmektedir.

Bu projede Arduino Mega, elektromanyetik katapult sisteminin merkezi kontrol birimi olarak kullanılmaktadır. Hall Effect sensörlerinden ve optik hız

sensöründen gelen verileri işleyerek bobinlerin sıralı şekilde çalışmasını kontrol etmektedir. Ayrıca, sıcaklık sensörü ve loadcell'den alınan bilgilerle güvenlik önlemlerini devreye sokar ve kullanıcıya sistem durumu hakkında geri bildirim sağlamaktadır. Arduino Mega'nın geniş bağlantı ve kontrol özellikleri, sistemin bütünsel bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır.

3.2.11. Voltaj Regülatörü

Voltaj regülatörleri, elektrik devrelerinde sabit bir çıkış voltajı sağlayarak elektronik bileşenlerin stabil ve güvenli bir şekilde çalışmasını mümkün kılan cihazlardır. Elektrik kaynaklarından gelen voltaj dalgalanmaları, devre elemanlarının performansını olumsuz etkileyebilir ve hatta zarar vermelerine neden olabilir. Voltaj regülatörleri, bu dalgalanmaları düzenleyerek çıkış voltajını belirli bir seviyede tutar ve böylece sistemlerin uzun ömürlü, verimli ve güvenilir çalışmasını sağlar. Çeşitli türleri arasında doğrusal (linear) ve anahtarlama (switching) regülatörler bulunur; doğrusal regülatörler daha düşük gürültü seviyesi sunarken, anahtarlama regülatörler enerji verimliliği açısından öne çıkar. Voltaj regülatörleri, bilgisayarlar, güç kaynakları, telekomünikasyon sistemleri ve hassas ölçüm cihazları gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. [14]

3.2.12. Sigorta

Elektrik sistemlerinde güvenliği sağlamak ve aşırı akım durumlarında devre elemanlarını korumak amacıyla sigortalar kritik bir rol oynar. Bu çalışmada, 15 amperlik bir sigorta seçimi ve kullanımı, sistem güvenilirliğini artırmak için uygulanmıştır.

Sigortalar, elektrik devresinde aşırı akım oluştuğunda hızlı bir şekilde devreyi keserek hem donanımlı hem de kullanıcıyı koruma amacıyla kullanılan pasif koruma cihazlarıdır. Doğru sigorta seçimi için şu faktörler göz önünde bulundurulmuştur:

- **Çalışma Akımı:** Sigortanın nominal akım değeri, sistemin normal çalışma koşullarında taşıdığı akımdan daha büyük olmamalıdır. Bu projede kullanılan sistemin çalışma akımı 15 amper olarak belirlenmiştir.
- **Kısa Devre Akımı:** Sistemde oluşabilecek kısa devre durumunda sigortanın devreyi güvenli bir şekilde kesmesi gerekmektedir.

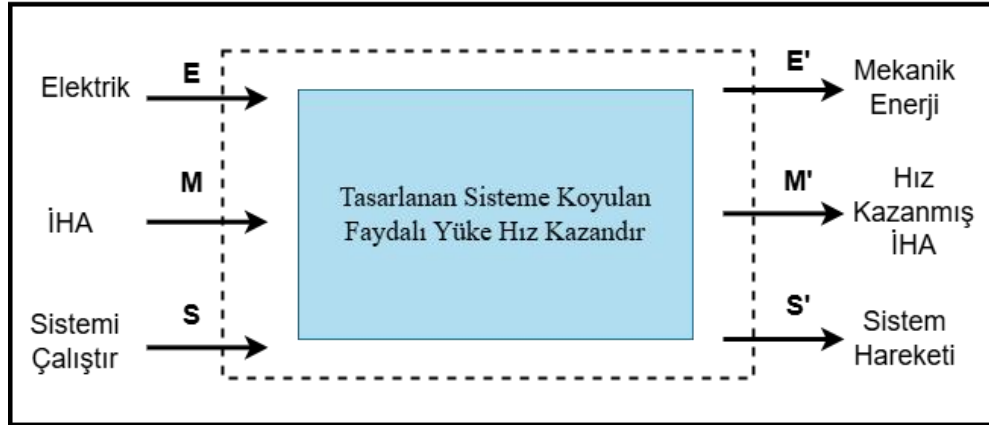
- **Tepki Süresi:** Sigortanın tepki süresi, sistem bileşenlerini zarar görmeden önce koruyacak kadar hızlı olmalıdır.

Bu projede, 15 amper nominal akım değerine sahip cam tüp tipinde bir sigorta tercih edilmiştir. Cam tüp sigortalar, kompakt tasarımı ve kolay değiştirilebilir özellikleri sayesinde küçük ölçekli projelerde sıklıkla kullanılır. Bu sigorta, devredeki normal akım akışını kesintisiz sürdürebilirken, aşırı akım oluştuğunda devreyi güvenli bir şekilde kesmektedir.

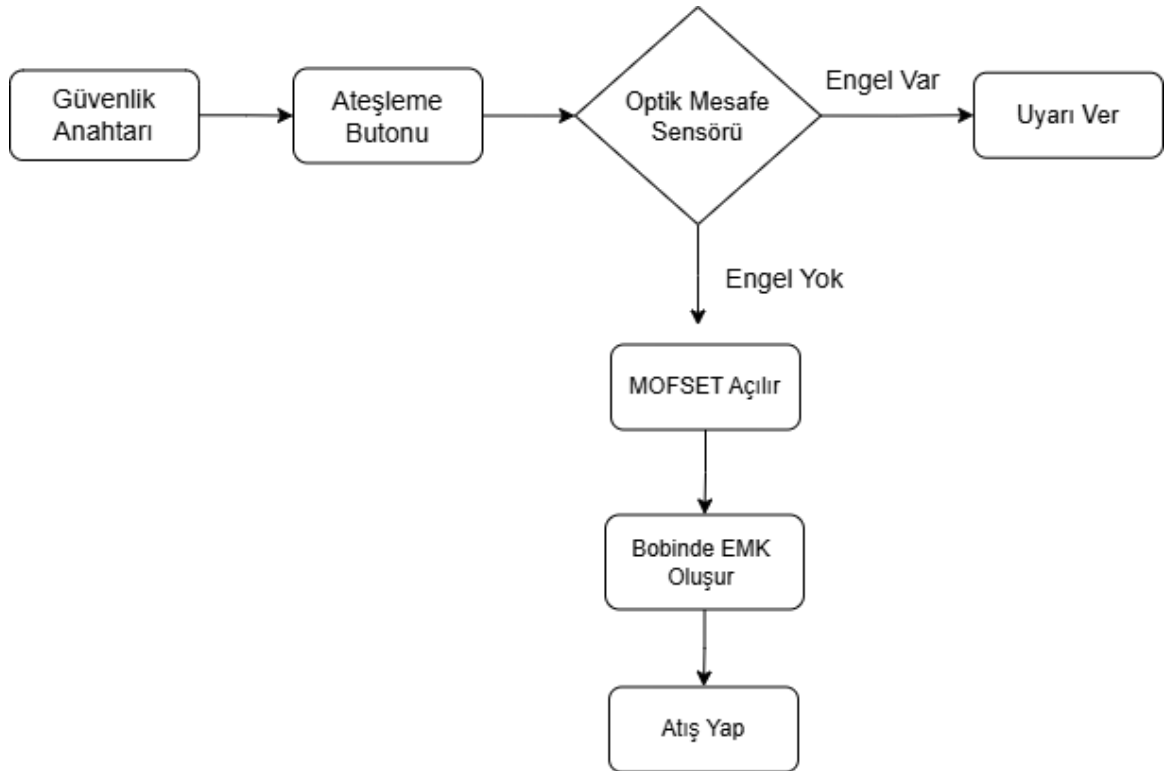
3.3. Kavramsal Tasarım Fonksiyonu

Tasarım şartnamesinin açıklamasında belirtildiği gibi, oluşturulan portatif elektromanyetik katapult sisteminin tüm fonksiyonu Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde, sistem eksen çizgileri ile sınırlandırılmakta ve tasarımın temel bileşenleri şematize edilmektedir. Sistemde enerji girdisi "E" ile, enerji çıktısı ise "E'" olarak ifade edilmiştir. Geliştirilen portatif elektromanyetik katapultun enerji girdisi elektrik enerjisinden oluşmaktadır. Bu enerji, elektromanyetik alan oluşturulması, bobinlerin kontrolü ve İHA platformunun ivmelendirilmesinde kullanılmaktadır.

Şekil 2'de, belirtilen alt fonksiyon yapılarının dönüştürülmesi şematize edilerek gösterilmektedir. Sistemde, kalkışa hazır İHA "M" olarak, kalkışını başarıyla tamamlamış ve görevine başlamış İHA ise "M'" olarak ifade edilmektedir. Sinyal girdisi olan "S", kontrol birimi vasıtasıyla bobinlerin enerjilendirilmesi ve sistemin çalıştırılmasını ifade ederken, sinyal çıktısı "S'", elektromanyetik ivmelenme ve sistemin performans takibini ifade etmektedir.



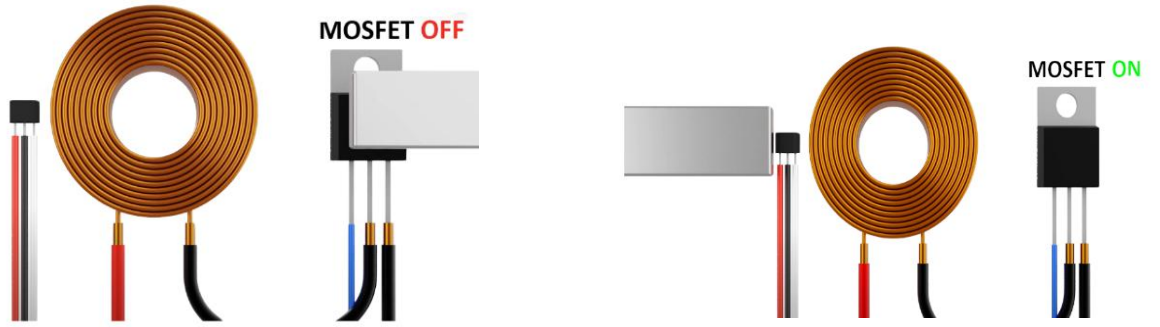
Şekil 1: Sistem Ana Fonksiyonu



Şekil 2: Sistem Alt Fonksiyonu

Ray yapısı, sistemin mekanik dayanıklılığını artırırken, mıknatıs dizilimi manyetik alanın homojen ve etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu amaçla metal malzemeden dayanıklı bir ray tasarımı geliştirilmiştir. İHA'nın ray boyunca hareketini sağlamak için bobinler rayın sağ ve sol kenarlarına yerleştirilmiş ve her bir bobin için uygun elektrik bağlantıları yapılmıştır. Bu bağlantılar, İHA'nın kalkışında kesintisiz güç sağlamayı hedeflemektedir.

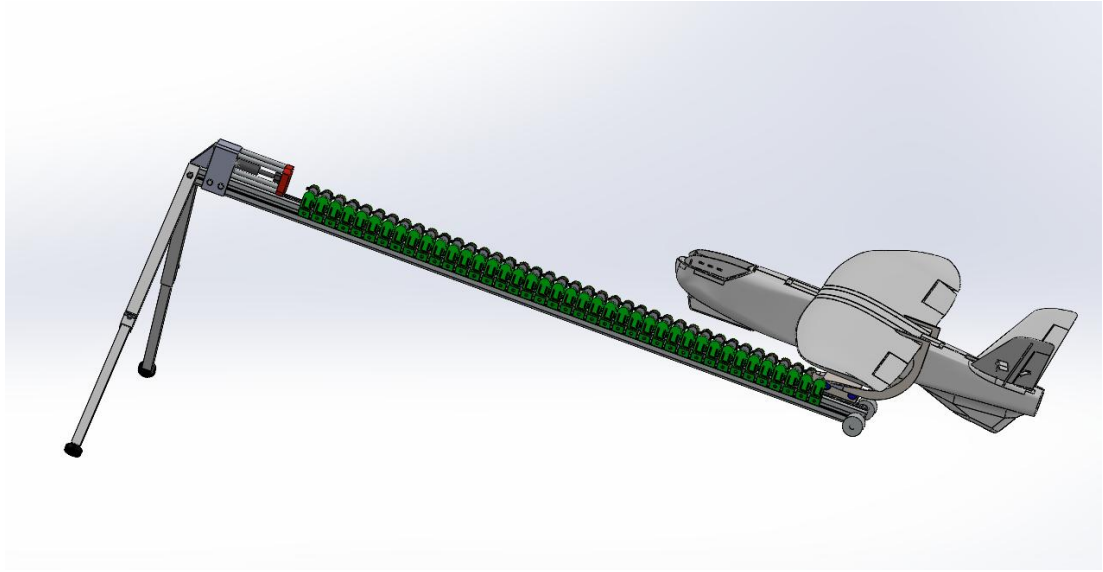
Bobinlerin sürekli açık kalması, enerji israfına yol açacağı gibi manyetik alanın gereksiz yere etkin olmasına da neden olabileceğinden, bu durumu önlemek için hall effect sensörleri entegre edilmiştir. Sensörler, mıknatısların ve İHA'yı taşıyan platformun ray boyunca hareketini izleyerek bobinlerin yalnızca ihtiyaç duyulan bölgelerde aktif olmasını sağlar. İHA taşıyan platform, bir bobinin alanından geçtiğinde, hall effect sensörler bu durumu algılar ve mosfetler aracılığıyla ilgili bobinin enerjisi kesilir. Bu yöntem, mıknatısların gereksiz geri dönüş hareketlerini engelleyerek sistemin verimliliğini artırır ve enerji tasarrufu sağlar. Bu geri bildirim mekanizması ile hızlanan mıknatıslı İHA platformu sürekli itme kuvvetine maruz kalarak İHA'nın kalkışı için gerekli hız ve ivmeyi elde etmesine olanak tanımaktadır.



Resim 16: MOSFET'in Bobini Aktif ve Pasif Yapma Durumu

3.4. Olası Tasarım

Sistemin tek kişi tarafından kullanılabilmesi ve taşınması için olası tasarımda bu geometrik kısıtlamalara göre ilerleyecektir. Bu tasarımda sistem iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm kalkışı sağlayan ve İHA'yı taşıyan rampa; ikinci kısım güç ve kontrol grubunu içerek kontrol ünitesidir.

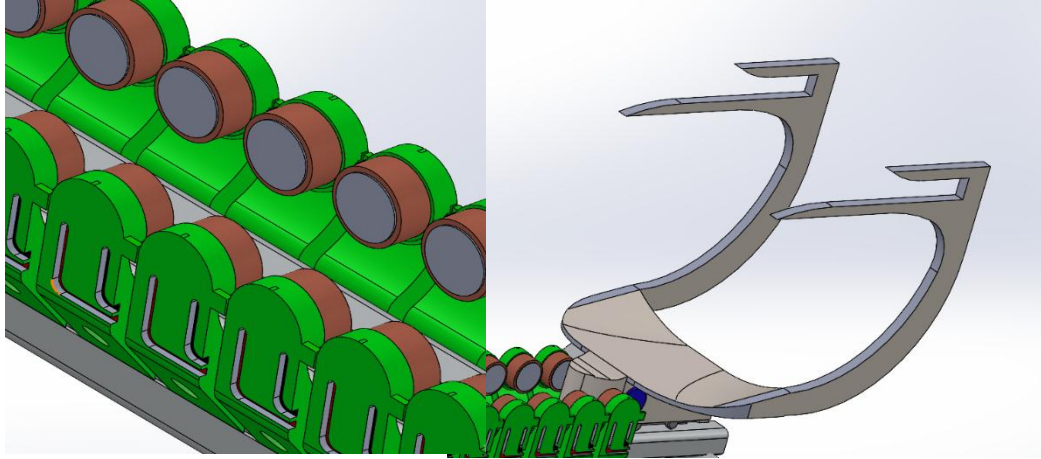


Resim 17: Bütünleşik Sistem Tasarımı

Rampa kısmında elektromanyetik alan oluşturmak amacıyla, bobinler karşılıklı olacak şekilde ray boyunca düzenli bir şekilde konumlandırılmıştır. Her bir bobin ünitesi, bir adet hall effect sensör ve MOSFET ile ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Güç ünitesinden gelen bağlantı kabloları, her bobine paralel olarak bağlanmış ve bu sayede MOSFET'ler aracılığıyla bobinlerin enerjisi etkin bir şekilde yönetilebilir hale getirilmiştir.

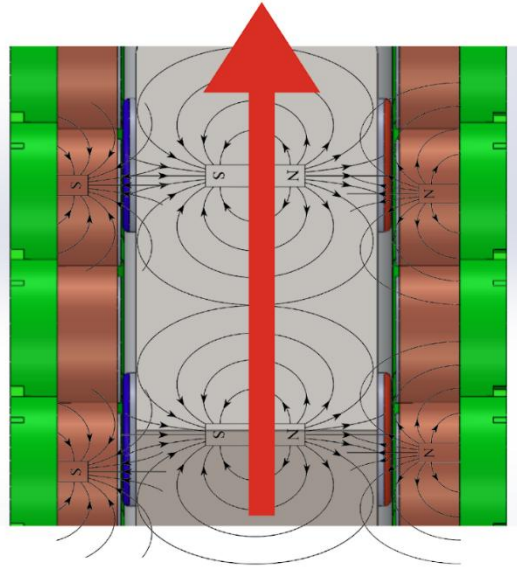
Resim 18'de, bobinler ve hall effect sensörlerin düzeni detaylı olarak gösterilmiştir. İHA taşıma platformu, ray boyunca serbest hareket edebilmekte ve bu hareketi sağlamak için platformun içerisine neodyum mıknatıslar yerleştirilmiştir. Bu mıknatıslar, elektromanyetik alanla etkileşim sağlayarak platformun ray üzerinde ilerlemesini mümkün kılar.

Resim 18'de ise platformun alt kısmındaki kırmızı bölgeye dikkat çekilerek sistemin mıknatıs düzeni ve ray üzerindeki hareket mekanizması görselleştirilmiştir. Bu yapı, platformun hareketini stabil hale getirirken aynı zamanda manyetik kuvvetin verimli kullanılmasını sağlamaktadır.



Resim 18: Bobinlerin Konumlandırılması ve Mıknatıslı İHA Taşıma Platformu

Bobinlerden geçen elektrik akımı bobinlerin kutuplanmasına ve birer elektromıknatıs oluşmasını sağlamaktadır. İHA taşıma platformunda yer alan neodyum mıknatıs bu kutuplara zıt olacak şekilde yerleştirilerek bobinlerin emk oluşturması halinde ileri doğru itilerek platformun ve üzerinde taşıdığı İHA'nın uçuşması için gerekli ivme ve hıza ulaşmasını sağlayacaktır.



Resim 19: Mıknatıslı Kızak ve Bobinlerin Manyetik Alan Çizgileri ve Hareket Yönü Gösterimi

BÖLÜM 4. YÖNTEM ve MATERYAL

4.1.Yöntem Tasarımı

Projenin genel hedeflerini yerine getirmek için geliştirilen tasarım yaklaşımı ve aşamaları bu bölümde yer alacaktır. Her bir alt sistem kendi içinde teknik olarak incelenecektir. Projeyi oluşturmak için gerekli yazılım, analiz ve karşılaştırmalar yer alacaktır.

4.1.1. Bobin Tasarımı ve Elektromanyetik Kuvvetler

Katapult sisteminin tasarımında, performans ve çalışma koşullarını optimize etmek için belirli sabit ve hedef değerler tanımlanmıştır. Sistem, maksimum 1.5 kg ağırlığındaki bir yükü 12 m/s kalkış hızıyla fırlatacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem boyutlarının kompakt yapısını koruyabilmek adına, taşıyıcı ray mesafesi 1.5 metre olarak sabitlenmiştir. Bu mesafe, sistemin hem hafif hava araçlarının uçuş performansını desteklemesi hem de taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla seçilmiştir.

Tasarımda, değişken alanların odak noktayı değiştirmemesi ve sistemin temel gereksinimlere uygun şekilde çalışabilmesi için bu değerler sabit alınmıştır. Böylece, sistemin kompakt yapısı korunmuş ve belirlenen tasarım hedefleri doğrultusunda performans optimizasyonu sağlanmıştır.

4.1.2. Hız-İvme- Kuvvet Hesabı

$$V_{son}^2 = V_{ilk}^2 + 2ax \quad (1)$$

Sistem durağan halden hareket ettiği için ilk hız değeri $V_{ilk} = 0$ m/s alınır. Bu durumda, yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin ihtiyaç duyduğu ivme değeri 48 m/s^2 olarak hesaplanmıştır.

Belirlenen kütle değeri 1,5 kg olarak belirlenmiş Newton ikinci yasası kullanılarak sistem için gerekli kuvvet değeri hesaplanmıştır. Formülde yerine konulursa sistem için gerekli kuvvet değeri 72 N hesaplanmıştır. Sistemde gerekli manyetik kuvvet bulunan F kuvvetine göre hesaplanacaktır.

$$F = ma \quad (2)$$

Sistemin hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvveti, çeşitli kaynaklardan elde edilen sürtünme katsayısı (μ_s) kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Tekerlek yuvarlanma esnasındaki sürtünme katsayısı $\mu_s = 0.1$ olarak belirlenmiştir. Buna göre sistemde oluşan sürtünme kuvveti 7.2 N olarak hesaplanmıştır. Sistemde gereken gerekli toplam kuvvet 79.2 N olarak hesaplanmıştır. [15]

$$F_{\text{sürtünme}} = \mu_s N \quad (3)$$

$$F_{\text{toplam}} = F_{\text{hareket}} + F_{\text{sürtünme}} \quad (4)$$

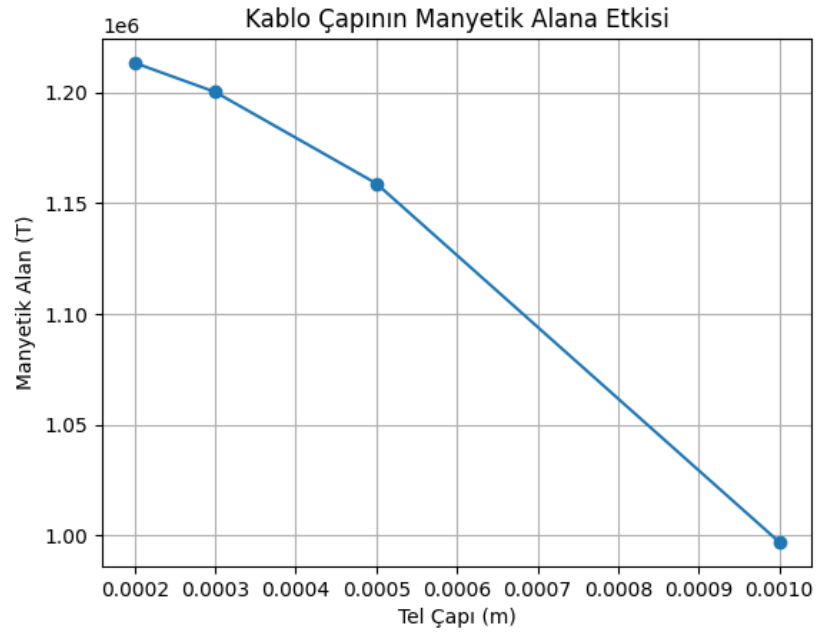
4.1.3. Bobin ve Manyetik Alan Hesabı

Sistem için gerekli kuvvet değerini olası kayıpları önlemek için, %10 güvenlik oranı ile hesaplanarak sistem için gerekli kuvvet değeri 87.1 N olarak belirlenmiştir. Tasarlanacak olan bobin için bu kuvvet değeri hedeflenecektir.

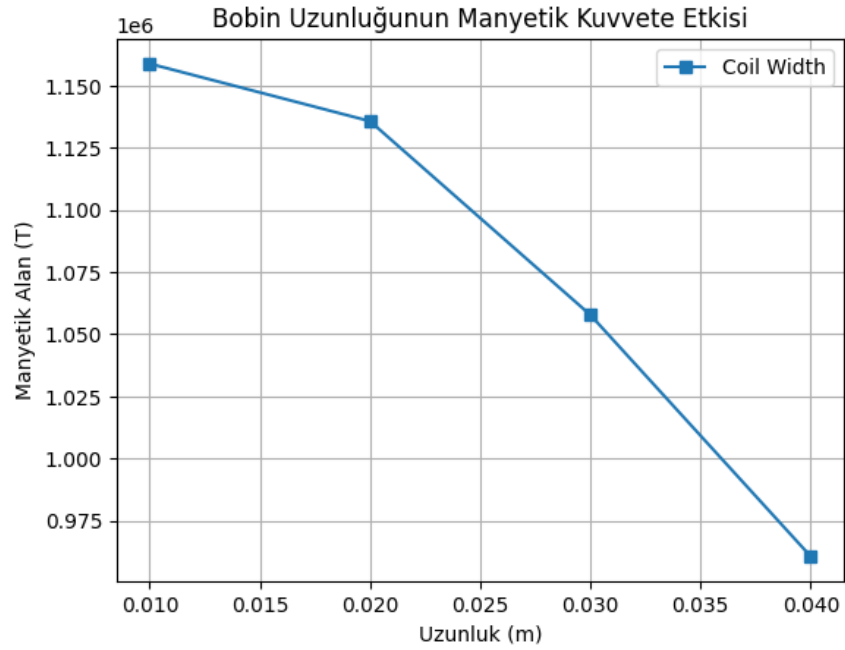
Bobin tasarımı gerekli manyetik indüksiyon değeri aşağıdaki formül ile belirlenen kuvvet üzerinden hesaplanmıştır. Neodyum mıknatısın (N52) E değeri 1.48 T' dir. [16]

Gerçekleştirilen deneyler ve hesaplamalar sonucunda bobin tasarımında 0.5 mm çapında emaye kaplı bakır tel kullanılmasına karar verilmiştir. Bobin geometrisi, sistem performansını optimize etmek amacıyla aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Bobin İç Çapı: 20 mm
- Bobin Uzunluğu: 10 mm



Şekil 3: Kablo Çapının Manyetik Alana Etki Grafiği



Şekil 4: Bobin Uzunluğunun Manyetik Alana Etki Grafiği

Bobinin fiziksel özellikleri ve sarım yoğunluğu, elektromanyetik alan gücünü artırmak ve hedeflenen ivme değerlerini sağlamak için optimize edilmiştir. Bu

boyutlar, hem manyetik alanın yoğunluğunu hem de bobin içerisinde geçen akımın etkisini dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Ayrıca, 0.5 mm tel çapı, belirlenen akım taşıma kapasitesine uygun olup, enerji kayıplarını minimize ederek sistemin termal stabilitesini koruyacak şekilde seçilmiştir. Bobin yapısında emaye kaplama, kısa devrelerin önlenmesi ve elektriksel yalıtımın sağlanması için tercih edilmiştir.

Tasarım sürecinde, kullanılan 0.5 mm çapındaki bakır telin sürekli olarak taşıyabileceği güvenli akım değeri dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, telin akım taşıma kapasitesine yönelik literatür araştırmaları ve standart referans değerler incelenmiş, termal dayanıklılık ve uzun süreli çalışma koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, 0.5 mm çapındaki bakır telin taşıma kapasitesi, sistemin güvenilirliğini ve termal kararlılığını sağlamak amacıyla maksimum akım sınırları içinde tutulmuştur. Bu değerlendirmeler hem telin aşırı ısınmasını önlemek hem de enerji kayıplarını minimize etmek için kritik bir tasarım parametresi olarak ele alınmıştır. [17]

4.1.4. Bobindeki Katman Başına Sarım Sayısı

Katman başına sarım sayısı, nüve çapının kablo çapına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Verilen değerlere göre, nüve çapı 20 mm ve kablo çapı 0.5 mm olarak belirtilmiştir. Bu durumda, yapılan hesaplama sonucunda her bir katmanda 40 sarım yapılabileceği hesaplanmıştır.

$$X = \frac{40mm}{0.5mm} \quad (5)$$

X: Katman Başına Sarım Sayısı

4.1.5. Toplam Katman Sayısı

Toplam katman sayısı, toplam tur sayısının katman başına sarım sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. 200 tur sayısında, aşağıdaki formül uygulandığında toplam katman sayısı 5 olarak hesaplanmıştır.

$$n_{katman} = \frac{200 \text{ tur}}{40} \quad (6)$$

$$n_{katman} = \text{Katman Sayısı}$$

4.1.6. Bobin Yüksekliği

Bobin yüksekliği, toplam katman sayısının kablo çapı ve sarım yoğunluğu katsayısı ile çarpılması ile hesaplanmaktadır. Katman sayısı = 5, kablo çapı = 0.5 mm, sarım yoğunluğu katsayısı = 1 değerleri ile hesaplandığında bobin yüksekliği 2.5 mm olarak bulunmuştur.

$$h_{bobin} = 5 * 0.5 * 1 \quad (7)$$

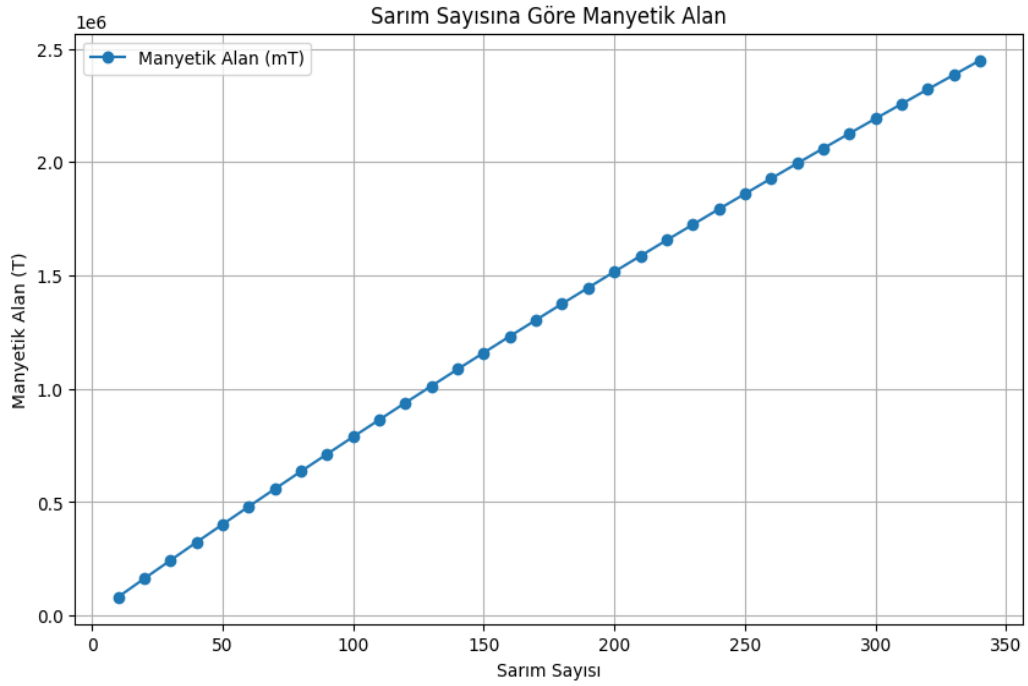
$$h_{bobin} = \text{Bobin Yüksekliği}$$

4.1.7. Katman Başına Sarım Yoğunluğu:

Katman başına sarım yoğunluğu, katman başına sarım sayısının bobin genişliği ile orantılı olarak hesaplanır. Formül şu şekilde ifade edilir. Burada bobin genişliği milimetre cinsinden verildiği için, hesaplamada mm'den metreye dönüşüm yapılır. Bobin genişliği = 20 mm, katman başına sarım = 40 değerleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda katman başına sarım yoğunluğu 2000 sarım/metre olarak hesaplanmıştır.

$$Y = \frac{40}{20/1000} \quad (8)$$

$$Y = \text{Katman Başına Sarım Yoğunluğu}$$



Şekil 5: Sarımlı Sayısının Manyetik Alana Etki Grafiği

4.1.8. Direnç Hesabı

Bobin telinin elektriksel direnci, telin öz direnci, uzunluğu ve kesit alanı ile hesaplanmaktadır. Telin kesit alanı (A), kablo çapı = 0.5 mm olduğundan, kesit alanı $1.96349 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Toplam tur sayısı $n = 200$ ve her turdaki bobin çevresi 62.83 mm olduğuna göre, tel uzunluğu 12.566 m olarak hesaplanmıştır. Bakır telin öz direnci, tel uzunluğu ve kesit alanı aşağıdaki formüle yerleştirildiğinde, elektriksel direnç 1.1Ω olarak elde edilmiştir.

$$R_{DC} = \frac{\rho}{l A} \quad (9)$$

ρ : Telin öz direnci (bakır için 1.72×10^{-8}).

l : Tel uzunluğu (m).

A : Tel kesit alanı (m^2).

4.1.9. Endüktans Formülü

Endüktans, bobinin manyetik alanını depolama kapasitesini temsil eder ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Burada, nüve kesit alanı $A = 314 \text{ mm}^2 = 314 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ vakumun manyetik geçirgenliği $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, bobin uzunluğu $l = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$, ve sarım sayısı $N = 150$ olarak verilmiştir. Bu değerler formüle yerleştirildiğinde endüktans $88.78 \text{ }\mu\text{H}$ olarak hesaplanmıştır.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad (10)$$

A: Nüve Kesit Alanı (m^2)

μ : Vakumun manyetik geçirgenliği ($4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)

l: Bobin Uzunluğu

N: Sarım Sayısı

4.1.10. Rezonans Hesabı:

Rezonans frekansı, bir devredeki bobin (L) ve kondansatör (C) arasındaki etkileşimi belirler ve aşağıdaki formülle hesaplanır. Bu hesaplama için rezonans frekansı $f = 1 \text{ Hz}$ ve bobin endüktansı $L = 100.53 \text{ }\mu\text{H}$ alınmıştır. Bu değerler formüle yerleştirildiğinde, kondansatör kapasitesi 0.251 F olarak hesaplanmıştır. [18]

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} \quad (11)$$

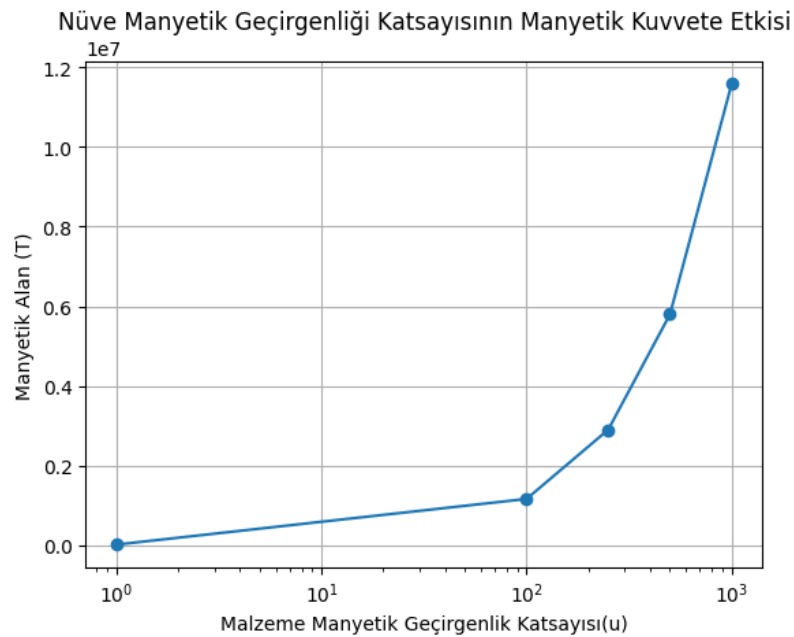
f : Frekans (Hz)

L: Bobin Endüktansı (H)

4.1.11. Manyetik Alan Hesabı:

Vakumun Manyetik Geçirgenliği (μ_0): Vakumda manyetik alanın yayılma kapasitesini belirler. Bir ortamın manyetik geçirgenliği, manyetik alanın o ortamda ne kadar yayılacağını gösterir. Vakumun manyetik geçirgenliği $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ olarak kabul edilmiştir.

Malzemenin Manyetik Geçirgenliği (μ_r): Bobinin yapıldığı malzemenin manyetik geçirgenliği, malzemenin manyetik alana ne kadar duyarlı olduğunu gösterir. Farklı malzemeler manyetik alanları farklı derecelerde iletebilir. Örneğin, demir gibi manyetik malzemeler yüksek manyetik geçirgenliğe sahipken, hava veya vakum gibi malzemeler daha düşük geçirgenliğe sahiptir. Nüve tasarımında karbon çeliği kullanılmıştır. Karbon çeliğinin manyetik geçirgenliği 100 H/m'dir ve denklemde de belirlediğimiz bu katsayı kullanılmıştır.



Şekil 6: Nüve malzemesinin Manyetik Alana Etki Grafiği

Formül, bobin tarafından oluşturulan manyetik alanın geometrik ve fiziksel özelliklerini birleştirerek, iki farklı nokta arasındaki manyetik alan farkını hesaplamaktadır. İlk parantez içindeki ifade, X_1 konumundaki manyetik alanın büyüklüğünü, ikinci parantez içindeki ifade ise X_2 konumundaki manyetik alanın büyüklüğünü temsil etmektedir. Bu iki değerin farkı alınarak, söz konusu iki nokta arasındaki net manyetik etki hesaplanmaktadır.

Formül, manyetik alanın uzayda yayılımının geometrik faktörlerden nasıl etkilendiğini açık bir şekilde göstermektedir. Özellikle, $d X_2$ ve $d X_2$ terimlerinin

karekök içindeki toplamları, alanın uzaklıkla ters orantılı olduğunu ifade etmektedir. Bu tür bir formül, elektromanyetik alanların analizi, bobin tasarımı, ya da manyetik etkilerin belirli bir sistem içerisindeki etkilerinin modellenmesinde kullanılabilir.

Sonuç olarak, bu formül, elektromanyetik sistemlerin analizinde fiziksel parametrelerin ve geometrik faktörlerin entegre bir biçimde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, ilgili çalışma, manyetik alan hesaplamaları için teorik ve pratik bir temel sunmaktadır.

Parametreler:

- $\mu_r = 100$ H/m (karbon çeliği malzemesinin manyetik geçirgenliği)
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (vakumun manyetik geçirgenliği)
- $Y = 2000$ sarım/metre (bobin dönüş yoğunluğu)
- $I = 3$ A (bobin üzerinden geçen akım)
- $d = 6$ mm (manyetik alanın hesaplanacağı noktanın bobinin eksenine olan dik mesafesi)
- $r = 20$ mm (bobinin katmanının yarıçapı)
- $x_1 = 0$ mm, $x_2 = 10$ mm (bobinin başlangıç ve bitiş noktalarına göre eksenel mesafeler)

Bu parametreleri formül kullanılarak yapılan hesaplamada, manyetik alan şiddeti 1.158 Tesla olarak elde edilmiştir.

$$\beta = \frac{(\mu^0 * \mu_r) * N * I}{2} \left(\frac{d - x_1}{\sqrt{d - x_1} + r^2} - \frac{d - x_2}{\sqrt{d - x_2} + r^2} \right) \quad (12)$$

[19][20][21]

β : Manyetik alan (T)

μ_0 : Vakumun manyetik geçirgenliği ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

μ_r : Malzemenin manyetik geçirgenliği (H/m)

N: Bobin dönüş yoğunluğu ($n = \text{Dönüş Sayısı} / \text{Bobin Genişliği}$) (Dönüş/m)

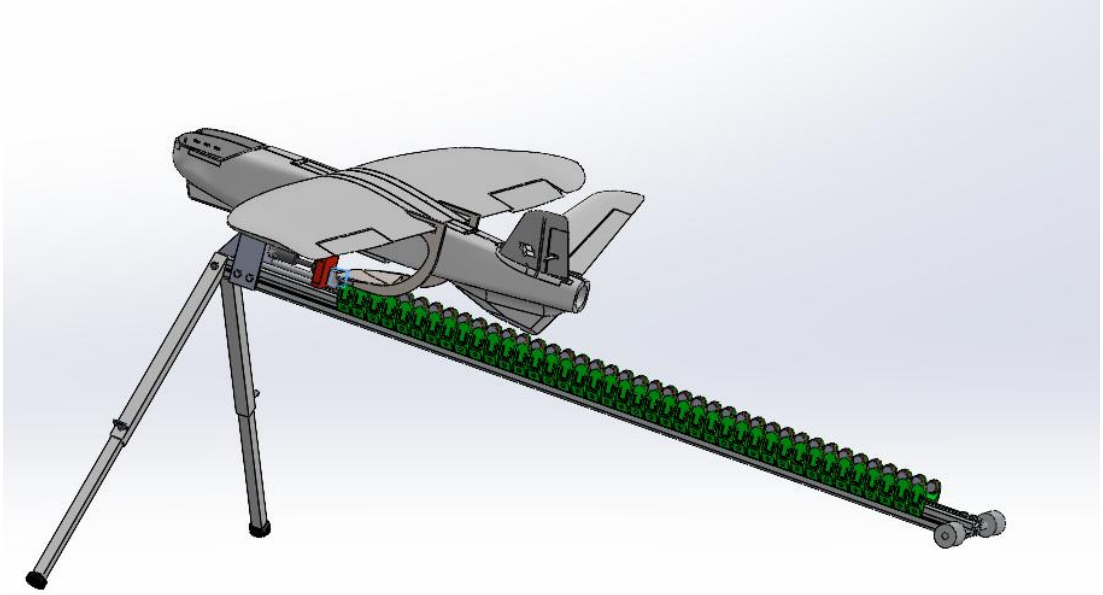
I: Bobin üzerinden geçen akım (A, amper)

d: Manyetik alanın hesaplandığı noktanın bobinin eksenine olan dik mesafesi (m).

x_1 , x_2 Bobinin başlangıç ve bitiş noktalarına göre eksenel mesafeler (m).

r: Bobinin ilgili katmanının yarıçapı (m).

4.1.12. Elektromanyetik Kuvvet



Şekil 7: Sistem Bütünleşik Görseli

Tasarımda, alüminyum sigma profil üzerinde sağ ve sol olmak üzere toplam 44'er adet elektromanyetik bobin yerleştirilmiştir. Bobinler, birbirleriyle hizalanmış ve eşit mesafelerle düzenlenmiştir. Her bobinin yan kısmında, hall effect sensörlerinin yerleştirilebilmesi için gerekli boşluklar sağlanmıştır. Bu sensörler, sistemin manyetik alanını ölçmek ve elektromanyetik etkileşimleri izlemek için kullanılacaktır.

Bobinler, sistemdeki yataklarla hizalanacak şekilde konumlandırılmıştır. Yatak, bobinlerin sağ ve sol tarafındaki dört bobinle etkileşim içinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu etkileşim, bobinlerin elektromanyetik kuvvet oluşturma kapasitesini etkileyerek sistemin genel performansını şekillendirecektir. Bu nedenle, bobinlerin yerleşim düzeni ve etkileşimleri, tasarımın verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir.

Elektromanyetik kuvvet hesaplamaları, bobinlerin bu düzenlemeye uygun olarak yerleştirilmesi ve yataklarla etkileşimi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Tasarım, elektromanyetik kuvvetlerin ve manyetik alanların doğru bir şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla optimize edilmiştir. Hesaplama, temelde bir disk mıknatısın oluşturduğu manyetik alanı integral yoluyla belirlenir. Daha sonra, bu manyetik alana maruz kalan ikinci mıknatısın bu alandan dolayı maruz kaldığı kuvveti hesaplanmıştır.

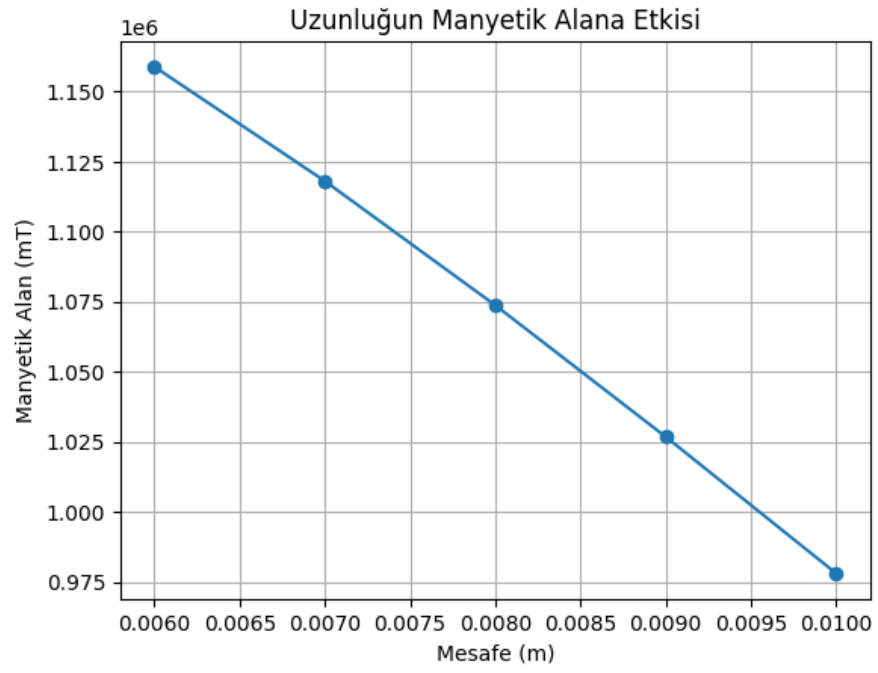
Disk mıknatıs belirli bir halka şeklinde küçük parçalara ayrılır ve her küçük halkanın manyetik alan katkısı hesaba katılmaktadır. Bu işlem, simetrik integraller ile sadeleşmiş biçimde sunulmuştur. Fonksiyonda pek çok integral hesaplamasında Simpson Yöntemi (Simpson's rule) kullanılmıştır. Simpson kuralı, sayısal integrasyon için kullanılan bir Newton-Cotes yöntemi olup, integral alınmak istenen aralığı eşit parçalara bölünmüştür. Ardından, polinom interpolasyonu yaklaşımıyla integral değeri yaklaşık olarak bulunmuştur.

$$F = \int_{Z_1}^{Z_2} \left[\frac{-2\sqrt{2\pi} B_{r1}B_{r2}R_2}{4\pi\mu_0 K(Z)} \right] dZ \quad (13)$$

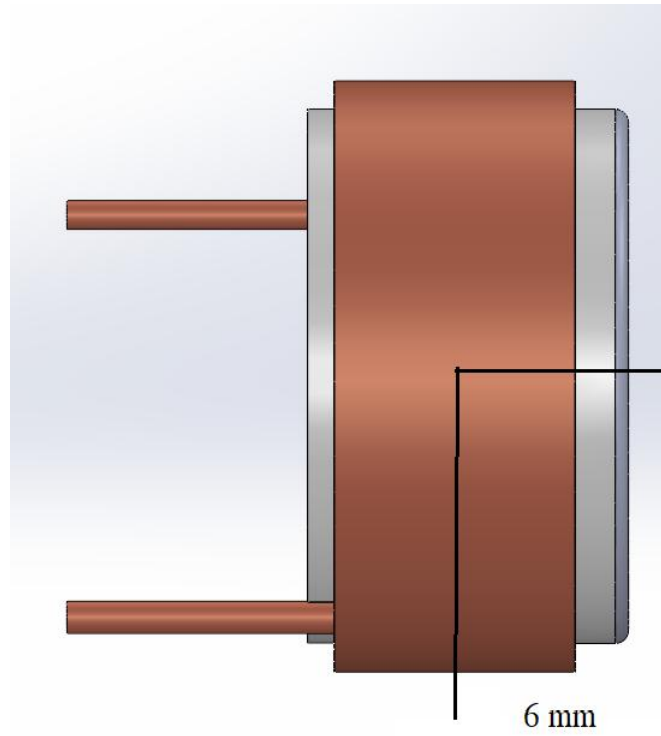
[22]

Z_1 ve Z_2 : İki mıknatıs arasındaki mesafeyi tanımlar.

$K(Z)$: İki mıknatıs arasındaki geometriyi bağlı olarak manyetik alan yoğunluğunu belirleyen bir fonksiyon.



Şekil 8: Uzaklığın Manyetik Alana Etki Grafiği



Şekil 9: Bobin Merkezinden Mıknatısa Olan Uzaklık Gösterimi

Disk mıknatısın ürettiği alan, temel olarak, uzayın her noktasında karmaşık bir şekilde dağılır. Burada, halka bazlı bir integral formülü türetilir ve disk mıknatıs, ince halkalar şeklinde düşünülerek değerlendirilir. Daha sonra, diskler arasındaki mesafe boyunca yapılan bir başka integrasyonla, toplam kuvvetin tahmini elde edilmiştir. Kullanılan hesaplama kodu ve kaynakçalar ekler bölümünde paylaşılmıştır.

Tablo 2: Sabit Parametreler Tablosu

Değişken	Değer	Birim	Sabit/ Değişken
Bobin İç Çap	20	mm	Sabit
Bobin Uzunluk	10	mm	Sabit
Sarım Teli Çapı	0.5	mm	Sabit
Sarım Sayısı	150	tur	Sabit
Akım	3	amper	Sabit
Karbon Çeliği Manyetik Alan Geçirgenlik	100	H/w	Sabit
Frekans	1	khz	Sabit
Merkezden Uzaklık	6	mm	Sabit
Ray Uzunluğu	1.5	m	Sabit
Ray Kesiti	40 x 40	mm	Sabit

Bobinin yarıçapı 20 mm, uzunluğu ise 10 mm olarak belirlenmiştir. Hesaplanan bobinin manyetik alan değeri 1,158 Tesla olarak hesaplanmıştır. Kullanılan mıknatısın yarıçapı 20 mm ve uzunluğu 10 mm olup, mıknatısın manyetik alan değeri ise 1,48 Tesla olarak hesaplanmıştır. Mıknatıs ve bobin arasındaki mesafe ise 2 mm olarak belirlenmiştir. Bu verilen değerler kullanılarak yapılan hesaplamada, mıknatıs ile bobin arasındaki manyetik kuvvetin 77.2 N olduğu bulunmuştur. Tasarımsal yapı gereği, yatak üzerindeki 4 bobin aynı anda etkileşime girecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu düzenleme sonucunda, her bir bobinin oluşturduğu manyetik kuvvetin toplamda 4 katı bir etki ortaya çıkacaktır. Aynı anda 4 mıknatıs itme kuvveti oluşturacağından elde edilen toplam kuvvet 308,8 N elde edilmiştir. Sistemin ihtiyacı olan 87.1 N değerinin yaklaşık 3.5 katı kadar fazla kuvvet elde edildiği görülmüştür. Bu sayede, sistemin genel performansı artırılmakta ve daha güçlü bir elektromanyetik etkileşim sağlanmaktadır.

4.1.13. Güç Ünitesi ve Enerji

Elektromanyetik katapult sisteminin tasarımı, bobinlerin çalışması ve mikrodnetleyici gibi kontrol elemanlarının verimli bir şekilde beslenebilmesi için optimize edilmiştir. Güç kaynağı seçiminde sistemin güvenli çalışması ve enerji verimliliğinin sağlanması temel kriterler olarak benimsenmiştir. Bu bölümde sistemin enerji tüketimi ve batarya kapasitesine ilişkin hesaplamalar sunulmaktadır.

Komponentler ve Gücün Gereksinimleri:

1. Bobinler: Elektromanyetik kuvvet oluşturarak kızıağı itma görevini yürüten bobinlerin her biri 15.6 W gücünde ve 3 A akım çekmektedir. Sistem tasarımı gereği eşzamanlı olarak 4 bobin aktif hale gelmektedir. Ray boyunca toplam 84 bobin yer almakta ve bu bobinler, kızıağın hareketine göre sıralı şekilde devreye girmektedir.
2. Mikrodnetleyici: Arduino Mega, sistem kontrolünü sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Yaklaşık 0.25 W güç tüketmekte ve 5 V gerilim ile çalışmaktadır. Bobinlerin sıralı çalışması ve hall effect sensörlerinden gelen verilerin işlenmesi gibi kritik görevleri başarıyla yerine getirir.
3. Load Cell: Kızıkta bulunan İHA'nın ağırlığını algılayarak sistemin aşırı yüklenmesini önleyen bu sensör, yaklaşık 0.1 W güç tüketimi ile sistemin enerji ihtiyacına düşük seviyede katkıda bulunur.

DC Gerilim Kaynağı Gereksinimi

Bobinlerin akım ve gerilim gereksinimleri kullanılarak toplam akım ihtiyacı ve gerilim gereksinimi hesaplanmıştır:

Her bobin için gösterilen güç formülü aşağıdaki gibidir

$$P = VI \quad (14)$$

Bobin gerilimi hesaplaması:

$$V_{bobin} = \frac{P_{bobin}}{I_{bobin}} \quad (15)$$

Bu durumda her bobinin minimum DC gerilim ihtiyacı 5.2 V olarak belirlenmiştir. Her aktifleşme durumunda 4 bobin aktif olacağından Anlık olarak 20.8 V gerilim ihtiyacı olacaktır. Bu sistem için 6S 22.2V lityum polimer batarya tercih edilerek sistemin gerekli gerilim sağlanacaktır.

Enerji Tüketimi ve Batarya Kapasitesi Hesaplamaları

4 bobin için toplam enerji tüketimi 62.4 W olarak hesaplanmıştır.

$$P_{toplam} = 5 P_{bobin} \quad (16)$$

Bobinlerin toplam harcadığı enerjiyi bulmak için denklem kullanılmıştır. Buna göre toplam 1 saniyede olan tüketime göre bobinlerin enerjisi 62.4 J Dür.

$$E_{bobin} = P_{toplam} t \quad (17)$$

Sistemde yer alan diğer komponentlerin (Arduino MEGA, Loadcell) enerji tüketimleri aynı formüller kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre Arduino MEGA 0.25 W, loadcell sensörü 0.05 W güç tüketimine sahiptir.

Toplam sistemin güç tüketimi 62.7 W olarak hesaplanmıştır. Sistemin 1 saniye için harcadığı toplam enerji 62.7 J'dür. Sistemin kararlı halde harici bir kaynağa ihtiyaç gerekmeden 5 defa atış yapabilmesi için toplam 313,5 W enerji tüketimi olacaktır. Enerji değerinin batarya gerilimine bölünmesiyle çekilen akım hesaplanmaktadır. Sistemin güvenli atış yapabilmesi için her atış anında 14,1 A akım çekmektedir.

$$I_{batarya} = \frac{P_{sistem}}{V_{batarya}} \quad (18)$$

Belirlenen 22.2 V bataryanın 14,1 A değerinde sürekli akım verebilen batarya olması için uygun batarya modeli seçilecektir. Ayrıca hedeflenen 5 kararlı atış için bataryanın yeterli kapasitede olması için şu formül kullanılmıştır:

$$C_{batarya\ min} = \frac{5E_{toplama}}{V_{sistem}} = \frac{1}{3600} \quad (19)$$

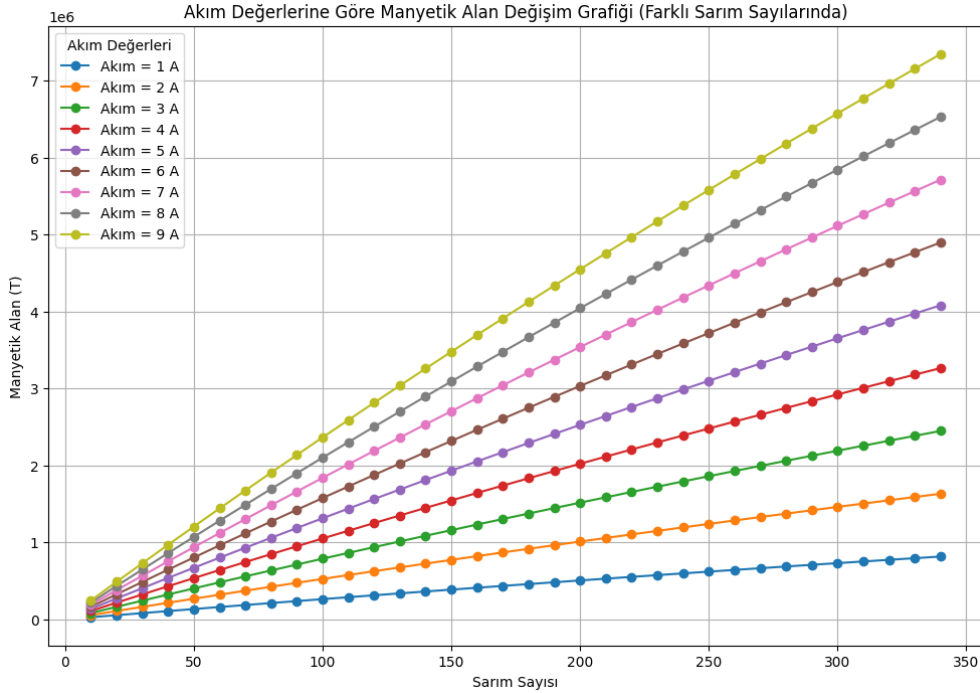
Sistemin stabil 5 kalkış için minimum batarya kapasitesi 4,2 mAh 'dir.

Bu hesaplamalar teorik minimum enerji ihtiyacını ifade etmektedir. Ancak bobin kayıpları, batarya verimliliği ve diğer faktörler göz önüne alındığında sistemin tüketimi daha fazla olabilmektedir. Buna sistem için 1000 mAh kapasitesinde 22.2 V batarya tercih edilmiştir. [18]

Bu analizler ışığında sistem tasarımı için şu kriterler belirlenmiştir:

- Gerilim Kaynağı: 6S Lipo Batarya (22.2 V nominal gerilim)
- Minimum Batarya Kapasitesi: 1000 mAh
- Fırlatma Başına Enerji Gereksinimi: 62,4 J
- 5 Fırlatma İçin Enerji Gereksinimi: 312 J

Bu tasarım, sistemin taşınabilirliğini ve enerji verimliliğini optimize ederek güvenilir bir çözüm sunmaktadır.



Resim 20: Akım Değerlerine Göre Manyetik Alan Değişim Grafiği (Farklı Sarım Sayılarında)

4.1.14. Kontrol Devresi ve Kontrol Yazılımı

Günümüzde pek çok otomasyon ve kontrol uygulamasında, yüksek sayıda sensör ve dijital girişin tek bir mikrodenetleyici tarafından okunması gerekmektedir. Arduino Mega, gömülü sistemler dünyasında yaygın olarak kullanılan bir geliştirme kartı olup 54 dijital I/O pini (bazıları PWM çıkış) ve 16 analog giriş (ADC) sunmaktadır. Ancak projemizde 84 gibi yüksek sayıda giriş ihtiyacı (42 dijital + 42 sensör) söz konusu olduğunda ek yöntemlere başvurmak gerekmiştir. [23]

Arduino Mega ile çok sayıda dijital ve analog girişin nasıl genişletilebileceği üzerinde durulmuştur. İlk olarak, dijital pinlerin artırılması için I2C tabanlı port genişletici entegreler (örneğin MCP23017) kullanılmaktadır. MCP23017 entegresi, tek başına 16 adet dijital I/O pini sunar ve I2C haberleşmesi sayesinde Arduino Mega'nın SDA (Veri) ve SCL (Saat) hatlarına bağlanarak çalışır. Birden fazla MCP23017 ekleyerek, her birine farklı I2C adresleri atamak mümkündür. Böylece,

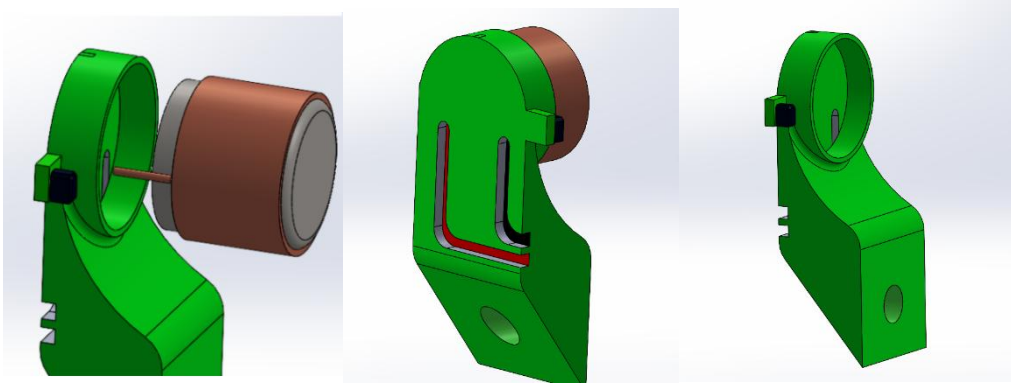
Arduino kartının kısıtlı dijital pinlerini doğrudan tüketmeden yüksek sayıda sensör ya da dijital giriş sinyali okunabilir.

Öte yandan, analog giriş sayısını çoğaltmak için 74HC4067 adlı bir multiplexer/demultiplexer entegresi tercih edilmektedir. Bu entegre, 16 farklı kanalı tek bir çıkışa yönlendirebilir ve Arduino Mega'nın yalnızca bir analog girişini kullanarak birçok sensör verisini sırasıyla okuyabilmeyi mümkün kılar. Seçme (select) pinleri aracılığıyla hangi kanalın okunacağı belirlenir; örneğin dört kontrol pini, 0'dan 15'e kadar olan kanallardan hangisinin aktif olacağını seçer. Bu sayede, 74HC4067'den gelen ortak çıkış Arduino Mega'nın bir ADC (analog dijital çevirici) pinine bağlanarak her sensörden gelen veri, kısa aralıklarla sırasıyla ölçülmektedir.[24][25]

4.1.15. Mekanik Bileşenlerin Tasarımı

4.1.15.1. Bobin Yuvası Tasarımı

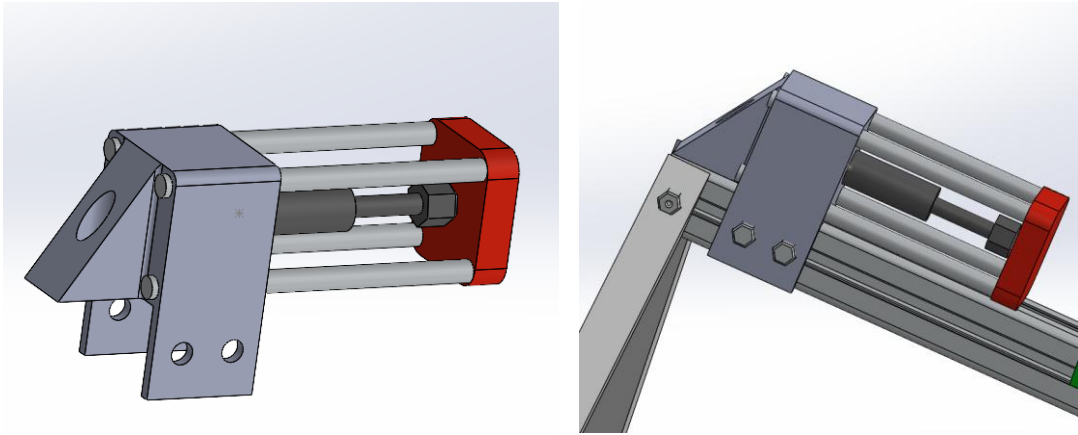
Sistemdeki Bobin ve nüvelerin raya güvenli yerleşimi için 3B yazıcı teknolojisi kullanılacaktır. Tasarlanan parçalar (Resim 21) PLA malzemesi ile üretilecek olup nüvelerin taşınması ve raya montajı kolay olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca her parçanın üzerinde nüve ile beraber hall effect sensörünün koyulabileceği bir çıkıntıda bulunmaktadır. Bobinlerin güç kaynağına bağlantısı için parça üzerinde güç kablolarının yuvaları bulunmaktadır. Bobinden gelen kablo uçları bu hatta bağlanarak bobinin güç kaynağına bağlantısı gerçekleştirilecektir.



Resim 21: Bobin Yuvası CAD Görüntüsü ve Bobin Yerleşimi Görseli

4.1.15.2. Şok Emici Platform Tasarımı

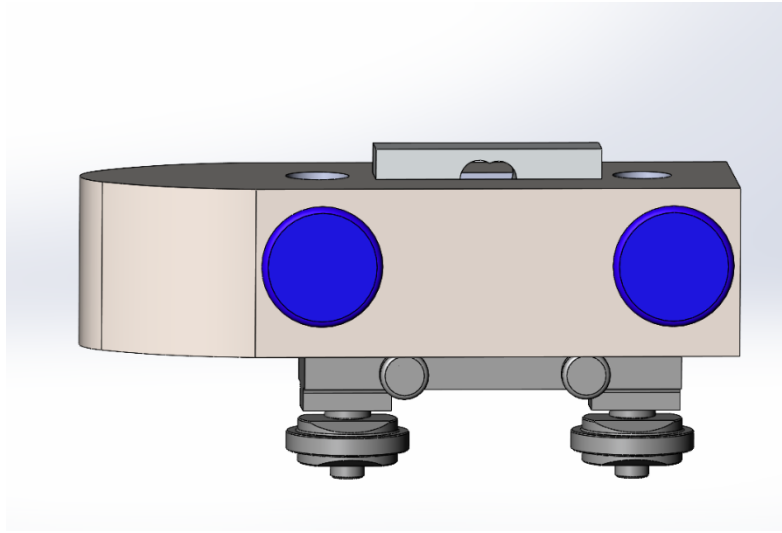
Sistemde İHA'nın ayrılmasından sonra kızığın sistemden fırlamaması için rayın sonuna bir adet darbe emici kullanılmaktadır. Darbe emicinin kızığa sağlam ve güvenli montajı için 3B yazıcı teknolojisi ile PLA malzemesinden montajı kolay bir ara parça tasarlanmıştır. PLA malzemesini 70 Mpa akma dayanımına sahip olması tasarlanan parçanın sistemin maksimum yüklerinden çok daha fazlasına dayandığını göstermektedir. Darbe emicinin gelen şok etkisini eşit ve doğrusal olarak alınabilmesi için bu parça üzerinde 4 adet mil ile doğrusal hareket etmesi için parçada bulunan delikler ile kısıtlanmıştır. Böylece darbe emicinin güvenli çalışması ve zarar gelmesini önüne geçilmiştir. [26]



Resim 22: Darbe Emici Sistemi ve Montajlı Görseli

4.1.15.3. Taşıyıcı Kızak Tasarımı

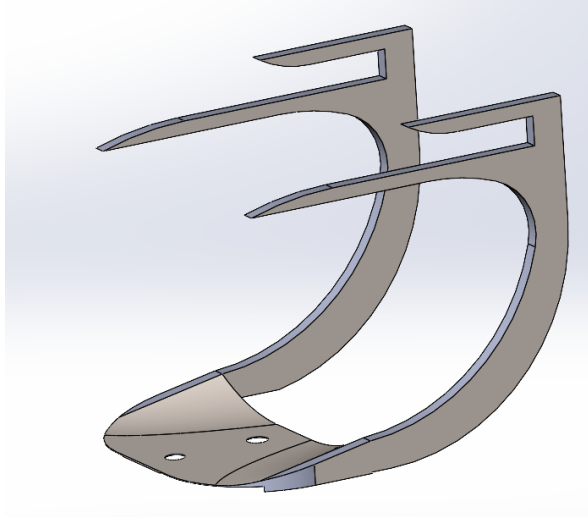
Sistemin fırlatacağı İHA'nın ray üzerindeki hareketin daha kolay yapabilmesi için bir kızak tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kızakta PLA malzemesinden ara parça ve bir lineer kızak bulunmaktadır. Loadcell bu ara parça üstüne montajlanıp sensörün doğru ölçüm yapmasını ve İHA'nın ray üzerindeki bir noktaya temas etmesini sağlayacaktır. Ara parça üzerinde yer alan yuvalarda N52 Neodyum mıknatıs yuvaları yer almakta olup bu yuvalara itme kuvveti oluşturacak şekilde mıknatıslar yerleştirilecektir. Böylece bobinler ile mıknatıslar arasında oluşan manyetik kuvvetin İHA'yı hareket ettirmesi için sürtünmesi azaltılmış bir platform sağlanmış olur.



Resim 23: Taşıyıcı Kızak ve Ara Parça Montajlanmış Görseli

4.1.15.4. İHA Taşıma Platformu Tasarımı

Katapult sisteminin İHA'yı güvenli bir şekilde fırlatması için ray üzerine güvenilir ve kolay bir şekilde aynı zamanda atış sırasında kolay yapılabilecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Tasarlanan taşıma platformu alüminyum malzemeden lazer kesim yöntemi ile tasarlanmıştır. Ayrı tasarlanan parçalar ardından kaynaklanarak montajlanır ve taşıyıcı platform vidalar ile kızığa montajlanır.



Resim 24: Taşıyıcı Platform Bütünleşik Görseli

4.1.16. Güvenlik Elemanları



Resim 25: Acil Durdurma Butonu

Sistem üzerinde yer alan acil durum butonu, olası bir arıza veya anormal bir durum tespit edildiğinde, sistemin tüm operasyonlarını anında keserek güvenliğini sağlar. Acil durum butonuna basıldığında, sistem otomatik olarak tüm işlevlerini durdurur, bu da herhangi bir tehlikeli durumun engellenmesine olanak tanır. Bu fonksiyon, sistemin kontrolünü kaybeden operatörün olası bir zararı önlemek amacıyla devreye girer. Acil durum butonunun aktivasyonu, tüm devrelerin elektriksel olarak kesilmesini sağlayarak, cihazın çalışmasını güvenli bir şekilde sonlandırır.

Sistemde kullanılan Loadcell, kuvvet veya ağırlık ölçen sensörlerden biridir ve taşıyıcı platform üzerinde bulunan mini İHA'nın ağırlığını ölçer. Loadcell'in çalışma

prensibi, üzerine uygulanan kuvvetin, gerinim ölçer (strain gauge) aracılığıyla elektriksel sinyale dönüştürülmesidir. Bu sayede, taşıyıcı platform üzerinde oluşan ağırlık değişimleri hassas bir şekilde izlenebilir.

Bu sensör, İHA'nın ağırlığının 1.5 kg'ı geçmesi durumunda, sistemi engelleyerek operatöre uyarı gönderir. Bu aşırı yük durumunda, elektromanyetik katapultun operasyonu durdurulur ve sistem devre dışı kalır. Bu özellik, İHA'nın fırlatma sırasında yapısal zarar görmesini veya sistemin aşırı yüklenerek verimsiz çalışmasını engeller. Ayrıca, sistemin güvenliğini sağlayan bu önlem, aynı zamanda operatörün güvenliğini de korur. Sistem, taşıyıcı platformun taşıma kapasitesini aşan herhangi bir durumu tespit ederek, güvenlik açısından kritik bir rol üstlenir.

4.2. Kullanılan Materyaller

Projede hangi malzemelerin ve ekipmanların, nasıl belirlendiği bu bölümde yer alacaktır. Ayrıca tahmini bütçe oluşturulacaktır.

4.2.1 Elektronik Komponentler

Bu bölümde elektromanyetik katapult sisteminde kullanılan elektronik komponentler, tasarım gereksinimleri ve teknik uygunluk çerçevesinde değerlendirilmiş ve tercih edilmiştir. Her bir komponentin seçilme nedenleri detaylandırılarak sistemin genel performansına etkisi açıklanacaktır.

4.2.1.1. Bobinler: Elektromanyetik Bobinler

Bu bobinler, lineer hareket sistemine monte edilen sabit mıknatıslarla etkileşime girerek hedeflenen itme kuvvetini oluşturmaktadır. 15,6 W güç ve 3 A akım kapasitesi, yüksek manyetik alan yoğunluğunu hızlı ve kararlı biçimde üretmeye elverişlidir. Bobinin bakır sargılarında kullanılan tel kesiti ve sarım sayısı, direnç ve endüktans değerlerini uygulamaya uygun şekilde optimize etmektedir. Böylece hem ohmik kayıplar düşük tutulur hem de ısı yönetimi kolaylaştırılır. Kompakt gövde tasarımı, sistemdeki diğer bileşenlere entegre edilmesini kolaylaştırır ve verimli ısı dağılımı sayesinde uzun süreli güvenilir kullanım sağlar. Yüksek akım tepki yeteneği ve optimize edilmiş manyetik devre yapısı, lineer hareket uygulamalarında hassas pozisyonlama ve yüksek hız gerektiren senaryolarda dahi istikrarlı performans sunmaktadır.

4.2.1.2. Mikrodenetleyici: Arduino Mega 2560

Arduino Mega, 54 dijital giriş/çıkış pinine ve geniş bellek kapasitesine sahiptir. Bu denetleyici, bobinlerin sıralı olarak devreye girmesi ve hall effect sensörlerinden gelen verilerin işlenmesi gibi kompleks işlevleri başarıyla yürütebilmek için seçilmiştir. Yüksek işlem kapasitesi ve geliştirici dostu yapısı, sistemin bütünleşik kontrol mekanizmasının verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

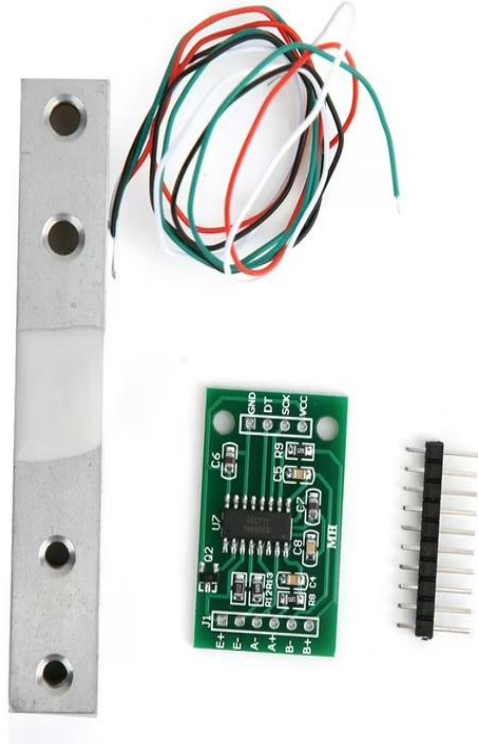
4.2.1.3. Hall Effect Sensörleri: A3144

Bu sensörler, bobinlerin ve kızıktaki mıknatısların pozisyonunu algılamak için kullanılır. A3144 modeli, düşük güç tüketimi ve yüksek hassasiyet özelliği ile öne çıkar. Sürekli izleme ve anlık geri bildirim sağlama yeteneği sayesinde bobinlerin zamanında devreye girmesini garantiler.

4.2.1.4. MOSFET: IRFZ44N

IRFZ44N tipi MOSFET, bobinlerin açılıp kapanmasını kontrol eden anahtar eleman olarak tercih edilmiştir. Yüksek akım taşıma kapasitesi (50 A'ye kadar) ve düşük iç direnç enerji kayıplarını minimize eder. Hızlı anahtarlama kabiliyeti, elektromanyetik katapult sisteminin hızlı yanıt vermesine katkı sağlar.

4.2.1.5. Load Cell: HX711 Modülü ile Desteklenen 5 Kg Load Cell



Resim 26: 5KG Loadcell ve HX711 Modülü

Bu komponent, kızağa yerleştirilen İHA'nın ağırlığını ölçerek sistemin aşırı yüklenmesini engeller. HX711 modülü ile entegre edilen load cell, yüksek hassasiyetli ölçüm sağlar ve ağırlık değerleri sistem kontrol birimine aktararak güvenlik önlemlerini devreye sokar.

4.2.1.6. Voltaj Regülatörü: LM2596 DC-DC Regülatör Modülü



Resim 27: LM2596 DC-DC Regülatör

Bu voltaj regülatörü, 11.1 V gerilim sağlayan Lipo bataryanın çıkış gerilimini 5V seviyesine düşürerek Arduino ve hall effect sensörleri gibi komponentlerin güvenli çalışmasını sağlar. Yüksek verimlilikle çalışan LM2596, şebeke gürültüsünü azaltarak kararlı gerilim çıkışı sunar.

4.2.1.7. Lipo Batarya: 6S 22,2V 5200mAh Lipo Batarya



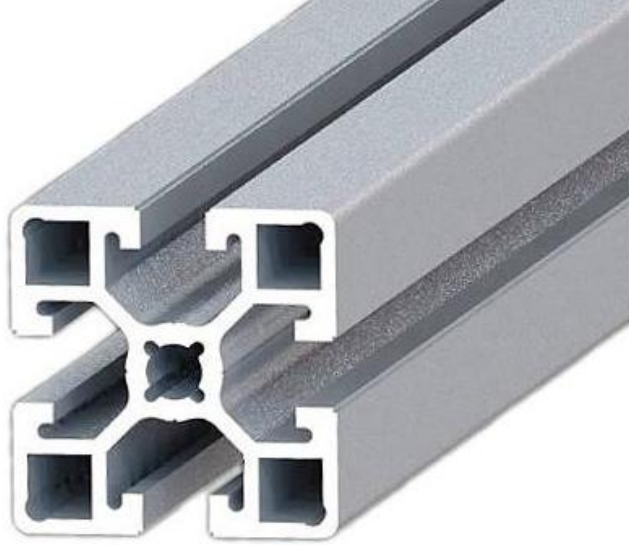
Resim 28: 6S 22,2V 5200mAh Lipo Batarya Görseli

Bu batarya, bobinlerin ve diğer komponentlerin enerji ihtiyacını karşılar. 22,2 V nominal gerilim ve 5200 mAh kapasite ile sistemin taşınabilirlik ve enerji verimliliği gereksinimlerini karşılar. Yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı enerji transferi kapasitesi ile elektromanyetik katapult sisteminin ihtiyaçlarına uyum sağlar.

Bu komponentlerin seçimi, sistemin performansının optimize edilmesi ve taşınabilir, enerji verimli bir çözüm sunulması için kritik önem taşımaktadır.

4.2.2. Mekanik Komponentler

4.2.2.1. Sigma Profil



Resim 29: Sigma Profil

Projemizde uygulanabilirlik ve montaj kolaylığı açısından 40x40 Sigma Profil 8 Kanal Hafif Tip tercih edilmiştir. Sigma profil, elemanların birbiriyle kolayca monte edilmesine olanak sağlayarak projede verimliliği artırmaktadır. Ayrıca, bu profil gövde yapısında kullanılacak olup, sağlamlık ve hafiflik açısından optimum çözüm sunmaktadır. Profilin kanalları, aksesuarların esnek bir şekilde yerleştirilmesine ve sistemin ihtiyaçlara göre kolayca adapte edilmesine imkan tanımaktadır.

4.2.2.2. Teleskopik Ayak



Resim 30: Teleskopik Ayak

Sistemin taşınabilirliğini artırmak ve kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla teleskopik ayak tercih edilmiştir. Bu sayede sistem, kolayca taşınabilir hale gelmiş ve platformun eğim açısının hassas bir şekilde ayarlanması mümkün olmuştur. Teleskopik ayaklar, metal malzemeden olup dış ortamda kullanıma uygundur. Hem esneklik hem de pratiklik açısından projenin gereksinimlerini karşılamaktadır.

4.2.2.3. Darbe Emici



Resim 31: Darbe Emici

Atış sonrası sistemin güvenli bir şekilde durdurulabilmesi için HAC Serisi Darbe Emici (Shock Absorber) kullanılmıştır. Atış gerçekleşmesinin hemen ardından

taşıyıcı ray sistemi, darbe emiciye çarparak hareketi güvenli bir şekilde sonlandıracaktır.

Sistem gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda, katapult sisteminin çalıştırılmasıyla 79,2 N kuvvet oluşacağı hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, sistem katsayıları dikkate alınarak maksimum taşıma kapasitesi 10 kg olan HAC 1210-2 modeli tercih edilmiştir.

Seçilen HAC 1210-2 darbe emici, aşağıdaki teknik özelliklere sahiptir:

- Strok (Stroke): 10 mm
- Maksimum Enerji (Nm/Cycle): 5 Nm
- Maksimum Emici Enerji/Saat (Ec.Nm/hr): 18,000 Nm/saat
- Maksimum Etkili Kütle (Me.kg): 10 kg
- Çalışma Sıcaklık Aralığı: -10°C ~ +85°C

Bu model, sistemin ihtiyaç duyduğu güvenli durdurma kapasitesini sağlayarak uzun süreli ve güvenli bir kullanım sunmaktadır.

4.2.3 Maliyet Analizi

Tablo 3: Maliyet Tablosu

Ürün	Birim Fiyatı	Adet	Fiyat
Sigma Profil 40mmX40mmX 1m 8 Kanal	365 TL	2	730 TL
Teleskopik Ayak	350 TL	2	700 TL
Darbe Emici	728 TL	1	728 TL
Bakır Sargı Teli 200 m x 0.5mm	650 TL	5	3250 TL
N52 Mıknatıs 20mm x 10mm	60 TL	5	300 TL
6S 5200mAh Lipo Batarya	3850 TL	1	3850 TL
LM2596 Voltaj Regülatörü	40 TL	42	1680 TL
Hall Effect Sensör US1881	15 TL	42	630TL
Buton	250 TL	2	500 TL
Arduino Mega	683 TL	1	683 TL
Loadcell ve HX711 Modülü	117 TL	1	117 TL
Bağlantı Elemanları	40 TL	10	400 TL
Üretim için PLA 1 kg	500 TL	2	1000 TL
IRFZ44N MOSFET	15 TL	84	1260 TL
TOPLAM			16228 TL

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, hafif platform İHA'lar için tasarlanan portatif elektromanyetik katapult sistemi, yenilikçi bir mühendislik çözümü olarak geliştirilmiştir. Proje, Mini Talon gibi küçük ölçekli İHA'ların dar alanlarda hızlı, güvenli ve verimli bir şekilde kalkışını sağlama hedefine odaklanmıştır. Sistemin taşınabilirlik, enerji verimliliği ve düşük bakım ihtiyacı gibi özellikleri, mevcut gazlı ve yaylı katapult sistemlerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır.

Elektromanyetik fırlatma sistemi, bobin, neodyum mıknatıs, Hall etkisi sensörleri ve MOSFET gibi bileşenlerin entegrasyonu ile başarılı bir şekilde tasarlanmıştır. Hesaplamalar, sistemin 1.5 kg ağırlığındaki bir İHA'yı 12 m/s kalkış hızına ulaştırabileceğini göstermiştir. Kullanılan matematiksel modeller ve mühendislik analizleri, sistemin tasarım kriterlerine uygun şekilde optimize edildiğini doğrulamıştır. Özellikle bobin hesaplarına odaklanılmış ve manyetik alan verimliliği ile bobin sarım sayısı optimize edilerek en az ağırlık ile maksimum verim elde edilmesi hedeflenmiştir.

Sistemin prototipi, teorik varsayımların gerçek dünya koşullarında geçerli olduğunu kanıtlamış, elektromanyetik alan hesaplamalarının ve kuvvet tahminlerinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, sistem taşınabilir olmakla birlikte sabitlenebilir bir yapıya sahip olup, yüksek yüklere dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Saha koşullarında kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla tek kişi tarafından kurulabilir bir yapı sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu proje, hafif platform İHA'ların kalkış süreçlerinde karşılaşılan sorunlara yenilikçi bir çözüm sunmakta ve sektörde elektromanyetik teknolojilerin kullanımını yaygınlaştırma potansiyeline sahiptir. Sistemin uzun vadeli uygulamalarını artırmak için enerji optimizasyonu ve maliyet etkinliğini daha da geliştirecek çalışmalar önerilmektedir. Bu tür sistemlerin, sivil, askeri ve uzay endüstrilerinde geniş bir kullanım alanı olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] W. Li, T. Yang, and Y. Xin, "Concept of an Auxiliary System for Carrier-Based Aircraft Catapult," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 34, no. 3, pp. 1–5, 2024, doi: 10.1109/TASC.2024.3370122.
- [2] "Mini Talon specifications," p. 1300, [Online]. Available: <https://www.readymaderc.com/products/details/xuav-mini-talon-pnp#features-tab>
- [3] A. E. Zielinski and M. D. Werst, "Cannon-Caliber Electromagnetic launcher," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 33, no. 1 PART 1, pp. 630–635, 1997, doi: 10.1109/20.560087.
- [4] Y. Zhang, A. Zhou, X. Lin, K. Li, and Z. Sun, "Design and Development of an Electromagnetic Catapult for Life-Saving Projectile," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 51, no. 3, pp. 868–873, 2023, doi: 10.1109/TPS.2023.3244943.
- [5] A. R. Nejad, "A SpinLaunch-Circular Railgun Anti-Hypersonic Missile Defense System A SpinLaunch-Circular Railgun Anti-Hypersonic Missile Defense System," no. May, 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.20835.63522.
- [6] M. Rehman *et al.*, "A Review of Inductive Power Transfer: Emphasis on Performance Parameters, Compensation Topologies and Coil Design Aspects," *IEEE Access*, vol. 11, no. November, pp. 144978–145010, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3344041.
- [7] M. Gröninger, F. Horch, A. Kock, M. Jakob, and B. Ponick, "Cast coils for electrical machines and their application in automotive and industrial drive systems," *2014 4th Int. Electr. Drives Prod. Conf. EDPC 2014 - Proc.*, 2014, doi: 10.1109/EDPC.2014.6984384.
- [8] B. A. Krings, M. Cossale, A. Tenconi, J. Soulard, A. Cavagnino, and A. Boglietti, "Magnetic Materials Used in Electrical Machines," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 23, no. 6, pp. 21–28, 2017.
- [9] P. G. Shewane, M. Gite, and A. Singh, "An Overview of Neodymium Magnets over Normal Magnets for the Generation of Energy," *Int. J. Recent Innov.*

- Trends Comput. Commun.* , vol. 2, no. 12, pp. 4056–4059, 2014, [Online]. Available: <http://www.ijritcc.org>
- [10] I. Ruskova, G. Angelov, T. Takov, and M. Hristov, “Design and investigation of Hall effect micro-sensors,” *2016 25th Int. Sci. Conf. Electron. 2016*, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ET.2016.7753512.
 - [11] H. Yu, S. Liang, H. Liu, J. Wang, and Z. John Shen, “Numerical Study of SiC MOSFET with Integrated n-/n-Type Poly-Si/SiC Heterojunction Freewheeling Diode,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 68, no. 9, pp. 4571–4576, 2021, doi: 10.1109/TED.2021.3097979.
 - [12] O. S. Al-Dahiree *et al.*, “Design and Shape Optimization of Strain Gauge Load Cell for Axial Force Measurement for Test Benches,” *Sensors*, vol. 22, no. 19, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/s22197508.
 - [13] W. S. Singh and N. Srilatha, “Design and Analysis of Shock Absorber: A Review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 4832–4837, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.058.
 - [14] R. Ill, L. El, and P. In, *R ILL L EL P IN THIRD The Art of Electronics*. 2015.
 - [15] “Serway Fizik 1 (Türkçe) | PDF.” <https://www.scribd.com/document/681484636/Serway-Fizik-1-Turkce> (accessed Jan. 12, 2025).
 - [16] “Neodimyum Miknatısların Teknik Özellikleri – Euro Magnet.” <https://www.euromagnet.com.tr/neodimyum-miknatislarin-teknik-ozellikleri/> (accessed Jan. 12, 2025).
 - [17] H. E. R. Türölü, İ. Sahİp, K. Kesİtlİ, M. Tellerİn, İ. Verİlen, and A. Taşıma, “AKIM TAŞIMA KAPASİTELERİ CURRENT - CARRYING CAPACITIES,” p. 193.
 - [18] “Serway Fizik 2 Türkçe Onurdemirezen.com : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive.” <https://archive.org/details/serway-fizik-2-turkce-onurdemirezen.com> (accessed Jan. 12, 2025).

- [19] “manyetik akı yo ğ unlu ğ u ve bo ğ lu ğ un permabilitesidir (geçirgenlik). Teorik olarak bo ğ lu ğ un permabilitesi μ ”.
- [20] Maciej Serda *et al.*, “DESIGN AND APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC SOLENOID FOR VALVE MECHANISM ON COMPRESSED AIR ENGINES,” *J. Fac. Eng. Archit. GAZI Univ.*, vol. 26, no. 1, pp. 343–354, 2011, doi: 10.2/JQUERY.MIN.JS.
- [21] “Magnetic Field Calculator for Coil.” <https://accelinstruments.com/Magnetic/Magnetic-field-calculator.html> (accessed Jan. 12, 2025).
- [22] “Pull force / magnetic force calculation between two disc magnets (Neodymium disc magnet, Samarium disc magnet, Alnico disc magnet, ferrite disc magnet).” <https://www.cy-magnetics.com/PullForce-DiscMagnets.htm> (accessed Jan. 12, 2025).
- [23] “ATMEGA2560 Datasheet(PDF) - ATMEL Corporation.” <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/107092/atmel/atmega2560.html> (accessed Jan. 12, 2025).
- [24] Anonymous, “Mcp23017/Mcp23S17,” pp. 1–42, 2016, [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/20001952C.pdf>
- [25] B. V Nexperia, “16-channel analog multiplexer/demultiplexer,” no. July, pp. 1–26, 2024.
- [26] “BCN3D Technical data sheet PLA,” p. 1, 2018, [Online]. Available: https://ultimaker.com/download/74972/UM180821_TDS_ABS_RB_V12.pdf

EKLER

Ek 1- Kodlar:

https://github.com/FurkanTahaBademci/Tasarim_Kodlar_Elektromanyetik_Katapult

Ek 2- Akım Tablosu:

https://www.yapitaskablo.com/dosya/blog/AKIM_TASIMA.pdf

Ek-3 Manyetik Alan Hesaplayıcı:

<https://accelinstruments.com/Magnetic/Magnetic-field-calculator.html>

Ek-4: Kuvvet Hesaplayıcı:

<https://www.cy-magnetics.com/PullForce-DiscMagnets.htm>

Ek-5: Datasheetler:

<http://msfluid.co.th/pdf/Jelpc%20valve/Shock%20Absorber%20HAC,HAD.pdf>

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

<https://media.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/us1881-datasheet-melexis.pdf>

<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>

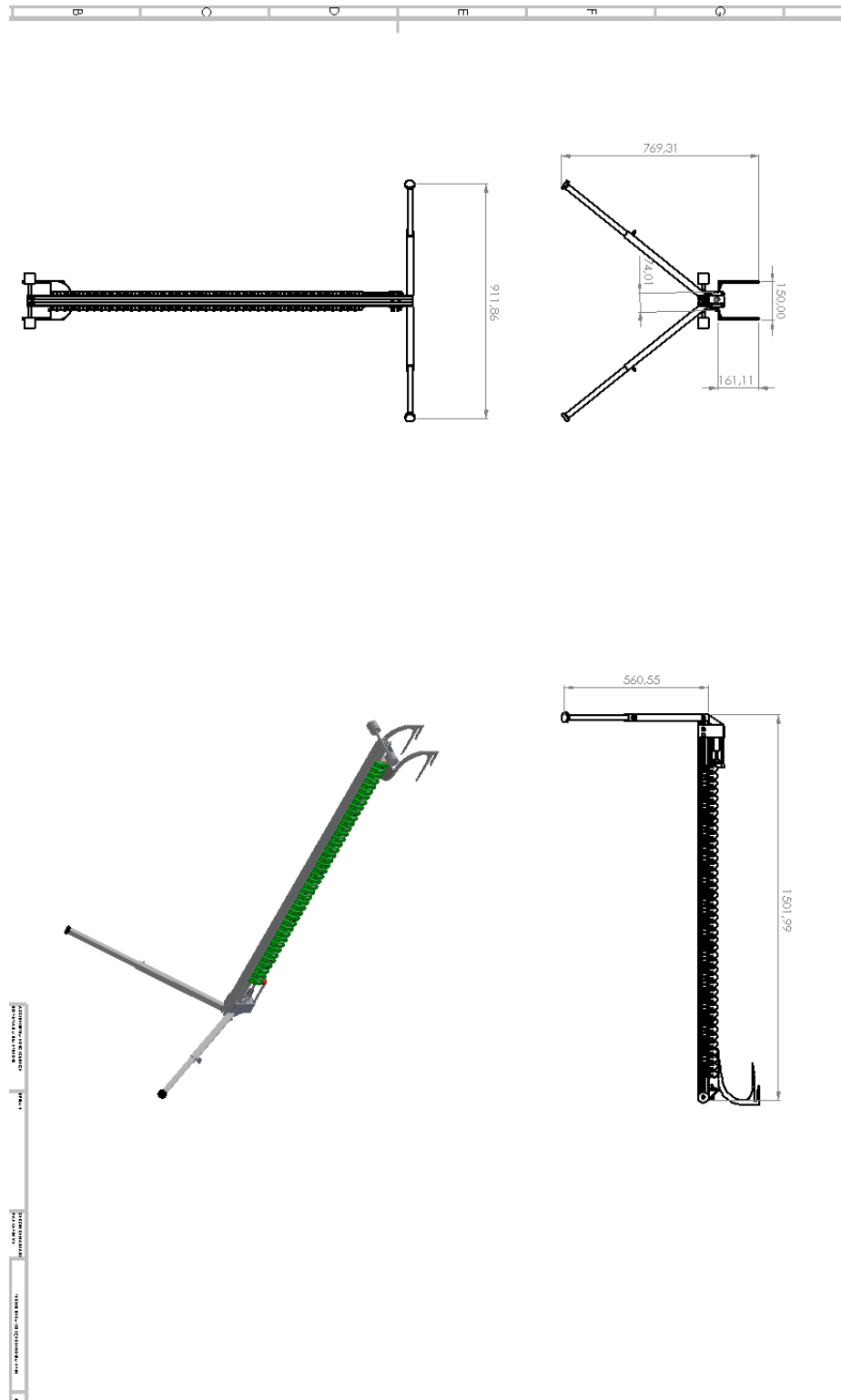
<https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1836471/0/0/1/hx711.html>

https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFZ44N-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3a9f220d

Ek-6: Tasarım CAD Dosyaları:

https://github.com/FurkanTahaBademci/Tasarim_Kodlar_Elektromanyetik_Katapult/tree/main/Final%20Tasar%C4%B1m%20CAD

Ek-7: Sistem Teknik Resmi:



STANDARTLAR VE KISITLAR FORMU

1. Çalışmanın amacını özetleyiniz.

Bu çalışmada, hafif platform İHA'ların dar alanlarda hızlı, güvenli ve verimli bir şekilde kalkışını sağlayacak taşınabilir bir elektromanyetik katapult sistemi tasarlanmıştır. Proje, elektromanyetik kuvvetlerin hassas kontrol avantajlarını kullanarak, enerji verimliliği ve taşınabilirlik gibi modern gereksinimlere çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

2. Çalışmanın tasarım boyutunu açıklayınız.

Bu proje, daha önce yapılmış ve örnekleri olan bir çalışmanın geliştirilmesine yönelik bir projedir. Yeni bir proje değildir, ancak mevcut bir projeden esinlenilmiştir. Amacımız, mevcut tasarımı farklı yaklaşımlarla optimize etmek, daha verimli ve işlevsel hale getirmektir.

Detaylandırma:

- **Proje Kategorisi:** Bu proje, daha önce yapılan bir çalışmanın geliştirilmiş bir versiyonudur. Var olan teknolojiyi yeniden ele alarak performansını artırmak ve daha yüksek verimlilik sağlamak üzere tasarlanmıştır.
- **Farklılık:** Mevcut projeden ayrılan noktalarımız, enerji verimliliği, taşınabilirlik, maliyet etkinliği ve kullanıcı dostu tasarım üzerine yapılan iyileştirmelerdir.
- **Kapsam:** Projemiz, yalnızca belirli bir alt sistemi değil, tüm proje toplamını kapsamaktadır.
- **Oran:** Proje tasarımı, mevcut çalışmanın %100'ünü kapsamakta, yani tasarım sürecinin tüm aşamalarına yönelik bir yeniden yapılandırma öngörmektedir.
- **Yenilik:** Kullanılan malzemeler, kontrol mekanizmaları, sistem dizaynı ve yazılım algoritmaları gibi alanlarda farklı ve yenilikçi çözümler sunmayı hedeflemekteyiz.

Bu bağlamda, proje, yeni bir teknoloji geliştirmek yerine, mevcut bir sistemin daha modern ve etkili bir hale getirilmesini amaçlamaktadır.

3. Bu çalışmada bir mühendislik problemini kendiniz formüle edip, çözdünüz mü?

Bu çalışmada, mevcut mühendislik problemlerini yeniden formüle etmek yerine, var olan formülleri kullandık. Ancak, bu formülleri daha etkin bir şekilde uygulamak için mevcut hesaplama yöntemlerini ve dönüşüm yapan sistemlerin mantığını detaylı bir şekilde inceledik. Bu incelemeler sonucunda, bazı küçük ancak etkili değişiklikler yaparak hesaplama süreçlerini optimize ettik.

Ayrıca, bu formülleri daha kullanışlı hale getirmek amacıyla kodlarını yazdık ve kullanımı kolay bir arayüz sağladık. Çalışma sırasında, analizlerin değişken bazlı çıktıları üzerinde detaylı incelemeler yaparak, sistemin en verimli değerlerle çalışmasını hedefledik. Bu süreç, mevcut problemlerin çözümünü kolaylaştırmanın yanı sıra mühendislik analizlerinde daha doğru ve hızlı sonuçlar elde etmemizi sağladı.

4. Çalışmada kullandığınız yöntemler nelerdir ve önceki derslerde edindiğiniz hangi bilgi ve becerileri kullandınız? Açıklayınız.

Kullanılan Yöntemler:

- Elektromanyetik kuvvet ve bobin tasarımı
- Hız, ivme ve kuvvet hesaplamaları
- Hall effect sensörleri ile kontrol ve geri bildirim mekanizmaları
- Mıknatıs ve bobinlerin manyetik alan hesaplamaları
- Mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemi tasarımı (Arduino Mega)
- Bilgisayar Destekli Tasarım

Önceki Derslerden Edinilen Bilgi ve Beceriler:

- Elektromanyetik alan ve kuvvet hesaplamaları (Fizik ve Elektrik Makinaları)
- Devre tasarımı ve MOSFET'lerin kullanımı (Elektrik ve Elektronik devreleri derslerinden)
- Sistem modelleme ve analiz yöntemleri (Mekatronik Tasarımı dersinden)
- Mikrodenetleyici programlama ve sensör entegrasyonu (Mekatronik Sistem Elemanları)

5. Kullandığınız veya dikkate aldığınız mühendislik standartları nelerdir?

ISO 9001: Kalite Yönetim Sistemi

- Projede kalite kontrol ve süreçlerin düzenlenmesi açısından bu standardın temel ilkeleri dikkate alınabilir. Tasarım, üretim ve test süreçlerinde standart prosedürler uygulanması önemlidir.

ISO 2768: Toleranslar ve Mekanik Parçalar

- Elektromanyetik katapult sisteminde kullanılan parçaların mekanik toleranslarının belirlenmesinde bu standart uygulanabilir. Ray sistemi ve bobinlerin yerleşim hassasiyeti bu toleranslarla optimize edilebilir.

ISO 14001: Çevre Yönetim Sistemi

- Çevresel sürdürülebilirlik açısından, elektromanyetik sistemlerin karbon ayak izini azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak için bu standartlar yol gösterici olabilir.

ISO 13849-1: Makine Güvenliği - Kontrol Sistemleri

- Kontrol devrelerinde güvenlik seviyelerinin belirlenmesi ve uygulanmasında bu standart yardımcı olabilir. Hall effect sensörlerinin güvenilirliğini artırmak için bu standarttan yararlanılabilir.

6. Kullandığınız veya dikkate aldığınız gerçekçi kısıtlar nelerdir? Lütfen çalışmanıza uygun yanıtlarla doldurunuz.

- a. Ekonomi: Sistemde kullanılan neodyum mıknatıs ve bataryaların maliyet analizi yapılmıştır.
- b. Çevre Sorunları: Elektromanyetik sistemin, gazlı ve yaylı sistemlere göre çevreye daha az zarar verdiği belirtilmiştir.
- c. Sürdürülebilirlik: Tekrar kullanılabilir malzemeler ve düşük bakım gereksinimi tasarıma entegre edilmiştir.
- d. Üretilebilirlik: Taşınabilir ve kolay monte edilebilir bir sistem olarak tasarlanmıştır.
- e. Etik: Kullanıcı güvenliğini ön planda tutan sistem koruma mekanizmaları dahil edilmiştir.
- f. Sağlık: Sistem elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki olası etkileri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.
- g. Güvenlik: Aşırı akım koruması, sensör tabanlı durdurma mekanizmaları ve güvenlik devreleriyle desteklenmiştir.
- h. Sosyal ve Politik Sorunlar: Sistem, askeri ve sivil uygulamalarda çok yönlü kullanılabilirliği ile sosyal fayda sağlamayı hedefler

Çalışmanın Adı	Hafif Platform IHA'lar İçin Portatif Elektromanyetik Katapult Sistem Tasarımı
Çalışmayı Hazırlayanlar	Muhammed Enes Sancar Furkan Taha Bademci
Danışman Onayı	