



**ELEKTROMANYETİK FIRLATMA SİSTEMİNİN
İNSANSIZ HAVA ARACI ÜZERİNDE
UYGULANMASI VE AERODİNAMİK
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

İlkin ASGARZADE

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI**

**ELEKTROMANYETİK FIRLATMA SİSTEMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI
ÜZERİNDE UYGULANMASI VE AERODİNAMİK ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

İlkin ASGARZADE

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2023**

İlkin ASGARZADE tarafından hazırlanan “ELEKTROMANYETİK FIRLATMA SİSTEMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI ÜZERİNDE UYGULANMASI VE AERODİNAMİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Fuat KARTAL (KÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İlkin ASGARZADE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROMANYETİK FIRLATMA SİSTEMİNİN İNSANSIZ HAVA ARACI ÜZERİNDE UYGULANMASI VE AERODİNAMİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İlkin ASGARZADE

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI

Temmuz 2021, 49 sayfa

İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), askeri, gözetleme ve ticari amaçlar da dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu tezin amacı, İHA'lar için raylı silah tabanlı bir elektromanyetik fırlatma platformu (EFP) oluşturmak ve uygulanabilir olmasını göstermektir. İHA'ları fırlatmak için bir ray tabancası kullanmak, pist kalkışına göre çeşitli avantajlar sunar. Raylı tüfekler, İHA'ları daha yüksek hızlarda ve daha fazla yük kapasitesiyle fırlatabilir, bu da daha yetenekli İHA'ların çeşitli amaçlar için kullanılmasına yardımcı olur. Bu çalışmaya, elektromanyetik fırlatma sisteminin temel kavramlarının ve bunların İHA fırlatma sistemlerine uygulanması incelenerek başlanmıştır. EFP'nun İHA üzerinde uygulanabilirliğinin ispatlanmasının ardından, İHA'ların aerodinamik performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için teorik hesaplamalar ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri yapılmıştır. En uygun fırlatma konfigürasyonlarını oluşturmak için farklı fırlatma

hızlarının ve fırlatma açılarının İHA'nın uçuş dinamiği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İHA'nın fırlatma anından itibaren belirli yüksekliğe ulaşana kadar hızının ve konumunun değişimi, uçuş dinamiği teoremleri kullanılarak elde edilen diferansiyel denklem çözümlerle hesaplanmıştır.

Teorik ve HAD analiz bulguları, EFP'nin İHA'lar üzerindeki aerodinamik etkileri hakkında fikir vermektedir. Bulgular, fırlatma hızı, kararlılık ve genel uçuş performansında olası iyileştirmeleri gösteriyor. Ayrıca çalışma, İHA platformlarıyla etkin aerodinamik entegrasyon için EFP tasarım parametrelerini geliştirmeye yönelik faydalı tavsiyeler sunmaktadır. Çalışmanın bulguları, İHA teknolojisinin gelişimi için, özellikle fırlatma kabiliyeti ve aerodinamik verimlilik açısından önemli çıkarımlara sahiptir. İHA'larda bir EFP'nin kullanılması, geliştirilmiş yük kapasitesine ve daha uzun görev menzillerine izin verebilir. Bu bulgular, askeri operasyonlar, afet müdahalesi, çevresel izleme ve havadan gözetleme gibi sektörlere yardımcı olacak, İHA'nın sürekli gelişimine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Sözcükler : Elektromanyetik fırlatma platformu, İnsansız hava aracı, Raylı tüfek, Aerodinamik, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Uçuş dinamiği.

Bilim Kodu : 91410

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

**APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC LAUNCH SYSTEM ON
UNMANNED AERIAL VEHICLE AND INVESTIGATION OF ITS
AERODYNAMIC EFFECTS**

Ilkin ASGARZADE

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mehmet BAKIRCI

July 2021, 49 pages

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are used in a variety of industries, including military, surveillance and commercial purposes. The aim of this thesis is to create a rail gun-based electromagnetic launch platform (EFP) for UAVs. Using a rail gun to launch UAVs offers several advantages over runway takeoff. Railguns can launch UAVs at higher speeds and with greater payload, allowing more capable UAVs to be used for a variety of purposes. Research begins with an examination of the basic concepts of electromagnetic propulsion and their application to UAV launch systems. After successful integration of EFP, theoretical calculations and CFD analysis are performed to evaluate its impact on the aerodynamic performance of UAVs. Flight CFD analysis are performed with the computer package program Ansys to evaluate various factors such as lift, drag, stability and control characteristics. In order to

create the most suitable launch configurations, the effects of different launch speeds and launch angles on the flight dynamics of the UAV were investigated. Theoretical and CFD findings give an idea about the aerodynamic effects of EFP on UAVs. The findings show possible improvements in launch speed, stability and overall flight performance. In addition, the study provides useful recommendations for improving EFP design parameters for efficient aerodynamic integration with UAV platforms. The findings of the study have important implications for the development of UAV technology, especially in terms of launch capability and aerodynamic efficiency. The use of an EFP in UAVs can allow for faster deployment, improved cargo capacity and longer mission ranges. These findings will contribute to the continued development of UAVs that will assist industries such as military operations, disaster response, environmental monitoring and aerial surveillance.

Keyword : Electromagnetic launch platform, Unmanned aerial vehicle, Railgun, Aerodynamic, Computational fluid dynamics, Flight dynamics.

Science Code : 91410

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam ve danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAKIRCI'a saygı ve őükranlarımı sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	9
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1. FIRLATMA PLATFORMLARI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	9
2.2. İHA 'NİN KALKIŞI ZAMANI ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÜZERİNDE OLUŞAN OLUMSUZ ETKİLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
BÖLÜM 3	18
YÖNTEM.....	18
3.1. ELEKTROMANYETİK FIRLATMA PLATFORM SİSTEMİ MATEMATİKSEL FORMÜLLER	18
3.2. İHA 'NİN HAD İLE AKIŞ ANALİZİ	21
3.3. FIRLATMA SONRASINDA İHA 'NİN MOTORSUZ YÜKSELİŞİ.....	24
BÖLÜM 4	26
TEORİK HESAPLAMA, SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. EFP SİSTEMİNİN TEORİK HESAPLAMALARININ SONUÇLARI	26
4.2. İHA AKIŞ ANALİZİ SİMÜLASYON SONUÇLARI	30

4.3. FIRLATMA SONRASINDA İHA'NIN YÜKSELİŞİNDEKİ HESAPLAMA SONUÇLARI	40
BÖLÜM 5	44
SONUÇ VE ÖNERİLER	44
5.1. SONUÇLAR	44
5.2. ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Lorentz kuvvetinin raylarda oluşması [4].	4
Şekil 1.2. İHA fırlatma platformu [5].	6
Şekil 1.3. Tasarlanan İHA modeli.	7
Şekil 2.1. Uçuş aşamasına göre akım yükü [14].	15
Şekil 2.2. Uçuş aşamasına göre voltaj [14].	16
Şekil 3.1.1. Fırlatma sisteminin yük devresi [12].	18
Şekil 3.1.2. Konuma göre iletkenin direnci ve endüktansı [12].	19
Şekil 3.2.1. İHA'nın üstten görünümü.	21
Şekil 3.2.2. İHA'nın yandan görünümü.	22
Şekil 3.2.3. İHA'nın arkadan görünümü.	22
Şekil 3.2.4. Akış alanı.	23
Şekil 3.2.5. İHA'nın ağırlık merkezi.	23
Şekil 4.1.1. İHA için EFP'de voltaj değişimi.	27
Şekil 4.1.2. İHA için EFP'de akım değişimi.	27
Şekil 4.1.3. İHA için EFP'de ivme değişimi.	28
Şekil 4.1.4. İHA için EFP'de hız değişimi.	29
Şekil 4.1.5. İHA için EFP'de alınan mesafe.	29
Şekil 4.2.1. İHA'nın uçuş ve önden açılı rüzgar yönü.	31
Şekil 4.2.2. Eksenlere göre yuvarlanma, sapma ve yunuslama momentleri.	31
Şekil 4.2.3. Önden açılı rüzgar etkisinde oluşan yan kuvvet.	32
Şekil 4.2.4. Uçuş hızına göre yuvarlanma momenti.	32
Şekil 4.2.5. Uçuş hızına göre sapma momenti.	33
Şekil 4.2.6. Uçuş hızına göre yunuslama momenti.	33
Şekil 4.2.7 a. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.	34
Şekil 4.2.7 b. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.	35
Şekil 4.2.8 a. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.	35

Şekil 4.2.8 b. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.	36
Şekil 4.2.9 a. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.	37
Şekil 4.2.9 b. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.	37
Şekil 4.2.10 a. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.	38
Şekil 4.2.10 b. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.	38
Şekil 4. 2.11 a. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 30 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.	39
Şekil 4.2.11 b. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 30 m/s açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.	39
Şekil 4.3.1. 40 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.....	40
Şekil 4.3.2. 50 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.....	41
Şekil 4.3.3. 60 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.....	42

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1.1. İHA'nın kütlesine göre voltaj, akım, başlangıç hız.	26
Tablo 4.1.2. Sistemin ulaştığı maksimum akım değerleri.....	28
Tablo 4.1.3. Fırlatma sistemin ulaşılan maksimum ivme değerleri.	28
Tablo 4.1.4. İHA kütlesine göre kalkış hızı ve zamanı.....	30
Tablo 4.3.1. 40 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.....	41
Tablo 4.3.2. 50 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.....	42
Tablo 4.3.3. 60 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler:

F	: Kuvvet
i	: Akım
L	: Raylar Arasındaki Mesafe
B	: Manyetik Alan
L'	: Manyetik Alan Faktörü
m	: Kütle
a	: İvme
R_c	: İletkenin Direnci
$R_{r(x)}$: İletkenin Konuma Göre Direnci
X	: Konum
L_c	: İletkenin Endüktansı
$L_{r(x)}$: İletkenin Konuma Göre Endüktansı
R'	: İletkenin Mesafeye Göre Direnci
I_L	: Fırlatma Sisteminden Geçen Akım
V_C	: Kondansatörün Voltajı
l_c	: İletkenin Uzunluğu
l_r	: Rayın Uzunluğu
l_{pr}	: Merminin Uzunluğu
h_c	: İletkenin Yüksekliği
h_r	: Rayın Yüksekliği
w_r	: Rayın Genişliği
A_c	: İletkenin Yüzey Alanı
A_r	: Rayın Yüzey Alanı
ρ_m	: Malzemenin Direnci
μ_0	: Havanın Geçirgenliği
μ_r	: Nispi Geçirgenlik
v	: Merminin Hızı
c	: Kondansatörün Kapasitesi

t	: Zaman
θ	: Fırlatma Açısı
g	: Yerçekimi İvmesi
L	: Kaldırma Kuvveti
D	: Sürüklenme Kuvveti
ρ	: Akışkanın Yoğunluğu
V	: İHA'nın Uçuş Hızı
C_l	: Kaldırma Kuvveti Katsayısı
C_d	: Sürüklenme Kuvveti Katsayısı
A_i	: Açıya Göre Kanat Alanı
A	: Kanat Üst Yüzey Alanı
F_x	: X Eksenine Kuvvet Bileşeni
F_y	: Y Eksenine Kuvvet Bileşeni
V_x	: X Eksenine Hız Bileşeni
V_y	: Y Eksenine Hız Bileşeni
W	: Ağırlık Kuvveti

KISALTMALAR

- İHA : İnsansız Hava Aracı
EFP : Elektromanyetik Fırlatma Platformu
CFD : Computational Fluid Dynamics
HAD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
FEM : Finite Elements Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
EMF : Elektromanyetik fırlatıcı
EMRG : Electromagnetic Railgun (Elektromanyetik raylı tüfek)
CAD : Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi geliştikçe her boyutta ve amaçta İHA kullanımını da artmaktadır. Büyük İHA'lar, insanlı hava aracı gibi karmaşık görevleri üstlenebilirken, küçük, elle fırlatılabilen İHA'lar daha kompakt ve taşınabilir oldukları için daha geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Ancak bu iki uç arasında, manuel olarak fırlatılmayan bir taktik İHA sınıfı vardır. Manuel olarak fırlatılmayan taktik İHA'lar genellikle daha büyüktür ve güçlü sensörler, kameralar ve diğer ekipmanlarla donatılmıştır. Bu İHA'lar daha uzun uçuş sürelerine ve daha geniş görev yeteneklerine sahip olabilir. Ancak bu İHA'ların kalkış ve iniş için bir pist veya havalimanı altyapısına ihtiyacı var. Bir pist inşa etmek pahalı ve zaman alıcı bir çaba olabilir. Pist inşası, özellikle ulaşım ve hızlı müdahale gerektiren taktik operasyonlarda mümkün olmayabilir. Sonuç olarak, elle fırlatılan İHA'lar daha fazla esneklik sunar ve daha hızlı konuşlandırılabilir. Ancak manuel olarak fırlatılmayan, daha büyük İHA'ları kullanmak için çeşitli çözümler var. Örneğin mancınık sistemleri veya elektromanyetik fırlatıcılar gibi mekanik veya elektromanyetik fırlatma mekanizmaları. Bu İHA'ların hızlı ve güvenli bir şekilde havalanmasına yardımcı olabilir. İHA teknolojisinin hızlı gelişimiyle, daha gelişmiş kalkış ve iniş teknolojileri, gelecekte havaalanı altyapısına olan bağımlılığı azaltarak, taktiksel İHA'ların daha esnek konuşlandırılmasına izin verebilir. Bu kurulumlar mükemmel bir seçimdir çünkü:

- İHA'lar kalkış pisti altyapısı yokluğunda fırlatılabilir;
- fırlatmada yakıt kullanılmadığından, yük ağırlığı veya görev süresi artabilir;
- bu yöntem çevre için iyidir.
- pist altyapısına ihtiyaç duymadığı için istenilen konumdan kalkış yapabilir.

Mancınık kurulumları, İHA'ları hızlandırmak için çeşitli enerji türleri kullanır, örneğin:

- yaylarda depolanan mekanik enerji;
- pnömatik veya hidrolik olan silindirler ve pistonlar tarafından üretilen güç;
- elektrikle çalışan motorlar.

Tüm bu kurulumlar, karmaşıklığı artıran ve gerçekleştirmek için çok fazla bakım gerektiren birkaç parçadan oluşur. Düşük fırlatma hızıyla sınırlıdır. Fırlatma sistemini optimize etmek ve bakım maliyetlerini azaltmak için, mümkün olduğu kadar az hareketli parçaya sahip olmalı ve bilgisayar kontrollü devreye kolay entegrasyon sağlamak için elektrikle beslenmelidir.

Ray tabancası gibi elektromanyetik fırlatma sistemi mekanik sistemlere bir alternatif olabilir. Başlangıçta, bu cihazlar yalnızca mermileri yüksek hızlarda fırlatmak için tasarlanmıştır. Kimyasal enerji ile çalışan silahlar tam potansiyeline ulaştığında, araştırmacılar mermi hızını 1,5 km/s'den 8 km/s'ye çıkarmak için yeni bir yöntem geliştirdiler. İlk ve en çok tanınan araştırma konusu raylı tüfek tasarımıdır. Bu konsept, kayan bir iletken iticiyle bağlanan iki paralel raydan oluşur. Bu tasarımın avantajları arasında yüksek hızlar, düşük geri tepme, daha düşük namlu aşınması ve daha yüksek enerji verimliliği bulunur. Raylı tüfeklerin mermi hızlarını artırma potansiyeli, geleneksel kimyasal enerji tabanlı silahlardan çok daha fazladır. Bu da daha uzun menzillerde etkili olmalarını sağlar.

Normal bir pist kalkışında kalkış için gerekli hızı elde etmek için, İHA'nın motorları ağırlık ve sürüklenme kuvvetlerinin üstesinden gelmelidir. İHA'nın motorları tarafından sağlanan bu kuvvet ihtiyacı önemli miktarda enerji gerektirir [1]. Bir elektromanyetik fırlatıcı sisteminde ise İHA'yı fırlatmak için gereken enerji, enerjiyi kısa sürede depolayan ve serbest bırakan elektrik devresi tarafından sağlanır. Fırlatma sistemi gerekli miktarda enerjiyi kısa sürede verebildiği için İHA istenilen kalkış hızına, hızlı ve etkin bir şekilde ulaşabilmektedir. Kalkış sırasında enerjinin bu verimli kullanımı, İHA'nın genel enerji tüketimini azaltarak daha fazla menzil ve uçuş süresi sağlar. Ayrıca, konvansiyonel pist kalkış yöntemleri ile karşılaştırıldığında, İHA kalkışı için elektromanyetik fırlatıcı sisteminin kullanılması, kalkış ve iniş için altyapı gereksinimlerini önemli ölçüde azaltabilir. Elektromanyetik fırlatıcı sistemleri, askeri operasyonlar gibi hızlı eylem gerektiren durumlar için de

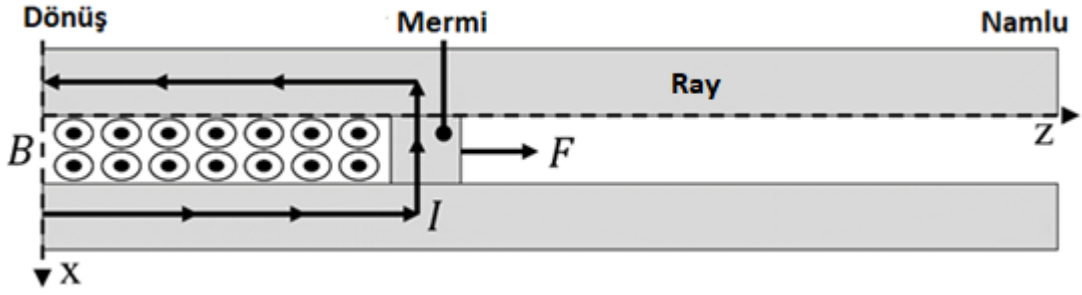
avantajlıdır. Acil bir durumda veya ani bir keşif görevinde, İHA hızla fırlatılabilir ve operasyona hızla dahil olabilir. Bu, askeri personelin daha hızlı yanıt vermesini ve gerektiğinde hızla müdahale etmesini sağlar. Bununla birlikte, elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinin bazı sınırlamaları da vardır. Öncelikle, İHA'nın tasarımında ve yapısal dayanıklılığında özel gereksinimler gerektirirler. İHA, fırlatma sırasında ortaya çıkacak yüksek ivmeleri tolere edebilmeli ve fırlatma kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalıdır.

EFP İHA'nın kalkışını daha güvenli hale getirir. İHA, bir fırlatma rampasına yerleştirilir ve fırlatıcı sistemi, İHA'nı hızla hedeflenen kalkış hızına ulaşacak şekilde fırlatarak kalkışı gerçekleştirir. Bu yöntemde, İHA'nın hava koşullarına, pist durumuna veya dış etkenlere bağlı olarak dengesini sağlaması gerekmez. Ayrıca, fırlatma rampasının doğru konumlandırılmasıyla, rüzgar gibi faktörlerin etkisi minimize edilebilir.

Rüzgar faktörü, ister bir elektromanyetik fırlatıcı kullanılarak ister geleneksel pist kalkışıyla fırlatılsın, İHA kalkış performansını ve güvenliğini etkileyen çok önemli bir unsurdur [2,3]. Rüzgarın İHA kalkış performansı üzerindeki etkisi bu iki sistem arasında farklılık gösterebilir ve fırlatma sistemi, kalkış sırasında ekstra stabilite ve güvenlik avantajları sağlayabilir. Rüzgar, standart bir pist kalkışında rüzgar bileşeni sağlayarak İHA'nın pist merkez hattından sapmasına neden olarak kaza tehlikesini artırabilir. Ayrıca rüzgar bileşeni, İHA'nın kalkış sırasında sallanmasına veya yalpalamasına neden olarak önemli ölçüde dengesizliğe neden olabilir. Öte yandan, bir elektromanyetik fırlatma sisteminde, İHA büyük bir ivme ile fırlatılır ve rüzgar varlığında İHA'nın dengelenmesine yardımcı olabilecek güçlü bir ileri momentum yaratacaktır. Ayrıca fırlatma yörüngesi tipik olarak dikey açıdır ve bu da rüzgarın İHA'nın kalkış performansı üzerindeki etkisini daha da azaltabilir.

Sonuç olarak, elektromanyetik fırlatıcı sistemleri İHA'ların kalkışını hızlandırır, güvenli hale getirir ve enerji verimliliğini artırır. Bu sistemler, askeri gözetleme ve keşif gibi birçok uygulama için uygun bir seçenek olabilir. Ancak, İHA tasarımı ve altyapı gereksinimleri gibi bazı faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Ray tabancaları, Lorentz kuvvetinden yararlanmak için bir çift iletken ray ve iki rayı bir birine bağlayan sürgülü bir iletken itici kullanır. Akım, bir raydan akarak iletken iticiden diğer raya geçer ve diğer raydan geri gönderilir. Paralel raylardan akan akım, her rayın etrafında bir manyetik alan oluşturur ve bu manyetik alan, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi bir Lorentz kuvveti oluşturmak için iletken iticiden akan akımla etkileşime girer.



Şekil 1.1. Lorentz kuvvetinin raylarda oluşması [4].

Lorentz kuvveti aşağıdaki denklem ile tanımlanır:

$$\vec{F} = (\vec{B} \otimes \vec{i})L \quad (1)$$

Burada i akım, B manyetik alan ve L raylar arasındaki mesafedir. Bu kural, iletken bir mermi ile ayrılmış iki paralel raya uygulandığında, Lorentz Kuvvet vektörü tam olarak rayların ortasından geçerek merminin ivmelenmesine neden olur.

Akım, raylar boyunca hareket eder ve yönü sağ el kuralına göre olan ray etrafında bir manyetik alan oluşturur. Akım daha sonra karşı raydan çıkmadan önce mermi boyunca raylara dik olarak akar. Bu manyetik alanlar mermi içinde aynı yönde birleşerek, Denk. 1'de gösterildiği gibi Lorentz kuvveti oluşur. Akımın geçtiği raylardaki manyetik alanın büyüklüğü, kullanılan akım miktarı ve akımın yol aldığı uzunlukla doğru orantılıdır. Bu nedenle, yüksek akım, daha güçlü bir manyetik alan oluşturacak ve daha fazla Lorentz kuvveti üretecektir.

Lorentz denklemi EFP ve geometrinin temeli olmasına rağmen doğrudan uygulanamaz. Ray akımına, kesitine, uzunluğuna ve merminin konumuna bağlı olduğundan B vektörünün analitik olarak hesaplanması son derece zordur. Bununla birlikte, geometri belirlendikten sonra, geometri bir manyetik alan faktörü, L' olarak karakterize edilebilir. Manyetik alan faktörü aynı zamanda EFP geometrisinin

endüktans gradyanı olarak da bilinir ve metre başına Henry cinsinden ölçülür. L' , denklemin büyük ölçüde azaltılmasına izin verir. Denk. 1'i şu şekilde temsil edilen bir skaler kuvvete dönüştürür:

$$F = \frac{1}{2} L' \cdot i^2 \quad (2)$$

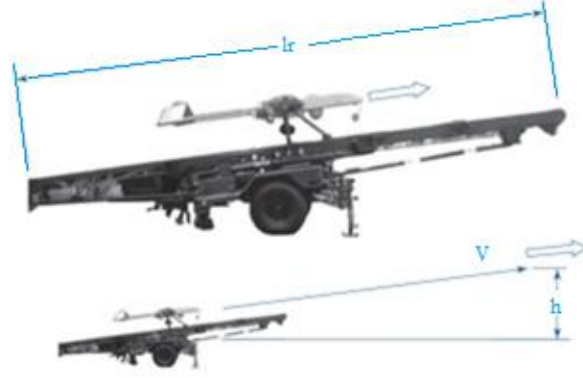
Newton'un ikinci yasasını kullanarak bu kuvvet fonksiyonundan ivmeyi hesaplayabiliriz.

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

$$a = \frac{L' \cdot i^2}{2m} \quad (4)$$

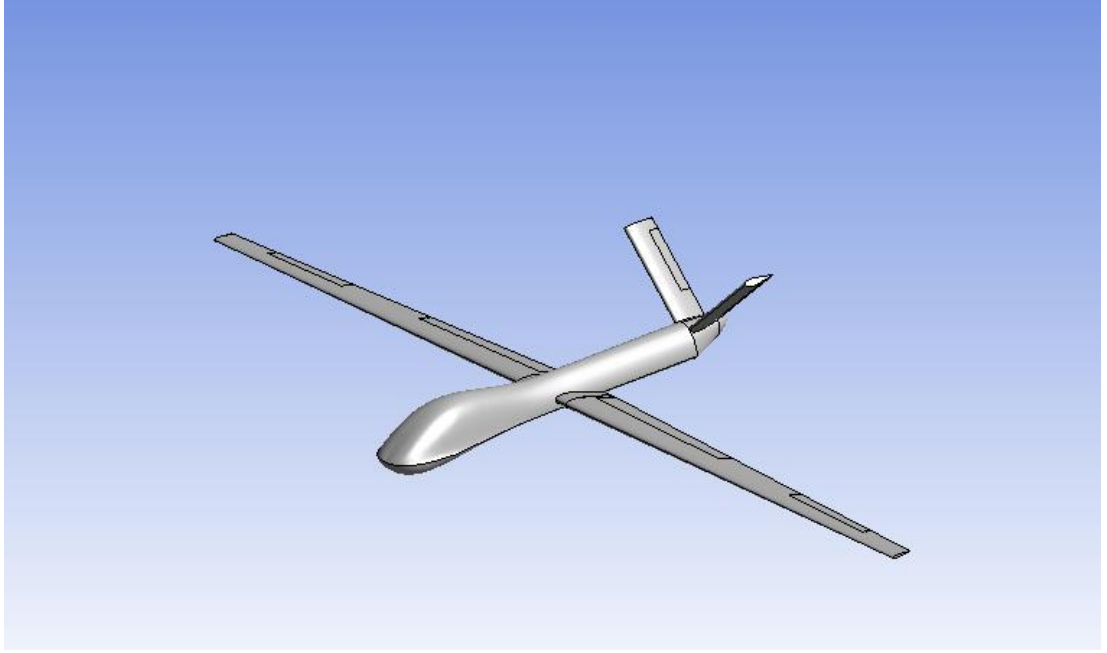
İvme belirlendikten sonra, basit bir entegrasyon hız ve konumu verir.

Aerodinamik hesaplamalar, elektromanyetik fırlatıcılarla ateşlenen İHA'lar dahil olmak üzere herhangi bir hava aracının tasarımında ve geliştirilmesinde esastır. Bir İHA'nın aerodinamik özellikleri, performansını, kararlılığını ve kontrolünü etkilediğinden, tasarım süreci boyunca kapsamlı bir şekilde araştırılmalı ve tasarlanmalıdır. Aerodinamik hesaplamalar, uçuş veya fırlatma sırasında bir İHA'na etki eden kuvvetleri ve momentleri tahmin etmek için kullanılır. Kaldırma, sürüklenme, itme, ağırlık kuvvetleri ve yunuslama, yuvarlanma, yalpalama momentleri İHA'ya etki eden kuvvetler ve momentlerdir. Bu kuvvetlerin ve momentlerin hesaplanması, İHA'nın hava akışının iyi anlaşılmasını gerektirir. Bu hesaplamaları yapmak için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ve rüzgar tünelleri gibi gelişmiş hesaplama araçlarını kullanılır. HAD yazılımı, bir İHA'nın etrafındaki hava akışını simüle edebilir ve ardından gelen kuvvetleri ve momentleri hesaplayabilir. Öte yandan rüzgar tünelleri, bir İHA'nın aerodinamik niteliklerinin kontrollü fiziksel olarak test edilmesini sağlar. Özetlemek gerekirse, aerodinamik hesaplamalar, elektromanyetik fırlatıcı kullanan İHA geliştirmenin önemli bir parçasıdır. Kalkış ve uçuş sırasında İHA üzerinde çalışan basınçları ve momentleri hesaplamak, güvenli ve verimli bir kalkışı garanti etmeye ve genel uçuş performansını artırmayı sağlayacaktır. İHA'lar için fırlatma platformuna örnek Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. İHA fırlatma platformu [5].

Elektromanyetik olarak fırlatılan İHA'ya etki eden aerodinamik kuvvetleri ve yükleri hesaplamak için Ansys Fluent bilgisayar paket programı kullanılmıştır. Program, akışkan akışını yöneten denklemleri sayısal olarak çözer ve fırlatma sırasında İHA'yı çevreleyen karmaşık akışları simüle edebilir. Aerodinamik kuvvetleri ve momentleri hesaplamak için önce Ansys Fluent'te İHA'nın 3 boyutlu bir modeli oluşturulmalıdır(Şekil 1.3). Bu model, İHA'nın gerçek şeklinin ve özelliklerinin bilgisayar temsilidir. İHA'ların kanatları, gövdesi, kuyruk yüzeyleri ve diğer kritik bileşenleri uygun şekilde tasarlanmalı ve boyutlandırılmalıdır.



Şekil 1.3. Tasarlanan İHA modeli.

Şekil 1.3'te görüldüğü gibi basit bir İHA modeli çizilmiştir. Kanat profili olarak NACA 0012 kullanılmıştır. Kanat gövdeye ortadan bağlanmıştır ve gövdeden uca doğru daralan bir tasarıma sahiptir. Kuyruk V şekilli olarak tasarlanmıştır. Yüksek hızlarda, kontrol etkinliği, manevra kabiliyetini ve dengeyi korumak için çok önemli hale gelir. V kuyruk konfigürasyonu, yunuslama ve sapma(pitch ve yaw) arasındaki etkileşimli kontrol nedeniyle gelişmiş çeviklik ve tepki sağlayabilir. Ancak etkileşimleri ve yunuslama ile yalpalama arasındaki bağlantıyı yönetmek için kontrol sistemlerinin dikkatli bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

İHA'nın CAD modeli oluşturulduktan sonra HAD analizi için parametreler belirlenmiştir. Akışkanın özellikleri, uçuş hızı, atmosferik koşullar ve diğer önemli unsurlar dikkate alınarak uygun değerler seçilmiştir. Bu değişkenler, doğru hesaplama sonuçları elde etmek için kritik öneme sahiptir. İHA modeli etrafında bir akış alanı oluşturulmuştur. Bu akış alanının sınır koşulları belirlendikten sonra oluşturulan hücrelerde (küçük kontrol hacimleri, mesh) kütle ve momentum korunum denklemleri iteratif olarak Ansys Fluent bilgisayar paket programı kullanılarak çözülmüştür. İHA'nın yüzeyine etki eden aerodinamik kuvvetler (kaldırma, sürüklenme) ve momentler (yuvarlanma, sapma, yunuslama) bu süreçte hesaplanmıştır. Aerodinamik kuvvetler ve yükler hesaplandıktan sonra, bu bilgi İHA

tasarımını ve fırlatma mekanizmasını optimize etmek için kullanılabilir. Aerodinamik yükleri azaltmak ve genel sistem performansını artırmak için fırlatma koşulları değiştirilebilir. Örneğin fırlatma hızı ve açısı, fırlatma sırasında İHA üzerindeki stresi azaltmak için ayarlanabilir. Bu kuvvetlerin, yüklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, sistemin güvenliğini ve performansını garanti etmek için kritik öneme sahiptir. Bu veriler, İHA ve fırlatma sisteminin tasarımını, genel performansını geliştirmek için kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, elektromanyetik fırlatma mekanizması kullanılarak fırlatılan İHA performansını değerlendirmektir. Amaç, İHA'nın motor gücünü kullanmadan mümkün olan maksimum irtifaya ulaşması için en iyi fırlatma hızı ve açısını belirlemektir. Belirlenen bu değerler İHA'nın uçuş dinamiği hesaplamalarında kullanılmıştır. Hesaplamalarda, İHA'nın performansı için en iyi parametreleri bulmak üzere farklı fırlatma hız ve açı değerleri irdelenmiştir. Çalışmada, fırlatma parametrelerini iyileştirmenin yanı sıra İHA'nın fırlatma sonrası uçuş performansı değerlendirilmiştir. Hesaplamalar, motor gücünün yokluğunda İHA'nın uçuş süresini ve maksimum irtifasını değerlendirecek ve uzun süreli görevler için bir EFP'nin konuşlandırılmasının uygulanabilirliği hakkında fikir vermektedir. Çalışmanın nihai amacı, İHA kalkışı için elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinin uygulanabilir olmasını göstermek, İHA'nın menzilin ve uçuş süresini artırmak, kalkış için gerekli altyapıyı en aza indirmek için İHA endüstrisine ve askeri kuruluşlara öneriler, alternatif çözümler sunmaktır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. FIRLATMA PLATFORMLARI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Raylı tüfekler ile ilgili çalışmalar geçmişte yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, bu teknolojinin silah olduğu ve yapımında oluşabilecek tehlikeler, yüksek akımla çalışması, patlama riski göz önünde bulundurulduğunda çoğunlukla teorik boyutta yapılmıştır. Genellikle çalışmalar mermi hızını ve enerji verimliliğini artırmak için yapılmıştır. Bu teknoloji aynı zamanda, elektromanyetik fırlatma sistemi olarak, roket ve savaş uçağı gibi araçların fırlatılmasında da kullanılmaktadır. Roket ve savaş uçaklarının kalkışı için yardımcı sistem olarak kullanılmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan literatürdeki çalışmaların bir kısmından aşağıdaki paragraflarda bahsedilmiştir.

Laurian Gherman, taktik İHA'lar için yeni bir elektromanyetik enerji tabanlı fırlatma sistemini inceledi. Bu teknoloji, yüksek hızlı mermileri fırlatmak için geliştiriliyor, ancak İHA'ları da fırlatma potansiyeli olduğu gösterilmiştir. Çalışmada E-şekilli bir elektromanyetik fırlatma sisteminin inşası için belirli yaklaşımlar altında gerekli teorik hesaplamalar yapılmıştır. Teorik sonuçlara dayanarak, bu tasarımın laboratuvar ortamında davranışını test etmek için fiziksel bir model oluşturulmuştur. Bunu takiben, fiziksel modelin davranışını %1'den daha az hatayla taklit edecek şekilde kalibre edilmiş bir bilgisayar modeli yapılmıştır. Üç boyutlu elektromanyetik alan sorunlarını değerlendirmek, çözmek ve E-şekilli tasarımın davranışını simüle etmek için Sonlu Elemanlar Yöntemine (FEM) dayalı etkileşimli bir yazılım programı kullanılmıştır. Araştırmanın son bölümü, çeşitli kütleleri belirli bir hızda fırlatmak için E-şekil tasarımının kullanılmasının uygulanabilirliğini gösteren HAD hesaplamalarının bulgularını sunar. "E-şekilli" tasarım, bir İHA'yı fırlatmak için yeterli gücü üretebilir. Ayrıca kuvvet, İHA kütlesine ve fırlatma hızına bağlı olarak

ayarlanabilmekte ve birden fazla İHA için tek bir mançınık kullanılmasına olanak sağlamaktadır [6].

Bu konuyla ilgili başka bir çalışma Cox T. tarafından yapılmıştır. British Aerospace ve Marconi Electronic (BAE) Systems tarafından yapılan "UXV Combatant", çok sayıda İHA konuşlandırabilen ve fırlatma sistemleri için iki adet 50 metrelik uçuş güvertesi içeren bir İHA ana gemisidir. UXV savaşçısının Triton gibi dev donanma İHA'larını konuşlandırması için devasa bir elektromanyetik fırlatma mekanizması gerekecektir. Triton boyutunda büyük bir İHA'yı küçük bir deniz platformundan yüksek ivme ile fırlatabilecek bir elektromanyetik fırlatma mekanizmasının tasarımı ve modellenmesi bu çalışmanın odak noktasıdır. Makale, hem UXV muharip tasarımını hem de mevcut Tip 45 arka uçuş güvertesinin kullanımını ele alıyor. İHA'nın fırlatma ihtiyaçlarını, sistem güç gereksinimlerinin belirlenmesi ve fırlatma topolojisinin seçimi, sistem fırlatma döngüsünün analitik modellenmesi ve seçilen motor sistemi tasarımını doğrulamak için Sonlu Eleman Analizi yöntemi kullanılmıştır. Bulgular, bir İHA taşıyıcısı olarak yapılandırılmış veya mevcut uçuş güvertesini kullanarak Tip 45 ölçekli bir fırlatma platformundan büyük donanma İHA'larını fırlatabilen elektromanyetik lineer motor tabanlı bir sistemin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu araştırma, elektromanyetik motorların en büyük İHA'ları bile mütevazı bir deniz platformundan fırlatmak için kullanılabileceğini göstermiştir. Oluşturulan elektrikli makinenin pratikliği, doğrusal olmayan 2 boyutlu Sonlu Eleman Analizi yöntemi kullanılarak gösterilmiştir ve tasarımın, Type 45 platformunun voltaj ve akım tasarım kısıtlamaları içinde kalırken sistemin itme gereksinimlerine uymasını sağlamak için geçici bir HAD analizi gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik fırlatmaya izin vermek için Triton gövdesinde gerekli olabilecek modifikasyonlar da dikkate alınmamıştır. Son olarak, tüm güç kaynağı, depolama sisteminin kapsamlı tasarımı ve özellikleri, sistemin pratikliğini oluşturmak için daha ayrıntılı olarak ele alınması gereken önemli bir sorun olmaya devam etmektedir [7].

Miroslaw Kondratiuk, çalışmada ağırlığı 25 kg'a kadar olan insansız hava araçları için EMF tasarımını anlatmaktadır. Makale, bir manyetik çekirdek teknolojisi kullanan çok bobinli roketin HAD hesaplamalarını içermektedir. Hesaplamalarda

sonlu eleman yaklaşımı uygulanmıştır. Ayrıca araştırma, manyetik çekirdekten fırlatılan faydalı yüke mekanik güç aktarımı için bir manyetik destek kavramını önermektedir. Kullanılan yöntemler, hesaplama sonuçları ve pratik uygulamaların olası teknolojik sınırlamaları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Altı sürüş modülünden oluşan EMF mimarisinin Computer Aided-Design (CAD) tasarımı da eşit derecede önemlidir. Çekirdekten platforma ve fırlatılan İHA'ya güç aktarımı sorunları da kapsamlı bir şekilde araştırılmalı ve çözümlenmelidir. Diğer tasarım hususları, çerçevenin şekli ve malzemeleri, taşıma seçenekleri, sistem montaj ve demontajı, güç sistemi bağlantıları, elektronik kontrol sistemleri, güvenlik koşulları, İHA'nın fırlatıcıya montajı, kritik parçaların mekanik dayanımı vb. içermektedir. Şimdiye kadar, çalışma, belirtilen projenin oldukça zor ve karmaşık olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar ve planlanan çözümler umut vericidir ve 25 kg'a kadar olan İHA'lar için manyetik bobin EMF'nin uygulanabilir bir olasılık olduğunu göstermektedir [8] .

Hailong Wang makalesinde, hafif bir İHA hızlandıran EMF tasarlanmıştır. Hafif İHA'ları için çeşitli EMF modlarının avantajları ve sınırlamaları değerlendirilmiştir. İHA EMF'sinin kinematik analizi ve fırlatma prosedürü ele alınmıştır. EMF'nin genel tasarımı, EMF'nin yapı tasarımı ve EMF sisteminin bileşenleri, İHA EMF'sinin parametreleri temel alınarak belirlenmiştir. Son olarak, EMF sistem modelinin bileşenlerini oluşturmak için CATIA yazılımı kullanılmıştır. Makalenin birincil bulguları şunlardır: İlk olarak, İHA fırlatma prosedürünün kinematik çalışması tamamlanmıştır. Ardından, Fırlatma sisteminin performans parametre gereksinimlerine uygun olarak cihazın genel tasarımı ve bileşenlerin özel tasarımı tamamlanmıştır. Son olarak, fırlatma cihazının üç boyutlu modellemesini gerçekleştirmek için CATIA yazılımı kullanılmış ve cihazın bileşenlerinin bağlantısını ve düzeneğin ilişkisini gösterilmiştir. Yapıların statik gücünü analiz etmek için Patran programı kullanılmıştır [9].

Zhiren Wang, enerji depolama sisteminin hacmini ve ağırlığını azaltmak amacıyla İHA EMF için batarya ve süper kapasitörden oluşan hibrit bir enerji depolama sistemi oluşturmuştur. Bataryanın bir enerji depolama cihazı olduğu düşünülürken, süper kapasitörün bir güç serbest bırakma cihazı olduğu düşünülüyor. Pil önce süper

kapasitörü şarj eder ve süper kapasitör daha sonra EMF`ya ayrı ayrı güç gönderir. Yöntem, süper kapasitörü tutarlı bir akımla şarj etmek ve ardından süper kapasitörün EMF için sabit bir voltaj devresi beslemesini sağlamak için yükseltme devresini kullanmaktır. Simulink hesaplama sonuçları, planlanan hibrit enerji depolama sisteminin EMF kriterlerini karşılayabileceğini göstermektedir. Yalnızca pillerle çalışan bir sistemle karşılaştırıldığında, önerilen strateji, enerji depolama sisteminin alanını ve ağırlığını önemli ölçüde azaltırken pil sayısını da en aza indirebilir. Bir enerji depolama sistemi olarak, önerilen yaklaşım pili süper kapasitörle birleştirir. Süper kapasitör, fırlatma sırasında lineer motora güç sağlar. Pil, fırlatma işleminden sonra süper kapasitörü şarj eder. Bu yöntem, İHA elektromanyetik fırlatma gereksinimlerini ve özelliklerini karşılar. Bataryanın deşarj akımını ve sağlanan voltajını düşürerek, önerilen teknik EMF hacmini ve ağırlığını etkili bir şekilde azaltmıştır. Lineer motora güç iletmek için süper kapasitörün takviye devresi kullanıldığından, süper kapasitörün deşarj akımı yüksektir ve güç anahtarına daha fazla talep getirir [10].

Garrett Ross yazdığı tezde, raylı tüfeklerin doğasını daha iyi anlamak için elektromanyetik fizik yasalarını kullanmıştır. Formüller, değişen ray geometrilerinin neden olduğu karmaşık denklemleri çözen bilgisayar paket programlarıyla karşılaştırılmadan önce kullanım kolaylığı için geliştirilmiştir. Daha fazla basitleştirme, merminin nihai hızı için bir denklemle sonuçlanır. Ortaya çıkan doğrusal olmayan diferansiyel denklemler daha sonra, fiziksel boyutlara ve malzeme niteliklerine dayalı olarak zaman içindeki mermi hızına yaklaşan bir Simulink hesaplamalarına dahil edilmiştir. Bazı türetilmiş denklemler ilgili literatürde bulunabilir, ancak genellikle açıklamaları yoktur. Bu makale, ray ve mermi üzerine etkileyen kuvvetlerin yoğunluğu, ray akımı ve mermi başlangıç hızı gibi önemli özellikleri arasındaki tüm göreceli bileşen ilişkilerinin tam bir türevini sunmayı amaçlamaktadır. Bu, mermi ivmesinin hangi etkilerinin, her bir rayın ne kadar desteğe ihtiyaç duyduğunun, mermiye ne kadar başlangıç hızı verileceğinin vb. belirlenmesini kolaylaştırır. Tipik tasarımın yanı sıra, önerilen diğer tasarım seçenekleri arasında gelişmiş bir ray sistemi, manyetik bir kabuk tasarımı ve "etrafı saran" bir tasarım yer alıyor. Her tasarımda bulunan kabuller ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Test sırasında mermi, metal bağlama, yetersiz darbe süresi ve uygun

güç eksikliği nedeniyle çok fazla devre direnci nedeniyle rayların uzunluğundan aşağı inememiştir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, raylar için bakır tungsten seçilmesi, rayların, raylar boyunca kilo amper akımın neden olduğu arklara oldukça iyi dayanmasını garanti eder. Ayrıca, tungsten alaşımındaki bakır, mükemmel bir iletkenlik sağlarken, tungsten, raylar ile mermi arasındaki kıvılcım oluşumu sırasında rayların aşınmasını en aza indirmeyi sağlamaktadır. İletken mermilerin frekans tepkisi açıklanmıştır ve girdap akımlarını azaltmak, performansı artırmak için alışımlı katmanlı mermiler gibi yöntemler önerilmiştir [11].

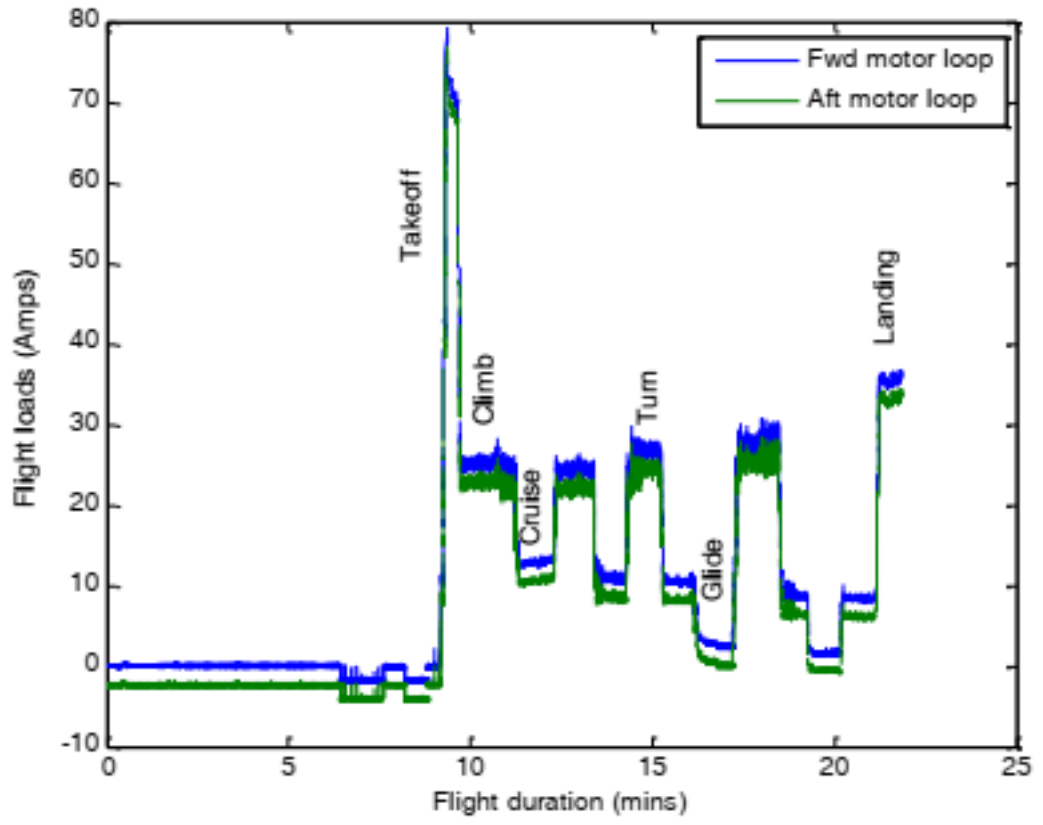
Nihar S. Brahmhatt tarafından yazılan tez, mermiyi büyük bir hassasiyetle ateşlemek için raylı silahın ihtiyaç duyduğu başlangıç voltajını azaltarak bu sorunu ele almayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda sistemdeki bakır kayıplarının azaltılması ile de ilgilidir. Bu çalışmada, her iki zorluğu da ele almak için yenilikçi bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu projede, raylı silahın atış devresinin bir modelinin yanı sıra merminin hava sürtünmeli ve hava sürtünmesiz yörüngesinin bir modelini oluşturmak için Simulink kullanılmıştır. İki model daha sonra MATLAB'da birleştirilir. Tamamlandığında, bu model, mermiyi belirli bir hızda ateşlemek için gerekli ivmeyi oluşturmak üzere kapasitör voltajının raylı tabanca sistemine boşaltılmasını sağlamaktadır. Bu projede, bakır kayıplarını en aza indirirken hedefe isabet oranını iyileştirmek için Fmincon'a dayalı bir optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu, ray tabancasının tutulduğu fırlatma açısının yanı sıra boşaltma için gerekli olan ilk giriş voltajını ideal olarak seçen bir kod yazılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, her iki modellenmiş senaryo için, bakır kaybını %6'dan fazla en aza indirirken, hedefi vurmada %97,5'in üzerinde doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışmada iki örnek gösterilmektedir. İlki, hava sürtünmesinin olmadığı ve merminin mükemmel bir parabolik yörünge izlediği ideal senaryodur. Diğer durumda, hava sürüklenmesi dikkate alınmıştır, dolayısıyla yörünge parabolik olmayacaktır. Her iki durum için doğruluk %97,5 olarak ayarlanmıştır. Belirlenen hedef 500 m'de tutulduğu için, merminin belirlenen hedefin 5 m yakınına inmesi gerekir. Bu nihai amaca ulaşmak için bir optimizasyon kodu oluşturulmuştur [12].

Jeff Maniglia tarafından yapılan çalışmada, 1 gramlık bir mermiyi 650 m/s namılı çıkış hızında ateşleyebilen bir Elektromanyetik Raylı Tüfek (EMRG) tasarlanmış,

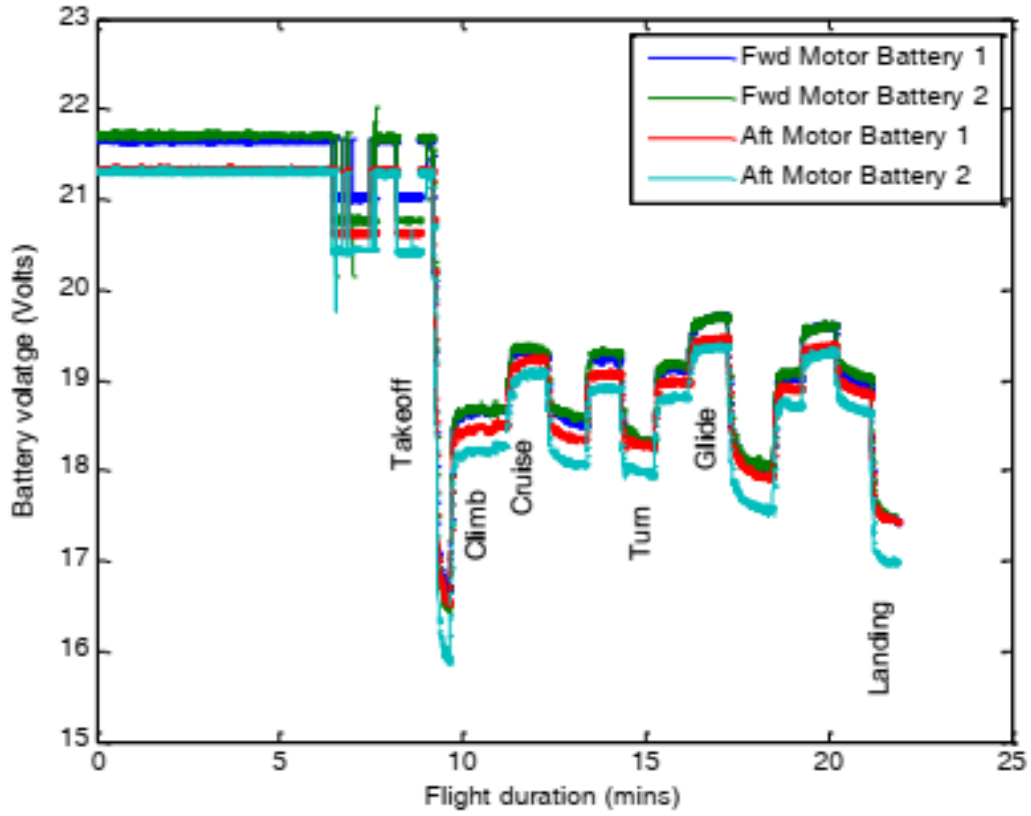
üretmiş ve test edilmiştir. EMRG'de enjektör, yüksek voltajlı güç kaynağı, kapasitör bankası, indüktörler ve raylar kullanılmaktadır. Başlangıç hızı oluşturmak için, enjektör sisteme 2300 psi Nitrojen gazı püskürtür. Kapasitör bankı, yüksek voltajlı güç kaynağı tarafından şarj edilir. EMRG'nin kuvvetini oluşturmak için kapasitör bankı, rayların içindeyken mermi tarafından üretilen elektrik potansiyelini boşaltır. EMRG mermiyi daha fazla hızlandırmak, kapasitör bankından darbeler üretmek için indüktörler kullanılır. Namlu, Garolite-11, Teflon ve Fiberglas ile çevrelenmiş iki paralel bakır çubuktan oluşmaktadır. Test sırasında, bu alt sistemlerin tümü, EMRG'yi uzaktan başlatmak için birlikte çalışmaktadır. 20 V testi 165 m/s ve 420 V testi minimum 650 m/s hız ile sonuçlanmıştır. EMRG'nin mevcut haliyle 650 m/s'ye kadar ateşleyebileceği ve 420 V yerine 450 Volt'a şarj edilirse daha da hızlı ateşleyebileceği keşfedilmiştir. Bu çok yüksek bir hız olsa da, yörünge enkaz testi için yetersizdir. Ancak oluşturulan, üretilen ve test edilen prototip tam olarak beklendiği gibi performans göstermiştir. Büyük ölçekli testte kullanılması beklenen EMRG hipotezlerinin tamamı başarıyla test edilmiştir. Darbe üreten ağ ve testten önceki ve sonraki voltaj düşüşü, prototipin başarısının temel bileşenleridir. Raylardaki yanma, indüktörlerin darbeyi oluşturduğunu kanıtlamıştır ve bu, test boyunca voltajın 420'den 30 volta düşürülmesiyle daha da doğrulanmıştır [13].

2.2. İHA`NIN KALKIŞI ZAMANI ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÜZERİNDE OLUŞAN OLUMSUZ ETKİLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bhaskar Saha yaptığı çalışmada, Zivko Edge 540T İHA`nın bir modelini hazırlayarak üzerinde batarya enerji kullanımı konusunda testler yapmıştır. Sonuçlara göre İHA`nın zamana göre en fazla batarya enerjisi harcadığı uçuş aşaması yerden havalanma ve tırmanma aşamasıdır (Şekil 2.1,2.2).



Şekil 2.1. Uçuş aşamasına göre akım yükü [14].



Şekil 2.2. Uçuş aşamasına göre voltaj [14].

Çalışmada yapılan deneysel test ölçümlerine göre Şekil 2.1`de görüldüğü gibi en yüksek akım kullanımı ve Şekil 2.2`de görüldüğü gibi bataryanın geriliminin en fazla düştüğü bölge kalkış ve tırmanışta olmuştur [14].

EFP, İHA'ları kısa sürede yüksek hızlara ulaştırır. Bu sayede İHA, kalkış ve yükselme zamanı, motor gücü kullanmadığından, bu aşamalarda batarya enerjisini kullanmayarak İHA'nın uçuş süresini ve menzili artırır. EPF'nin İHA'ların fırlatılmasındaki önemi tam bu noktada ortaya çıkmaktadır. Rüzgarın ve enerji tüketiminin uçuş dinamiği üzerine etkileri ile ilgili yapılan literatürdeki çalışmalardan iki tanesinden aşağıdaki paragraflarda bahsedilmiştir.

F. Settele çalışmasında, küçük bir İHA için pil-elektrik güç aktarma organını içeren bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu model, hem yörünge optimizasyonu hem de kararlı durum değerlendirmesi gerçekleştirmeye izin verir. Elektrikli uçaklar için kararlı durum verimlilik kriterleri, Menzil Optimal Yatay Uçuş ve Optimal Menzil

Tırmanışı için belirlenmiştir. Değerlendirmeleri, yatay uçuşun alçak irtifalarda biraz daha verimli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Optimal Menzil Tırmanışı değerleri her zaman Optimal Menzil Yatay Uçuş için olanlardan biraz daha büyüktür. Yörünge optimizasyonu sorunu tanımlanmış ve sonra Matlab araç kutusu FALCON.m kullanılarak çözülmüştür [1].

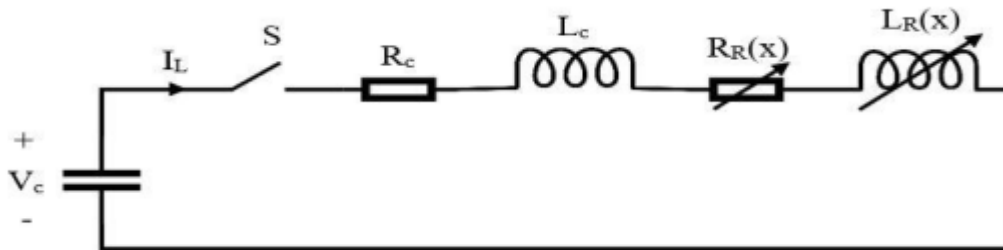
Jessica Cristine Da Costa Siqueira yaptığı çalışmasında, atmosferik olayların farklı İHA'ların yörünge izleme kontrolörleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için bir rüzgar modeli oluşturmuştur. Bu amaca, İHA HAD analizi ortamına sabit rüzgar ve rüzgar kesme için bir rüzgar modelinin geliştirilmesi ve uygulanmasıyla ulaşılmıştır. Farklı karmaşıklığa ve farklı komut verilen yörüngelere sahip iki farklı sensör kullanılarak çeşitli analizler yapılmıştır. Farklı türbülans seviyeleri, sert ve değişken rüzgarlar ile birlikte sabit rüzgarın etkileri de genişletilmiş HAD analizi ızgarası kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, sabit rüzgar ve sert rüzgara ek olarak kanatçık ve dengeleyici arızaları da uygulanmıştır [2].

BÖLÜM 3

YÖNTEM

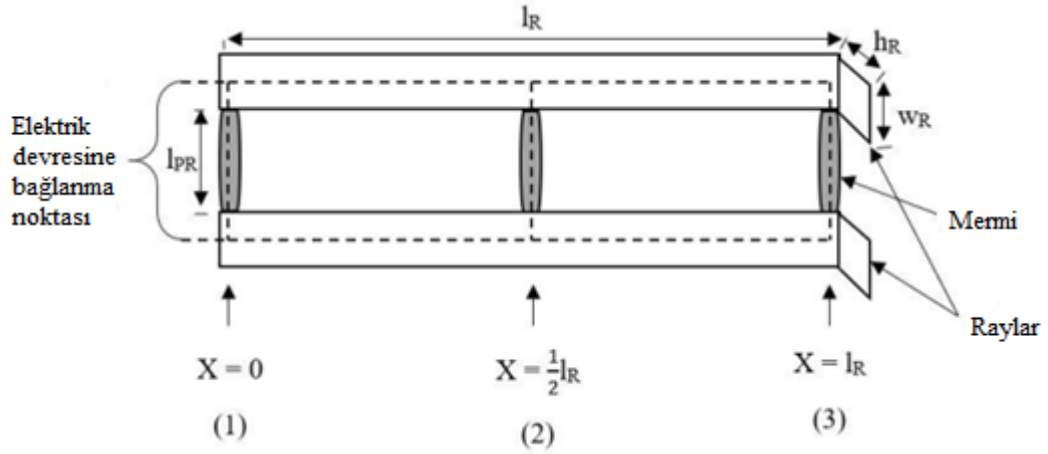
3.1. ELEKTROMANYETİK FIRLATMA PLATFORM SİSTEMİ MATEMATİKSEL FORMÜLLER

Bu çalışmada ilk olarak, İHA'yı optimum fırlatma hızı ile hızlandırmak için ihtiyaç duyduğumuz kuvveti elde etmek için boşaltma devresinde şarj voltajının başlangıç değerini bulmaktır. Şarj devresinin, kapasitörü projenin amacına uygun olarak gerekli voltaja kadar şarj ettiği varsayılır. Proje, şarj devresinin modellemesini veya simülasyonunu içermez, çünkü deşarj devresinin çalışmasına önem verilir. Boşaltma devresi, gerekli voltaj seviyesine kadar şarj edilmesi gereken bir kapasitörden oluşur. Bu kapasitör aynı zamanda ne zaman boşalacağını ayarlayan bir anahtara da bağlıdır. Bu anahtar daha sonra yüksek iletken teller aracılığıyla raylara bağlanır. Akım darbesi oldukça büyük olacağından iletkenler uygun şekilde yapılmalı ve yalıtılmalıdır. Şekil 3.1.1, belirli iletkenlerin direncini (R_c) ve endüktanslarını (L_c) göstermektedir.



Şekil 3.1.1. Fırlatma sisteminin yük devresi [12].

Şekil 3.1.1, $R_{R(x)}$ ve $L_{R(x)}$ 'in değiştiğini göstermektedir. Şekil 3.1.2'den bu değişimi anlayabiliriz.



Şekil 3.1.2. Konuma göre iletkenin direnci ve endüktansı [12].

Şekil 3.1.2, ray tabancasının konfigürasyonunu göstermektedir. Belirli bir mesafe ile ayrılmış iki paralel raydan oluşur. Bu boşluk arasında görüldüğü gibi bir mermi vardır. Mermi elektrik devresini tamamlar ve elektriğin akabileceği kapalı bir döngü oluşturur. Noktalı çizgi, akımın elektrik yolunu gösterir. Şekil 3.1.2, direnç ve endüktanslardaki değişikliği açıklamak için üç pozisyonun değerlendirildiğini göstermektedir. Konum 1, en düşük ray direncine ve endüktansa sahiptir, çünkü akım yalnızca $X=0$ 'da, rayların başlangıç noktasında mermi aracılığıyla hareket eder. $X=0$ 'da mermi boyunca hareket eden noktalı çizgiler bunu göstermektedir. Kapasitörden gelen enerji aktarıldıkça mermi 1. pozisyondan 2. pozisyona doğru hareket etmeye başlayacaktır. Şekil 5'te akımın rayın yarısından geçmesi gerektiği görülmektedir, buna bağlı olarak direnç ve endüktanslar mermi 3. pozisyona ulaşıncaya kadar yükselmeye devam edecektir. Bu noktada, her iki değer de en yüksek seviyede olacaktır. Direnç gradyanı (R) ve endüktans gradyanı (L), direnç ve endüktans değerlerindeki bu kaymayı hesaba katmak için kullanılan denklemlere dahil edilmiştir. Boşaltma devresi modeli aşağıda gösterilen denklemler kullanılarak oluşturulmuştur.

İletkenin direnci şu şekilde bulunabilir:

$$R_c = \frac{\rho_m l_c}{A_c} \quad (5)$$

İletkenin endüktansı şu şekilde hesaplanabilir:

$$L_c = \frac{\mu_0 \mu_r (l_c (l_{PR} + w_R))}{h_c} \quad (6)$$

Toplam ray tabancası direnci şu şekilde bulunabilir:

$$R_R(x) = R'(l_{PR} + 2x) \quad (7)$$

R' birim uzunluk başına ray tabancası direncidir ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$R' = \frac{d}{dx} \left(\frac{\rho_m(l_{PR} + 2x)}{A_R} \right) = \frac{2\rho_m}{A_R} \quad (8)$$

(5)'i (4)'de yerine yazarak, toplam ray tabancası direnci:

$$R_R(x) = \frac{2\rho_m}{A_R} (l_{PR} + 2x) \quad (9)$$

Toplam ray tabancası endüktansı şu şekilde bulunabilir:

$$L_R(x) = L'(2x) \quad (10)$$

burada L' birim uzunluk başına ray tabancası endüktansıdır ve şu şekilde bulunabilir:

$$L' = \frac{d}{dx} \left(\frac{\mu_0 \mu_r (2x)(l_{PR} + w_R)}{h_R} \right) = \frac{2\mu_0 \mu_r (l_{PR} + w_R)}{h_R} \quad (11)$$

(11)'i (10)'da yerine yazarsak, toplam ray tabancası endüktansı:

$$L_R(2x) = \frac{4\mu_0 \mu_r (l_{PR} + w_R)x}{h_R} \quad (12)$$

Şimdi, şekil 4'de gösterilen elektrik deşarj devresine Kirchhoff'un voltaj yasasını uygulayarak, aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{(L_C + L_R)} [V_C - I_L(R_C + R_R + L'v)] \quad (13)$$

ve,

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{-I_L}{C} \quad (14)$$

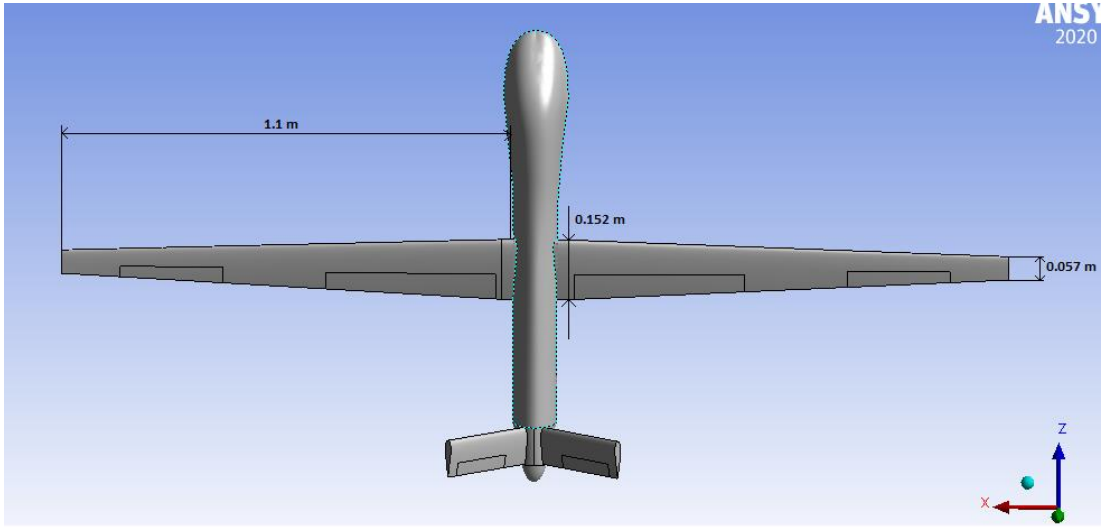
IL bilindiğinde, elektrik devresi tarafından üretilen kuvvet (1)'den bulunabilir.

EFN'nin kurulumu için kullanılan parçaların teknik özellikleri belirlenmelidir. Bu parçalar içinde en önemlisi kondansatördür. Kondansatörün kapasitesi ve hangi voltajda çalıştığı önemlidir. Kondansatörün kapasitesi ne kadar fazla olursa bir o kadar yüksek akım elde etmek mümkündür ve bu da İHA'nın daha yüksek hızlara çıkmasını sağlar [15,16]. Ama akım yüksek oldukça fırlatma sisteminin tehlikesi de artacaktır. Başka bir önemli parça ise raylardır. Raylar yüksek iletken bakırdan

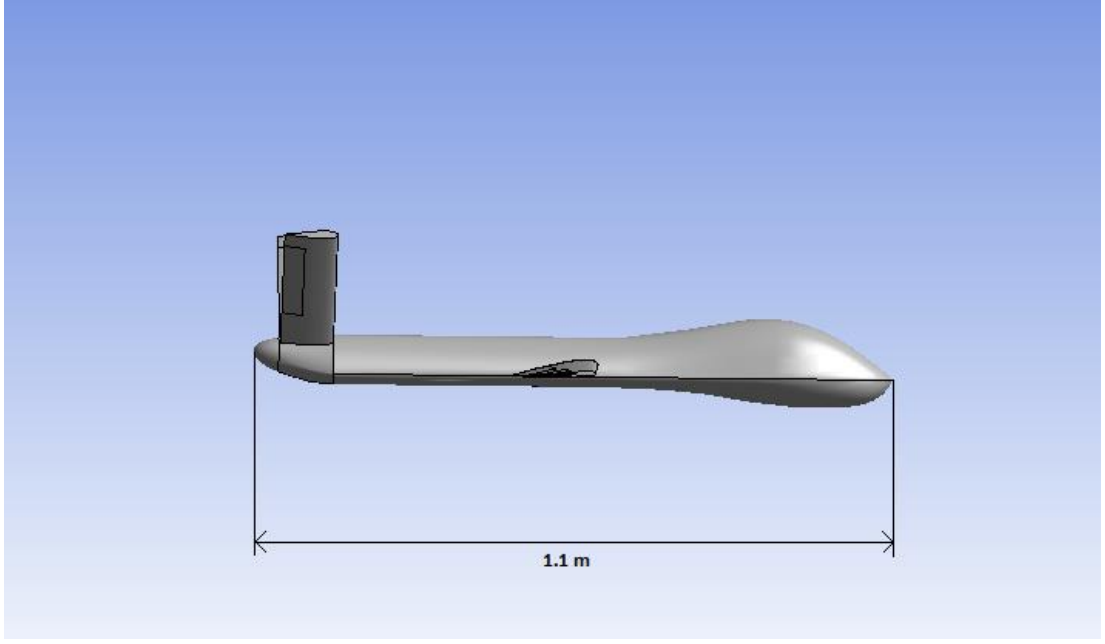
olmalıdır [17]. Aynı zamanda rayın uzunluğu da İHA'nın çıkış hızını etkilemektedir. Bu çalışmada ray uzunluğu olarak 1.5 m seçilmiştir.

3.2. İHA'NIN HAD İLE AKIŞ ANALİZİ

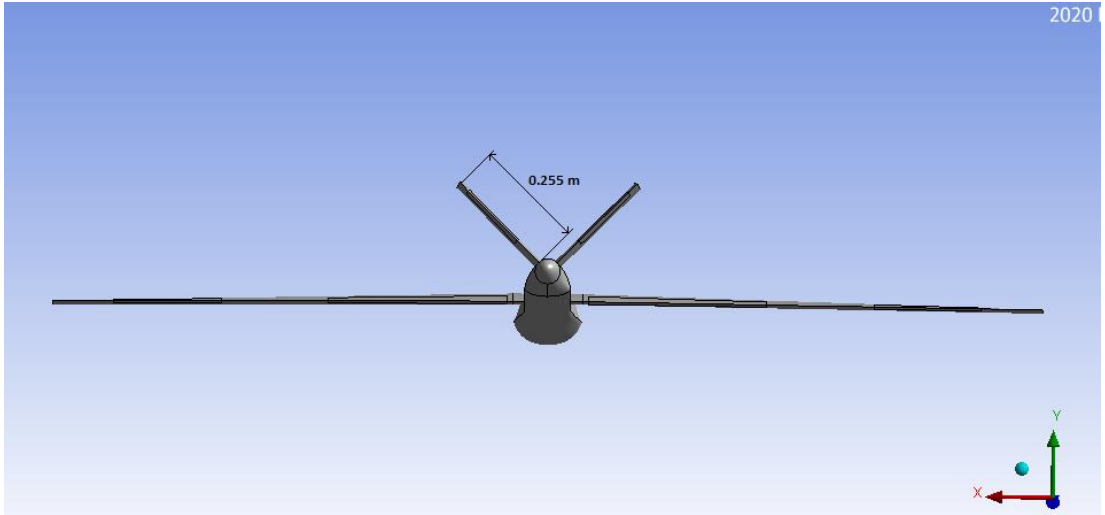
IHA üzerinde oluşan, kaldırma, sürüklenme, rüzgar etkisinden oluşan yan kuvvet ve momentler Ansys Fluent bilgisayar paket programı vasıtasıyla akış analizi yapılarak hesaplanabilir. İHA geometrisi Ansys Fluent bilgisayar programına eklendikten sonra kanat, gövde ve kuyruk tanımlanmalıdır. İHA modelinin boyutları Şekil 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2.1. İHA'nın üstten görünümü.

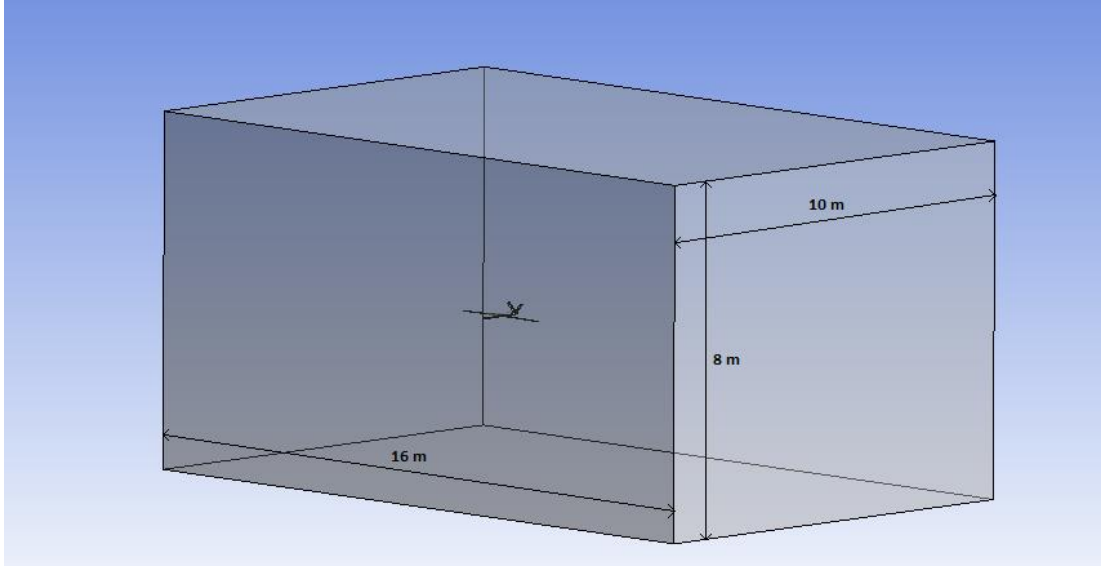


Şekil 3.2.2. İHA'nın yandan görünümü.



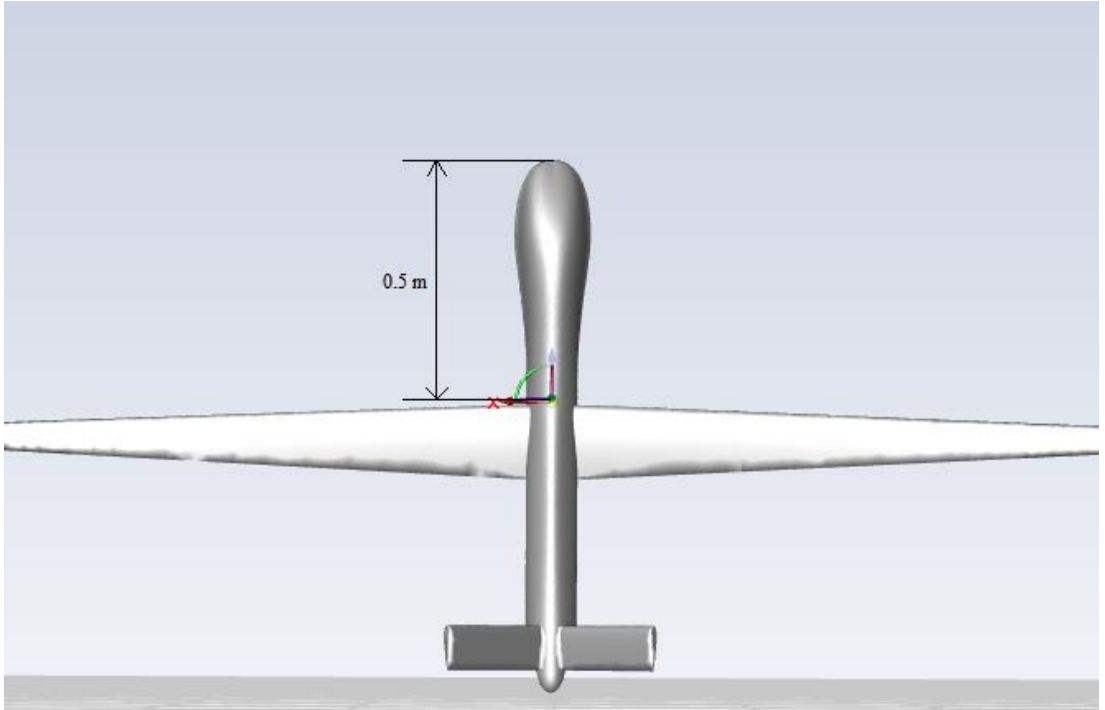
Şekil 3.2.3. İHA'nın arkadan görünümü.

Şekil 3.2.1`de görüldüğü gibi kanadın yarısı 1.1 m ve tam kanat uzunluğu 2.2 m`dir. Gövdeye yakın bölgede kanat profilinin uzunluğu 0.152 m ve kanadın uç noktasında ise kanat profilinin uzunluğu 0.057 m`dir. Şekil 3.2.2`de görüldüğü gibi İHA'nın uzunluğu 1.1 m`dir. Kanadın hücum açısı ise 8° alınmıştır. Şekil 3.2.3`te ise kuyruk kısmının uzunluğu 0.255 m olduğu gösterilmiştir. Kuyruk kısmının kanat profili uzunluğu 0.255 m`dir. İHA geometrisi bittikten sonra etrafında akış alanı oluşturulmalıdır(Şekil 3.2.4).



Şekil 3.2.4. Akış alanı.

Akış alanının boyutları Şekil 3.2.4`te görüldüğü gibi, yükseklik 8 m, uzunluk 10 m ve genişlik 16 m`dir. Ön sınır alanından İHA`nın burun noktasına kadar mesafe 2 m ve arka sınır alanından burun noktasına kadar ise 8 m`dir. Momentleri hesaplamak için öncelikle ağırlık merkezinin belirlenmesi gerekmektedir. İHA`nın ağırlık merkezi Şekil 3.2.5`de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.5. İHA`nın ağırlık merkezi.

Şekil 3.2.5`de görüldüğü gibi İHA`nın ağırlık merkezi burundan 0,5 m mesafededir. Ağırlık merkezinin belirlenmesinde de Ansys Fluent bilgisayar programı kullanılmıştır. Ağırlık merkezinin koordinatları XYZ koordinatlarına uygun şekilde 0,0.02378,-0.5`tir.

Akış alanı ve geometri bittikten sonra akış analizi yapılabilir. Bunun için ilk önce hız ve türbülans modeli gibi HAD analizinin sınır koşulları belirlenmelidir. Optimal fırlatma hızını bulmak için 30, 40, 50, 60 m/s hızlar seçilmiştir. Daha sonra bu hızlara göre aerodinamik kuvvetler ve momentler hesaplanabilir.

3.3. FIRLATMA SONRASINDA İHA`NIN MOTORSUZ YÜKSELİŞİ

Fırlatma sonrasında İHA`nın fırlatma platformundan ayrıldığı andan itibaren motor gücü kullanmadan hangi başlangıç hızla ve açıyla ne kadar yükseğe çıkacağı, ne kadar mesafe kat edeceği, en yüksek noktaya ulaştığında son hızı ne kadar olacağı hesaplanacaktır. Bu hesaplamada İHA için 3 farklı ağırlık ve 3 farklı fırlatma açısı dikkate alınmıştır. İHA`nın ilk kalkış anında motor gücü kullanılmadığı için burada İHA`ya etki eden kuvvetler kaldırma, sürüklenme ve ağırlık kuvvetleridir. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin değerleri İHA`nın geometrisine ve hıza bağlı olduğu için bu değerler Ansys`de yapılan model İHA`nın akış analizi sonuçlarına göre alınmıştır. İHA`nın uçuş platformundan ayrıldıktan sonra tepeye(düşey hızının 0 olduğu nokta) çıkıncaya kadar uçuş dinamiğini matematiksel modellemek için İHA`ya etki eden kuvvetler, İHA`nın uçuş doğrultusu, hızı, uçuşa dik kesit alanı dikkate alınarak Newton`nun ikinci yasası kullanıldı. Bu matematiksel model bir diferansiyel denklemlerle sonuçlanmıştır.

Kaldırma kuvvetini hesaplamak için,

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 C_l A \quad (15)$$

ve sürüklenme kuvveti içinse,

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A \quad (16)$$

Burada A,

$$A = A \sin \theta \quad (17)$$

$\rho=1.25 \text{ kg/m}^3$ alınmıştır, θ ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x} \quad (18)$$

Buna göre hareket denklemleri,

$$\sum F_x = m \frac{dv_x}{dt}; \quad \sum F_x = -L \sin \theta - D \cos \theta \quad (19)$$

$$\sum F_y = m \frac{dv_y}{dt}; \quad \sum F_y = L \cos \theta - D \sin \theta - W \quad (20)$$

ve, uçuş yörünge denklemini elde etmek için,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_y}{v_x} \quad (21)$$

V_x , V_y , θ , L , D değerleri zamana göre değişmektedir. C_l ve C_d değerleri HAD analizi ile elde edilmiştir. İHA EFP`den ayrıldıktan sonra tepeye çıkıncaya kadar hızının yatay(V_x) ve düşey(V_y) bileşenleri, uçuş hızının yatayla yaptığı θ açısı, kanada etkiyen kaldırma kuvveti(L) ve sürükleme kuvveti(D) değerleri (15-21) aralığındaki eşitlikler kullanılarak elde edilen diferansiyel denklemin (22)`de sayısal çözümlenmesi yapılarak hesaplanabilir ($i=1,2,3,..$).

$$\frac{v_{yi}}{v_{xi}} = \frac{(L_{i-1} \cos \theta_{i-1} - D_{i-1} \sin \theta_{i-1} - W) \frac{\Delta t}{m} + v_{yi-1}}{(-L_{i-1} \sin \theta_{i-1} - D_{i-1} \cos \theta_{i-1}) \frac{\Delta t}{m} + v_{xi-1}} \quad (22)$$

W (ağırlık) ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$W = m \cdot g \quad (23)$$

BÖLÜM 4

TEORİK HESAPLAMA, SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

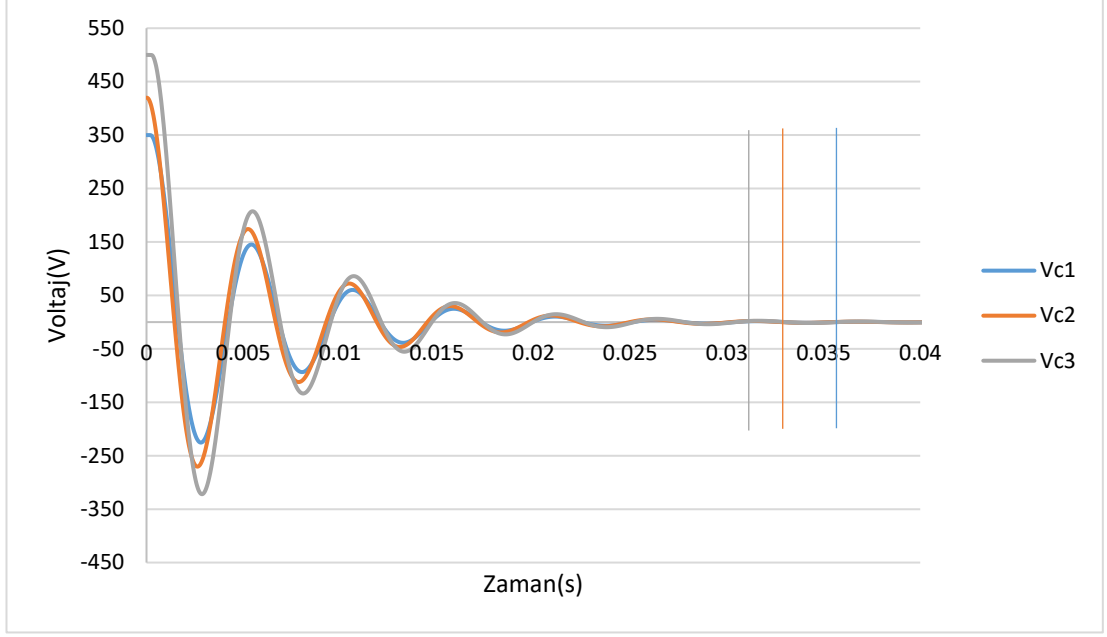
4.1. EFP SİSTEMİNİN TEORİK HESAPLAMALARININ SONUÇLARI

EFN'nin tasarımı için İHA'nın kütlesine uygun olacak şekilde doğru parçalar seçilmelidir. Parçaları seçmek içinse teknik özellikleri belirlenmelidir. İHA modeli olarak 3 farklı ağırlık seçildiği için her bir ağırlığa göre voltaj ve akım değerleri, fırlatma zamanı farklılık gösterecektir. Her bir ağırlığa göre kondensatör kapasitesi ve voltajı Tablo 4.1.1`de gösterilmiştir.

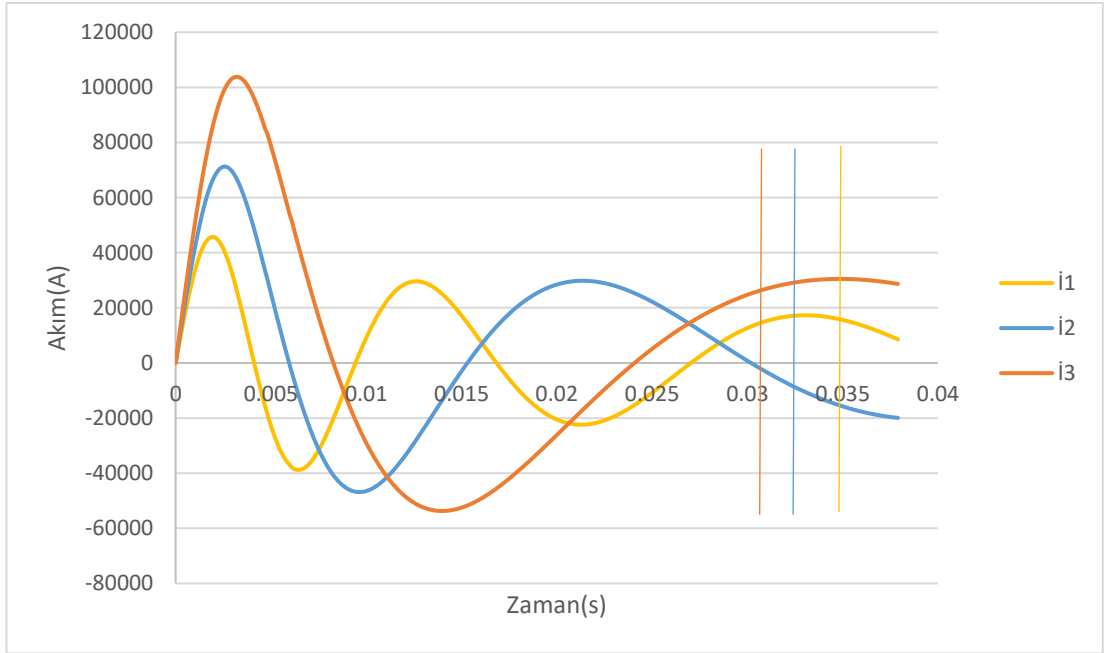
İHA kütlesi	Voltaj	Kondansatör kapasitesi	Başlangıç hız
$m_1=5$ kg	$V_{c1}=350$ V	$c_1=0,16$ F	5 m/s
$m_2=10$ kg	$V_{c2}=420$ V	$c_2=0,3$ F	5 m/s
$m_3=20$ kg	$V_{c3}=500$ V	$c_3=0,5$ F	5 m/s

Tablo 4.1.1. İHA'nın kütlesine göre voltaj, akım, başlangıç hız.

Tablo 4.1.1`de görüldüğü gibi İHA'nın kütlesi arttıkça kondansatörün kapasitesi ve voltajı da artmaktadır. Burada başlangıç hızının olması çok önemli çünkü eğer itici mermi hareket etmezse yüksek akımdan dolayı bakır raylara lehimlenme tehlikesi söz konusudur. Başlangıç hızı vermek için mekanik bir sistem kullanılabilir [18]. Şekil 4.1.1 ve 4.1.2`de voltaj ve akım değişimi grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.1.1. İHA için EFP`de voltaj değişimi.



Şekil 4.1.2. İHA için EFP`de akım değişimi.

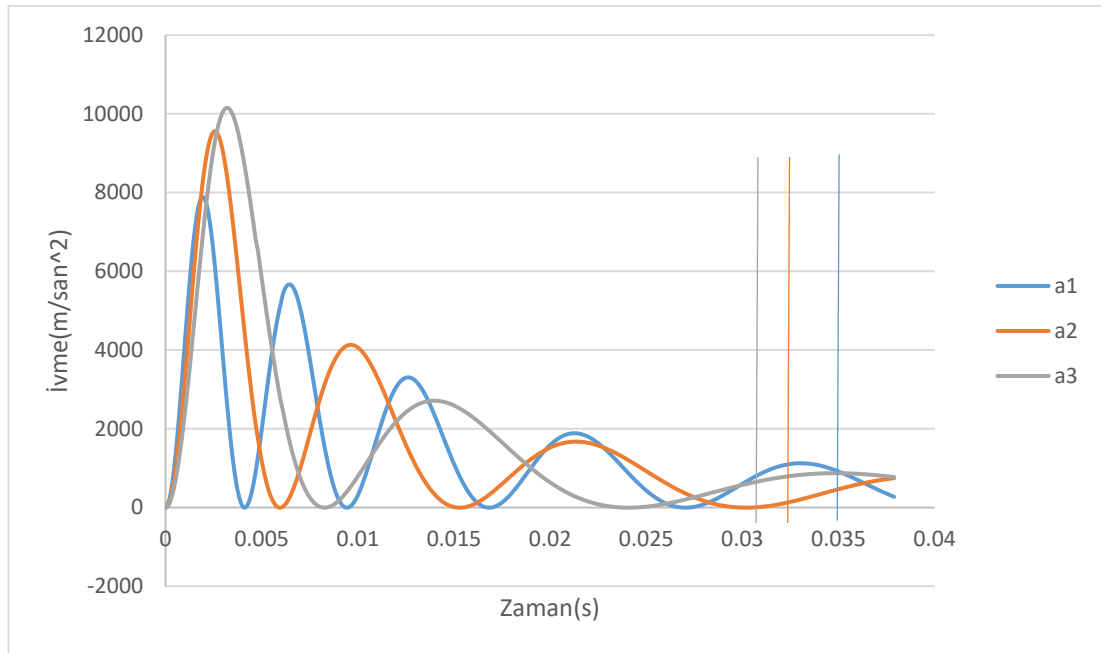
Şekil 4.1.1`de görüldüğü gibi 3 farklı İHA kütlesine uygun olarak 3 farklı voltajda hesaplamalar yapılmıştır. Grafikte görülen çizgiler İHA`nın raylardan ayrıldığı yeri gösteriyor. Şekil 4.1.2`de ise kondansatör kapasitesine ve voltaja uygun olarak 3 farklı akım değişimi grafiği gösterilmektedir. Benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında çıkan sonuçlarla benzerlik eğilimi görülmektedir [19, 20].

Sistemin ulaştığı maksimum akım değerleri aşağıdaki Tablo 4.1.2`de gösterilmektedir.

Kütle	Maksimum akım değeri	Zaman
5 kg	$\dot{I}_1=45734,53$ A	0,0019 s
10 kg	$\dot{I}_2=71236,66$ A	0,0026 s
20 kg	$\dot{I}_3=103829,78$ A	0,0032 s

Tablo 4.1.2. Sistemin ulaştığı maksimum akım değerleri.

Bulunan akım ve voltaj değerlerine göre ivme, hız ve katedilen mesafe hesaplanmıştır. Farklı ağırlıklara göre ivme, hız ve katedilen mesafe grafikleri Şekil 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5`de gösterilmiştir.



Şekil 4.1.3. İHA için EFP`de ivme değişimi.

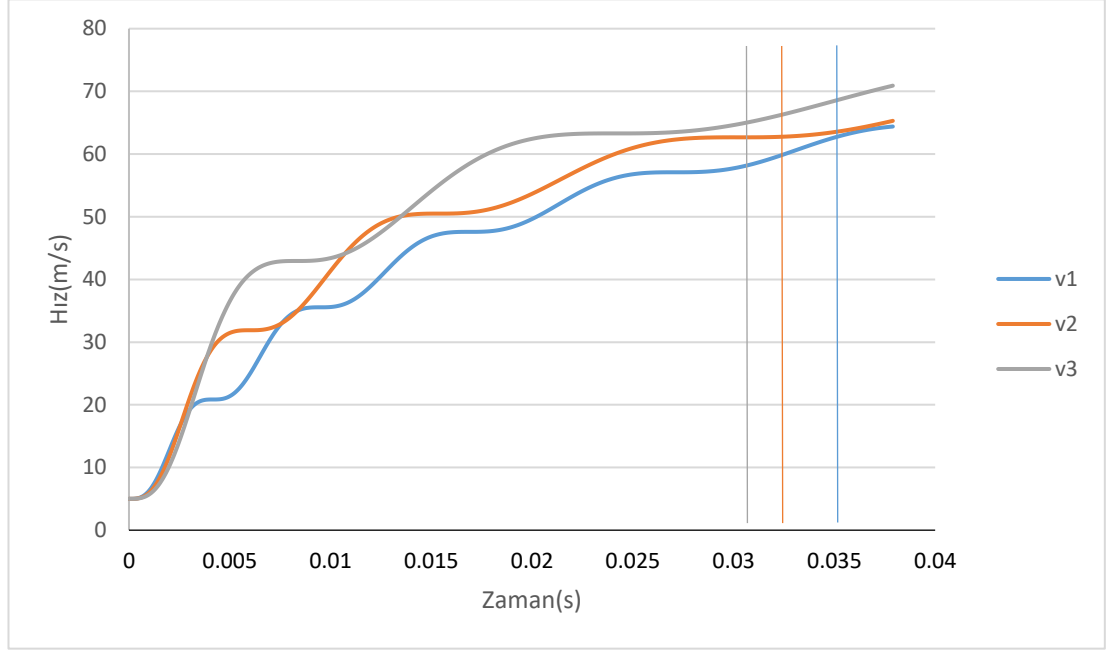
Şekil 4.1.3`te görüldüğü gibi 3 durum için zamana göre farklı ivme grafiği verilmiştir. Akım grafiğine benzer şekilde ivme grafiği de aynı periyotda değişmektedir. Maksimum ivme değerleri Tablo 4.1.3`de verilmiştir.

Kütle	Maksimum ivme değeri	Zaman
5 kg	$a_1=7789,63$ m/s^2	0,0018 s
10 kg	$a_2=9557,19$ m/s^2	0,0026 s
20 kg	$a_3=10151,88$ m/s^2	0,0032 s

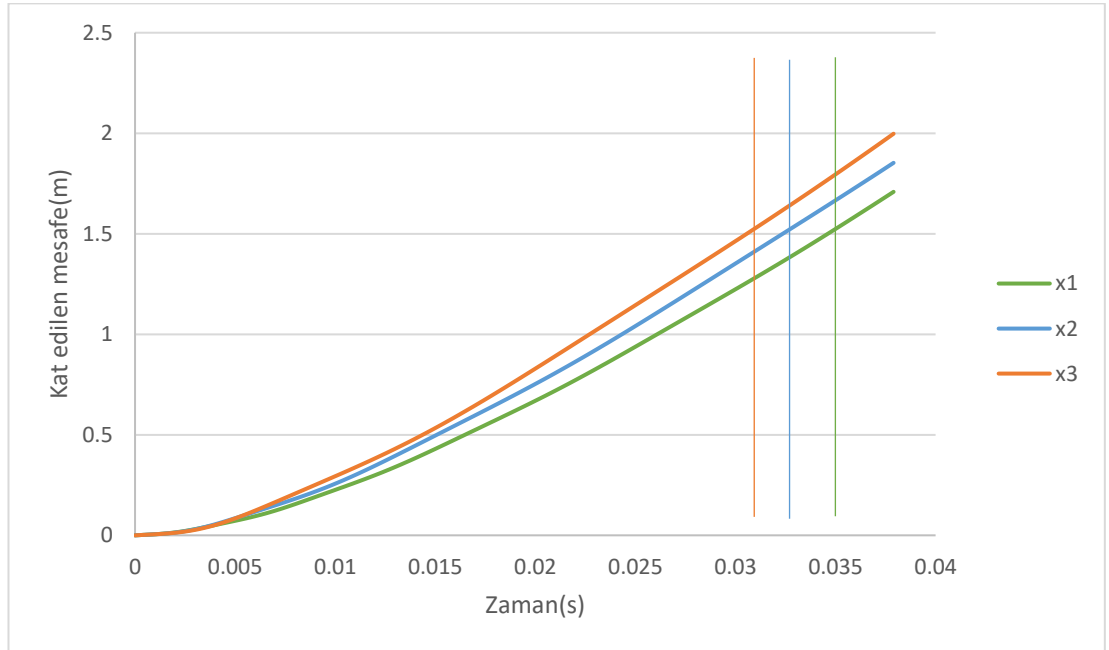
Tablo 4.1.3. Fırlatma sistemin ulaşılan maksimum ivme değerleri.

Tablo 4.1.3`de görüldüğü gibi fırlatma sisteminin voltaj ve oluşan akım değerleri ne kadar yüksek olursa buradaki maksimum ivme değeri de bir o kadar yüksek

olacaktır. Şekil 4.1.4'te hız değişimi grafiği ve Şekil 4.1.5'te ise katedilen mesafe grafiği verilmiştir.



Şekil 4.1.4. İHA için EFP'de hız değişimi.



Şekil 4.1.5. İHA için EFP'de alınan mesafe.

Şekil 4.1.4'te görüldüğü gibi itici mermi 5 m/s başlangıç hızla fırlatma sisteminin başlangıç noktasına giriyor. Fırlatma sisteminin herhangi bir hız limiti olmadığı için voltaj değerini ve sistemde oluşan akım değerini arttırmakla hızı da arttırmak mümkün. Şekil 4.1.5'de ise İHA'nın başlangıçtan 1.5 m'ye ne kadar zamanda

ulaştığı ve raydan ayrılma zamanı gösterilmektedir. Literatürdeki benzer bir çalışmaya bakıldığında grafiklerin benzer şekilde olduğu görülmektedir [21]. İHA'nın kütlesine göre hız değerleri Tablo 4.1.4'te verilmiştir.

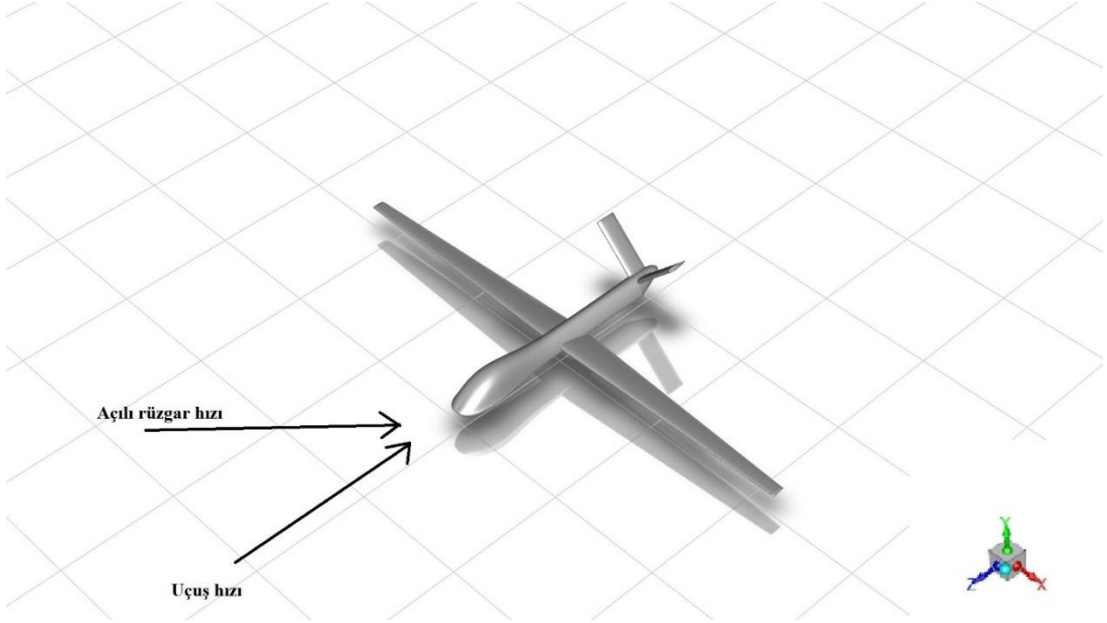
Kütle	Hız	Zaman
5 kg	$v_1=62,35$ m/s	0,0347 s
10 kg	$v_2=62,77$ m/s	0,0324 s
20 kg	$v_3=65,05$ m/s	0,0306 s

Tablo 4.1.4. İHA kütlesine göre kalkış hızı ve zamanı.

Tablo 4.1.4'te görüldüğü gibi her bir kütleye göre İHA'nın EFP'den ayrıldığı zaman ve hız değerleri verilmiştir. Voltaj ve akım değerlerinin artması maksimum ivmeyi arttırmış ve bu da İHA'nın platformdan çıkış hızını arttırmış ve ayrılma zamanını azaltmıştır.

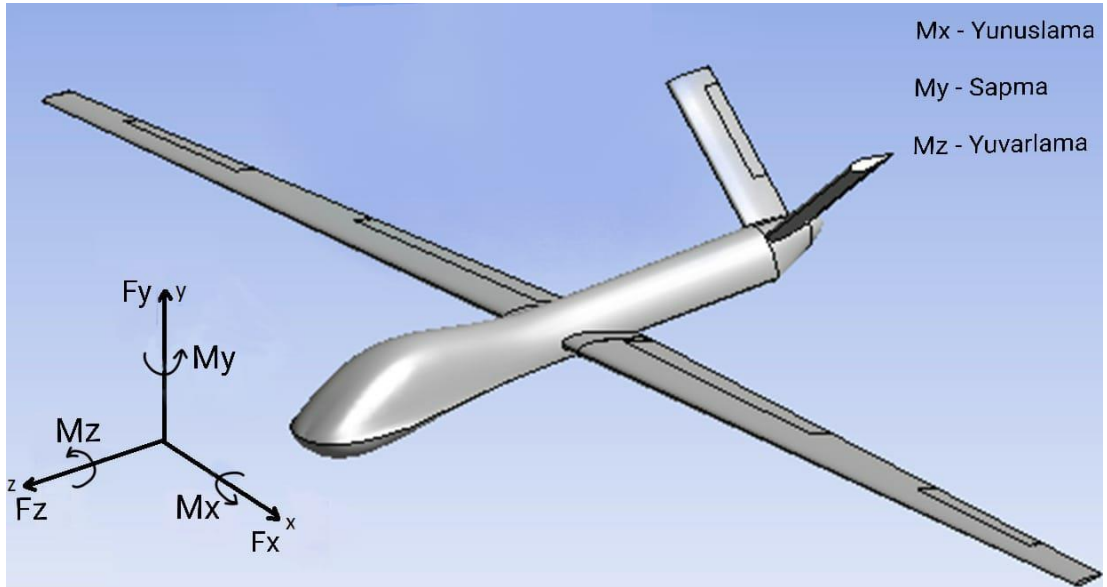
4.2. İHA AKIŞ ANALİZİ SİMÜLASYON SONUÇLARI

İHA'nın aerodinamik özelliklerini belirlemek için Ansys Fluent HAD analizi programıyla bilgisayarda akış analizleri yapılmıştır. Bu akış analizlerinde kullanılmak üzere İHA modeli olarak basit 3 boyutlu kuramsal bir İHA tasarımı çizilmiştir. Normal uçuş analizlerinden başka yapılan akış analizlerinde İHA üzerinde oluşan momentler ve İHA'ya önden gelen açılı rüzgar etkisinde oluşan yan kuvvet hesaplanmıştır. Türbülans modeli olarak 'k-epsilon realizable' kullanılmıştır. Hesaplama metodu olarak ise 'coupled' seçilmiştir. Burada önden açılı şekilde verilen rüzgarın açısı 45 derecedir. Şekil 4.2.1'de İHA'nın uçuş ve önden açılı rüzgar yönleri verilmiştir.



Şekil 4.2.1. İHA'nın uçuş ve önden açılı rüzgar yönü.

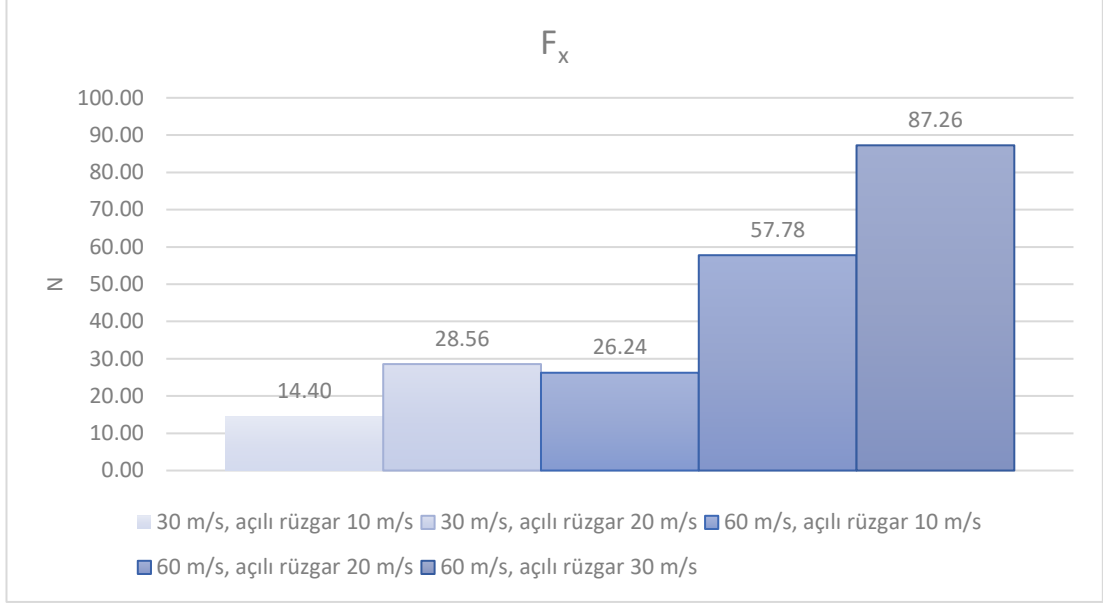
Şekil 4.2.1`de görüldüğü gibi İHA'nın uçuş yönü Z eksine ters şekilde ve önden açılı rüzgar ise Z ve X eksenlerindedir. Şekil 4.2.2`de momentlerin yönü verilmiştir.



Şekil 4.2.2. Eksenlere göre yuvarlanma, sapma ve yunuslama momentleri.

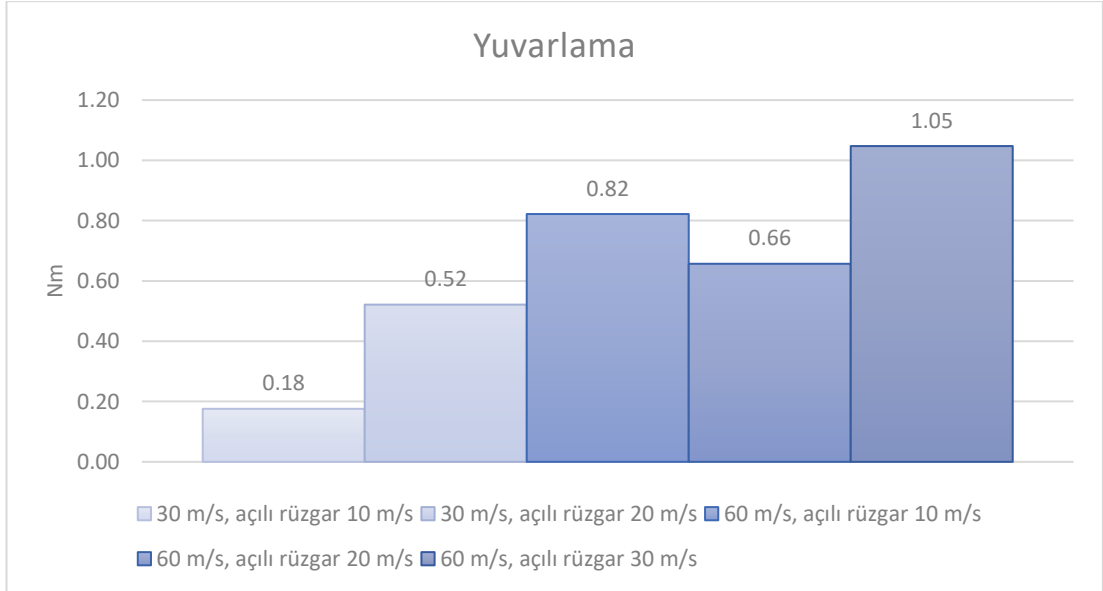
Şekil 4.2.2`de görüldüğü gibi X ekseninde yunuslama, Y ekseninde sapma ve Z ekseninde yuvarlanma momenti oluşmaktadır [22].

Önden açılı rüzgar olduğunda X ekseni boyunca oluşan kuvvetler Şekil 4.2.3`de verilmiştir.



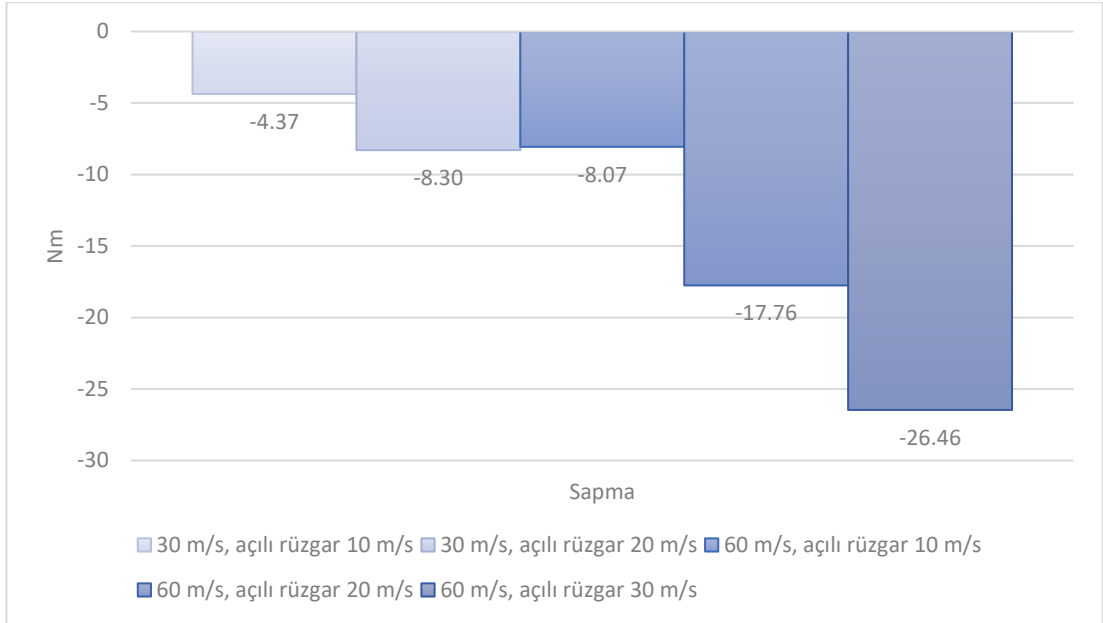
Şekil 4.2.3. Önden açılı rüzgar etkisinde oluşan yan kuvvet.

Şekil 4.2.3`de görüldüğü gibi önden açılı rüzgar etkisinde oluşan yan kuvvet uçuş hızının artması durumunda artmış oluyor. İHA geometrisinde kontrol yüzeylerinin bu durumda oluşan kuvvetleri dengeleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Şekil 4.2.4, 4.2.5 ve 4.2.6`de İHA üzerinde oluşan momentler verilmiştir.



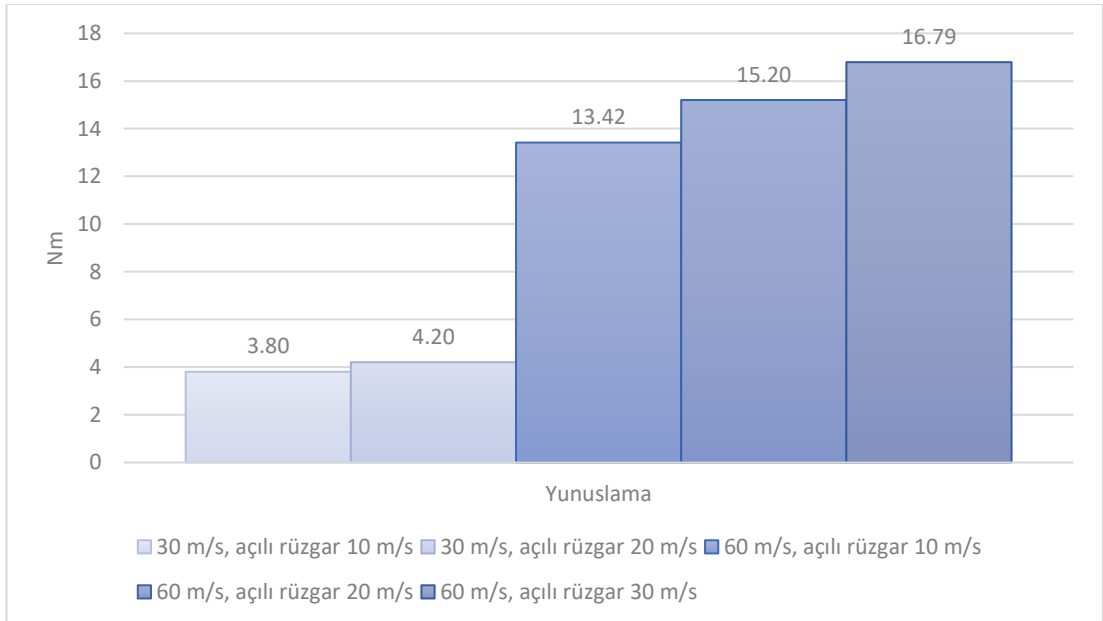
Şekil 4.2.4. Uçuş hızına göre yuvarlanma momenti.

Şekil 4.2.4`de görüldüğü gibi uçuş hızına göre İHA üzerinde oluşan yuvarlanma momenti verilmiştir. Burada önden açılı rüzgar etkisinde yuvarlanma momentinin çok fazla etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 4.2.5. Uçuş hızına göre sapma momenti.

Şekil 4.2.5'te İHA'nın uçuş hızına göre sapma momentleri verilmiştir. Burada görüldüğü gibi İHA önden açılı rüzgar etkisinde uçarken en fazla etkilenen sapma momentidir. Rüzgar yana doğru açılı olduğu için İHA'nın uçuş yönünün saptmasına neden olmaktadır.

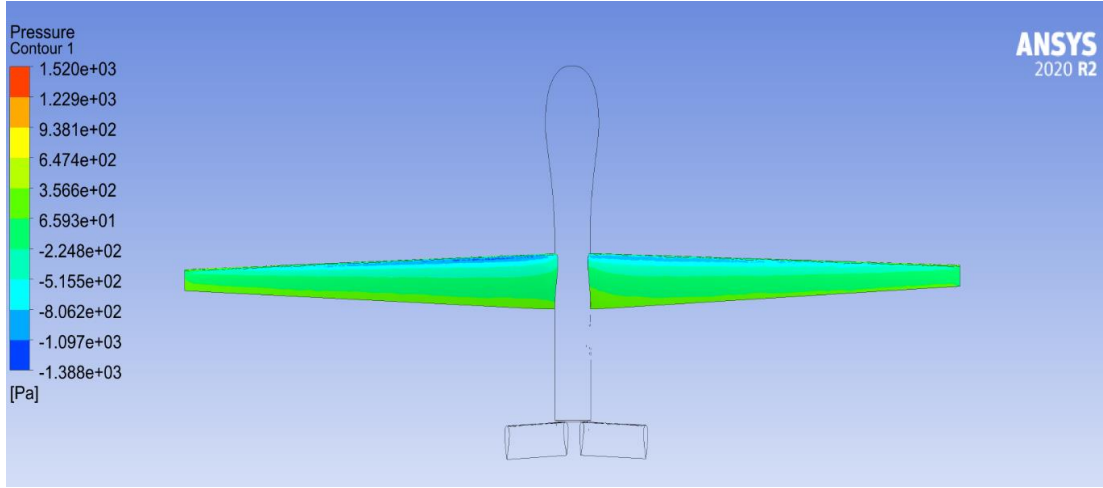


Şekil 4.2.6. Uçuş hızına göre yunuslama momenti.

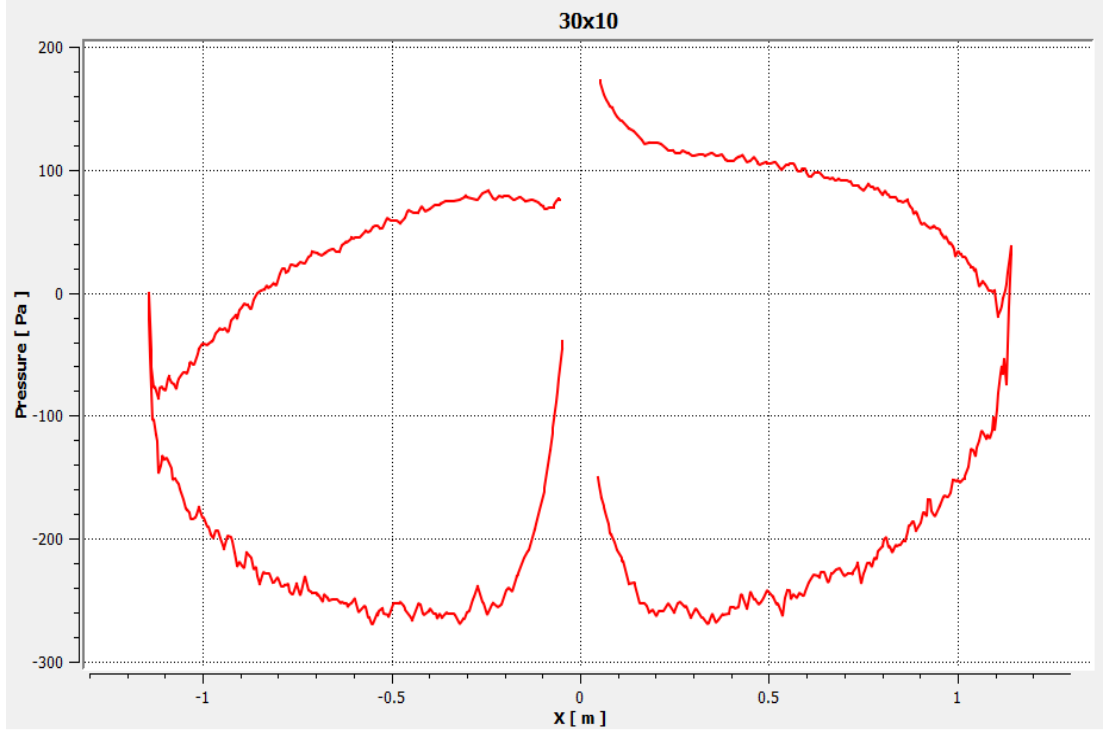
Şekil 4.2.6'de ise uçuş hızına göre yunuslama momenti verilmiştir. Burada görüldüğü gibi uçuş hızı arttığında buna göre yunuslama momenti de artmaktadır. Bu

durumda İHA'nın dengesini korumak için kuyruk geometrisinin ve kuyruk kontrol yüzeylerinin buna uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

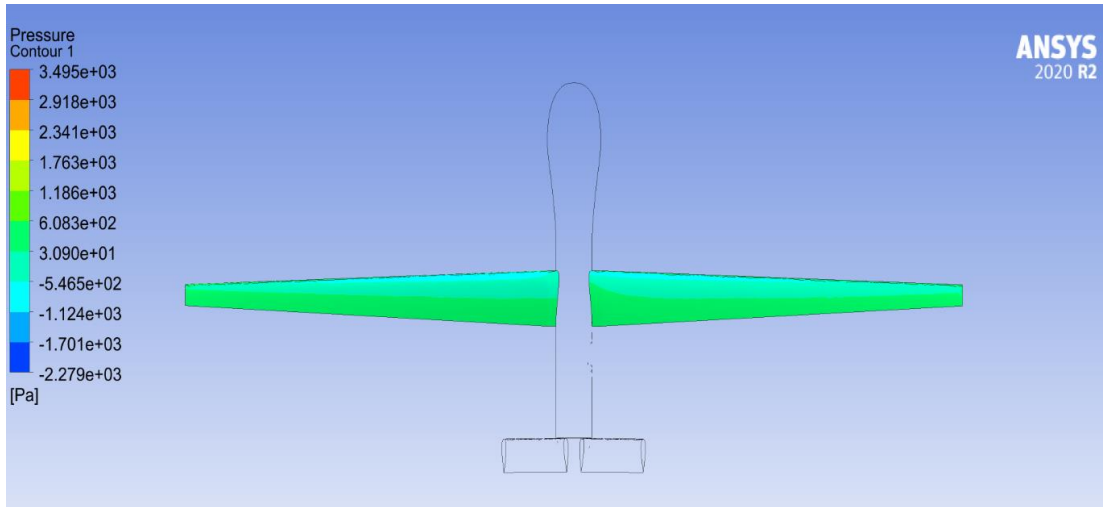
Şekil 4.2.7'de 30 m/s uçuş hızıyla ve 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde İHA'nın kanadında oluşan basınç dağılımı konturu ve grafiği verilmiştir. Şekil 4.2.8'de 30 m/s uçuş hızıyla ve 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde kanatta oluşan basınç dağılımı konturu ve grafiği verilmiştir.



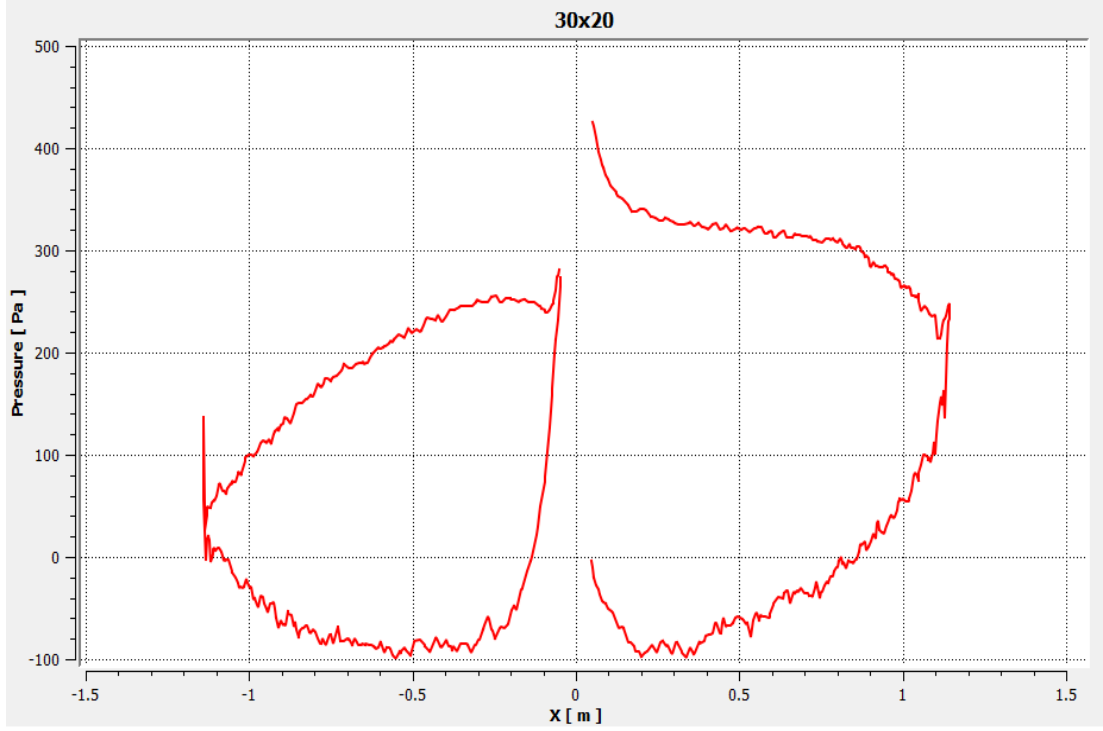
Şekil 4.2.7 a. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.



Şekil 4.2.7 b. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.



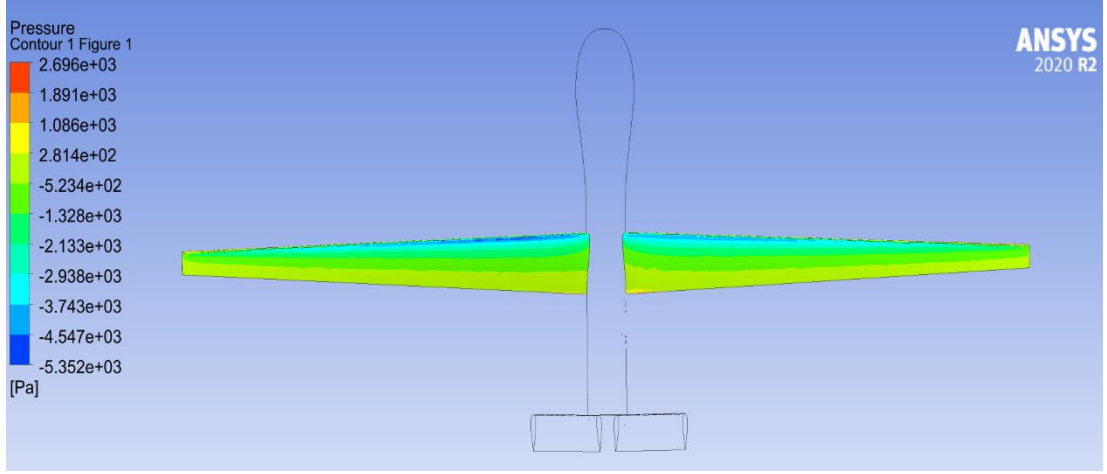
Şekil 4.2.8 a. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.



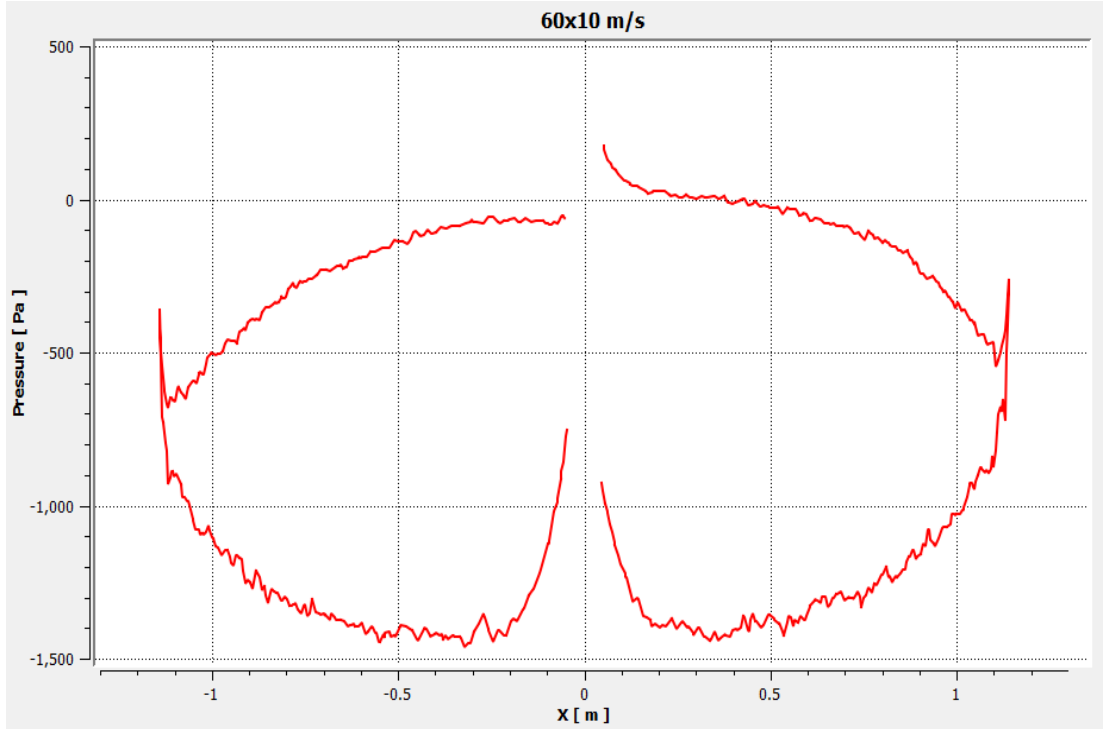
Şekil 4.2.8 b. İHA'nın 30 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.

Şekil 4.2.7 a'da görüldüğü gibi kanadın sol tarafındaki basınç sağ tarafa kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Kanatta oluşan basınç değerinin maksimum 1520 Pa, minimum -1388 Pa olduğu görülmektedir. Kanadın üst yüzeyinde alçak basınç, alt yüzeyinde ise yüksek basınç olduğu için kaldırma kuvveti oluşmaktadır. Şekil 4.2.7 b'de ise basınç dağılımının grafiği gösterilmiştir. Grafik, kanadın 30%`da bir uçtan diğer uca olacak şekilde kesit alınmıştır. Grafikte, kanadın sol tarafında üst ve alt yüzey alanında basınç değerleri 80, -250 Pa aralığında değişirken kanadın sağ tarafında bu basınç değerleri 250, -250 Pa aralığında değişmektedir. Burada önden açılı rüzgar etkisinde uçarken kanattaki basınç dağılımı simetrisinin bozulduğu görülmektedir. Şekil 4.2.8 a'da ise bu farkın arttığı açık şekilde görülmektedir. Aynı zamanda kanat yüzey alanında oluşan basınç aralığının arttığı görülmektedir. Burada maksimum basınç 3495 Pa ve minimum basınç -2279 Pa olmuştur. Şekil 4.2.8 b'de ise sol taraf için basınç 280, -100 Pa aralığında ve sağ taraf için 430, -100 Pa aralığında değişmektedir.

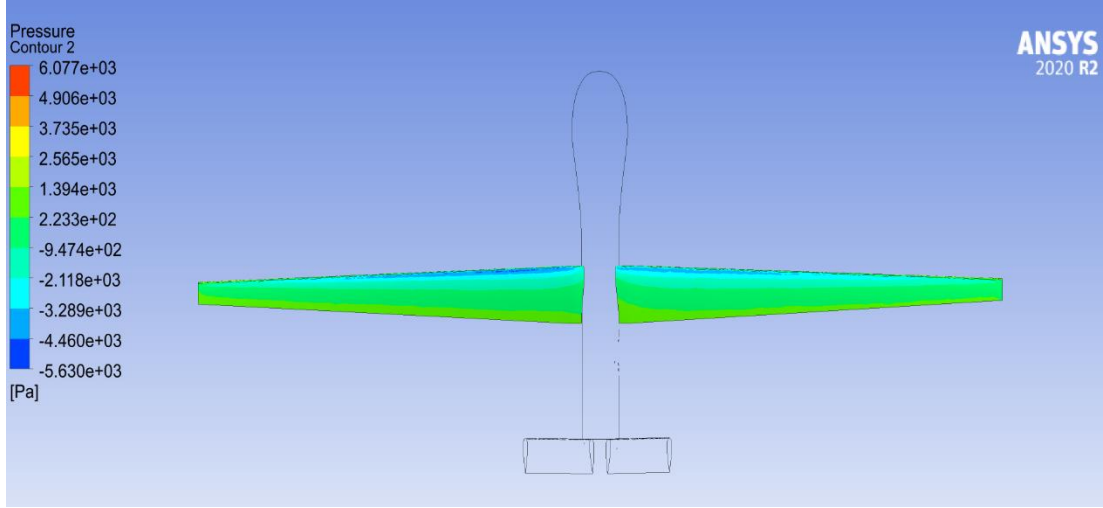
Şekil 4.2.9, 4.2.10 ve 4.2.11`da 60 m/s uçuş hızı için uygun olarak 10, 20, 30 m/s önden açılı rüzgar etkisinde İHA`nın kanadında oluşan basınç dağılımı konturları ve grafikleri verilmiştir.



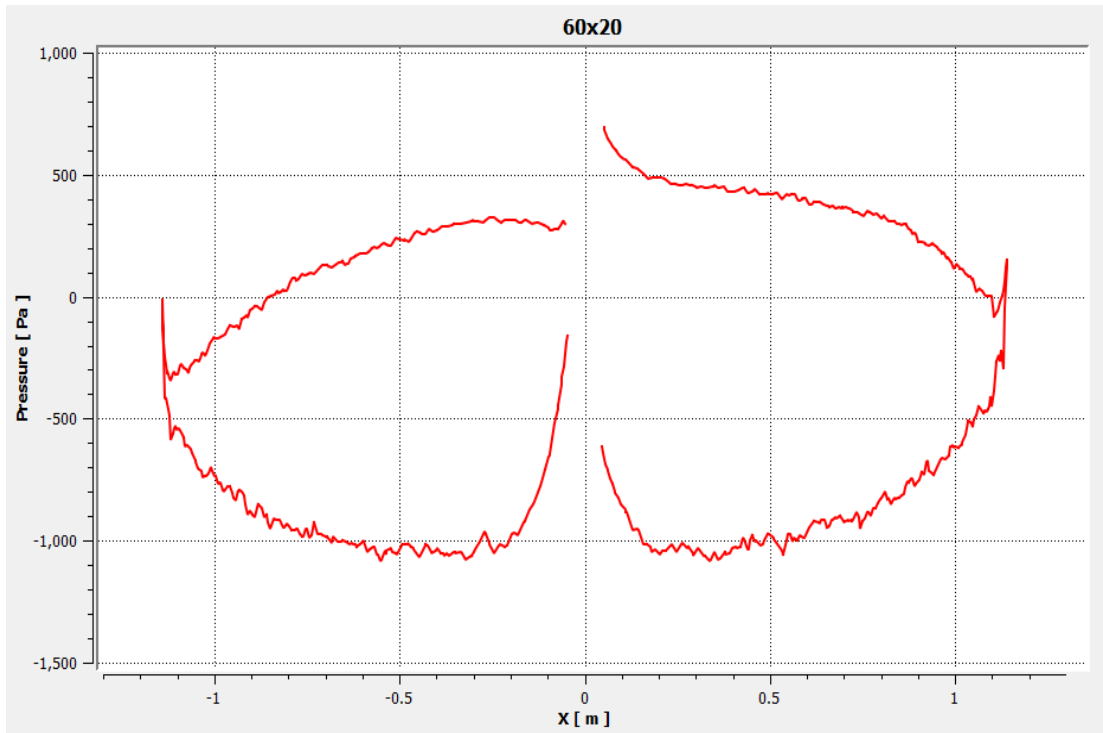
Şekil 4.2.9 a. İHA`nın 60 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.



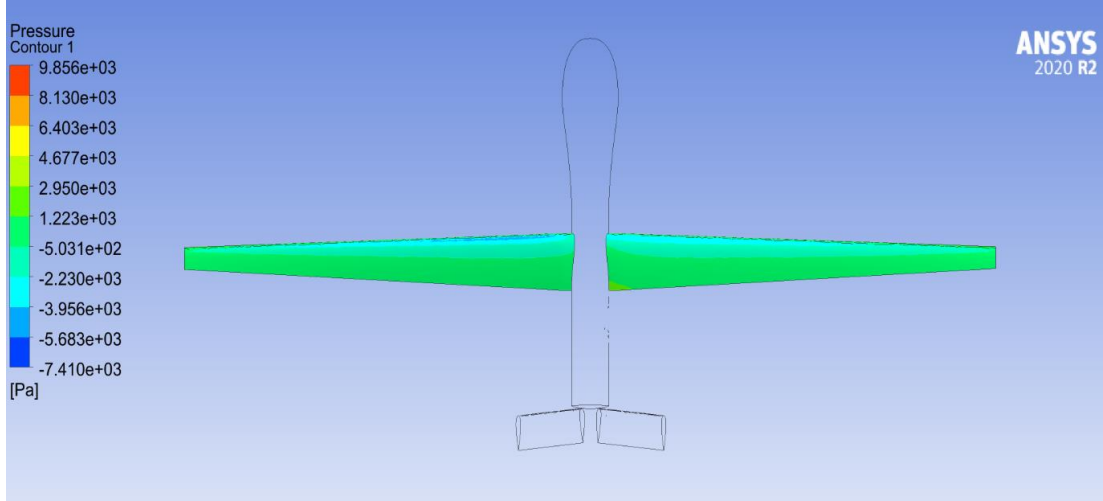
Şekil 4.2.9 b. İHA`nın 60 m/s uçuş hızında 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.



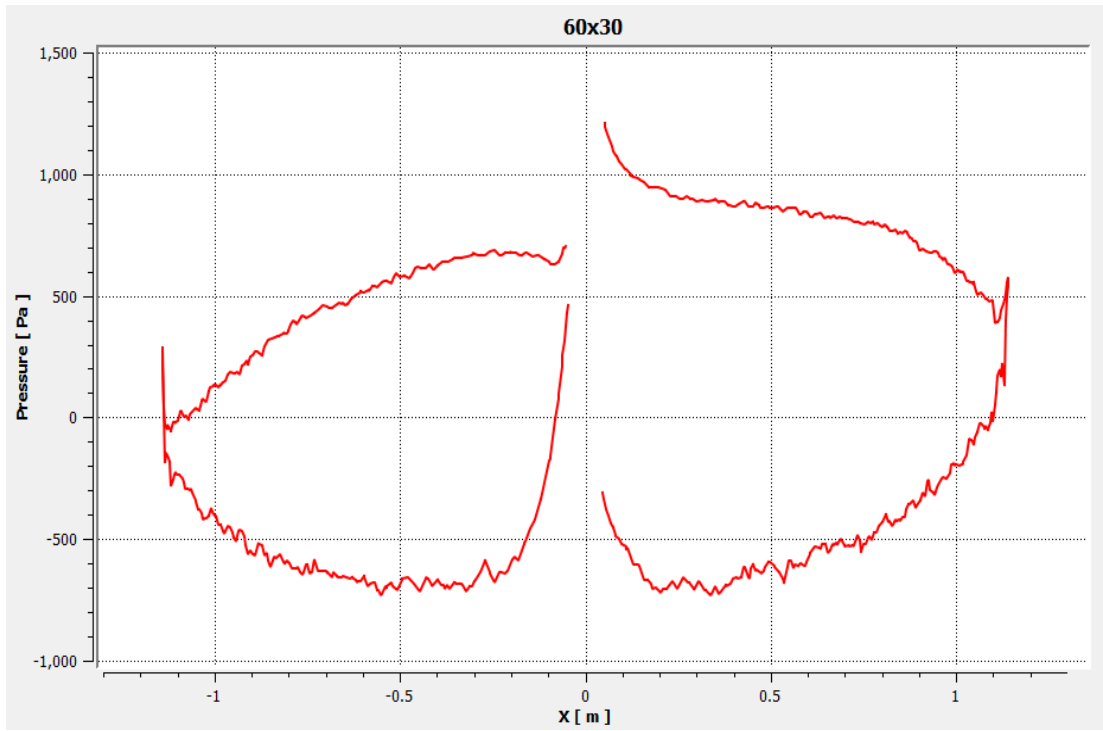
Şekil 4.2.10 a. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.



Şekil 4.2.10 b. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 20 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.



Şekil 4. 2.11 a. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 30 m/s önden açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı konturu.



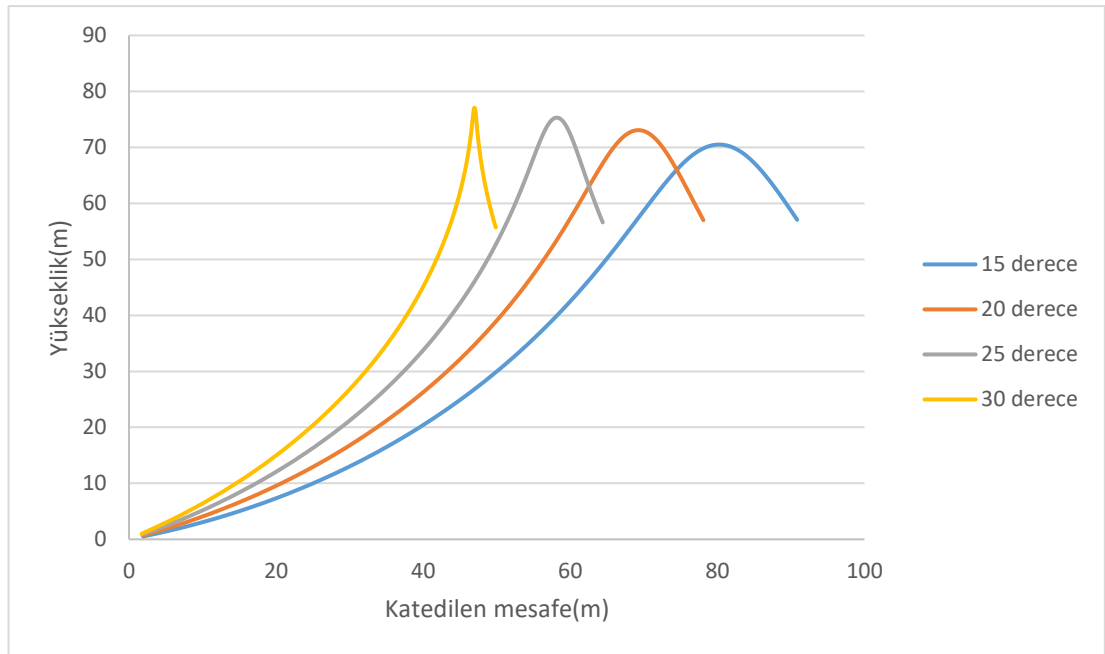
Şekil 4.2.11 b. İHA'nın 60 m/s uçuş hızında 30 m/s açılı rüzgar etkisinde basınç dağılımı grafiği.

Şekil 4.2.9`de İHA'nın uçuş hızı yüksek olduğu için 10 m/s önden açılı rüzgar etkisinde kanadın sağ ve sol kısımları arasındaki basınç farkı oranının düştüğü görülmektedir. Şekil 4.2.9 a`da uçuş hızının artmasıyla kanat yüzeyinde oluşan basınç aralığının da arttığı görülmektedir. Basınç maksimum 2696 Pa ve minimum

-5352 Pa olmuştur. Şekil 4.2.10 ve 4.2.11`da görüldüğü gibi rüzgar hızı arttıkça kanadın sağ ve sol kısımları arasındaki basınç farkı oranının arttığı görülmektedir. Kanat yüzey alanında oluşan basınç aralığı rüzgar hızının artmasıyla değişmektedir. Buna göre Şekil 4.2.10 a`da maksimum basınç 6077 Pa ve minimum basınç -5630 Pa`dır. Şekil 4.2.11 a`da ise maksimum basınç 9856 Pa ve minimum basınç -7410 Pa olduğu görülmektedir.

4.3. FIRLATMA SONRASINDA İHA`NIN YÜKSELİŞİNDEKİ HESAPLAMA SONUÇLARI

EFP ile fırlatılan İHA için havalandıktan sonra motor gücü kullanmadan farklı hız, kütle ve fırlatma açılara göre ulaşabileceği yükseklik ve katedilen mesafe hesaplanmıştır. Burada İHA`nın aerodinamik özellikleri HAD sonuçlarına göre alınmıştır. Hedef maksimum yüksekliğe motor gücü kullanmadan ulaşmaktır. İHA`nın kütlesine uygun olarak 5 kg için 40 m/s, 10 kg için 50 m/s ve 20 kg için 60 m/s fırlatma hızları seçilmiştir. Şekil 4.3.1`de farklı fırlatma açılara göre yükseklik ve katedilen mesafe grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.3.1. 40 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.

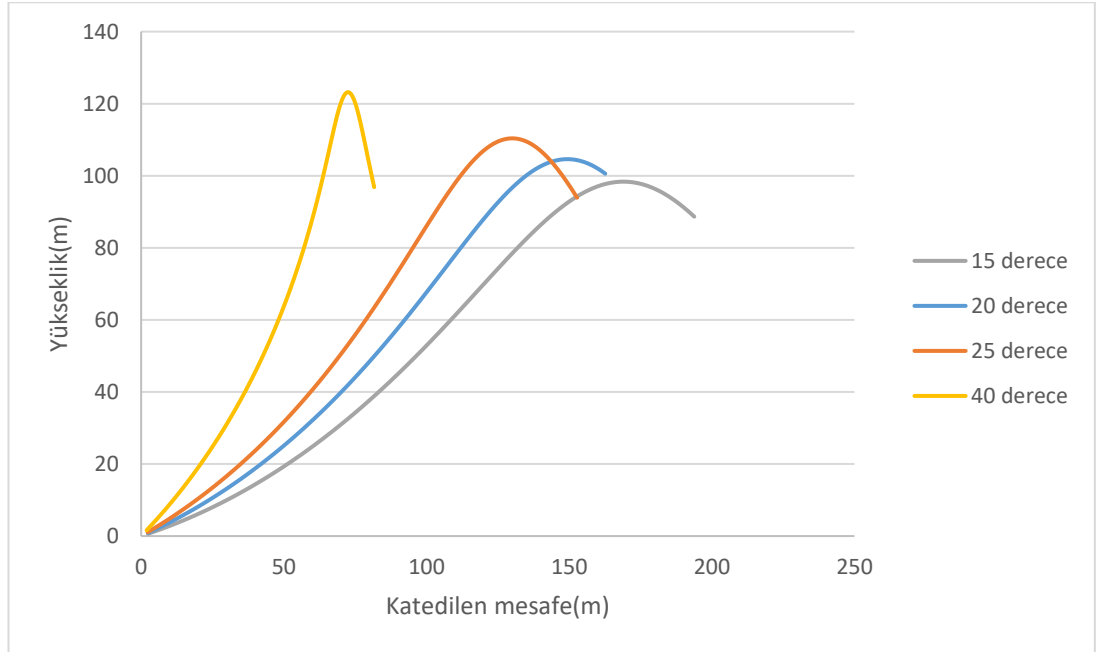
Şekil 4.3.1`de görüldüğü gibi 40 m/s uçuş hızı için 15, 20, 25 ve 30 derece açılarda İHA`nın ulaştığı maksimum yükseklik ve katedilen mesafe hesaplanmıştır. Fırlatma

açısı arttığı zaman ulaşılan maksimum yükseklik artarken katedilen mesafe azalmaktadır. Bu durumda yüksek fırlatma açısı İHA'nın maksimum yüksekliğe ulaştığında kontrol kaybı yaşaması sebep olabilir. Grafikte görüldüğü gibi 30 derece fırlatma açısında ve 40 m/s hızda maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra ani şekilde aşağı inmektedir. Tablo 4.3.1'de 40 m/s fırlatma hızı için farklı fırlatma açılarında ulaşılan maksimum yükseklik ve katedilen mesafe değerleri verilmiştir.

Açı	Yükseklik	Mesafe	Zaman
15 derece	70,49 m	80,38 m	4,8 s
20 derece	73,07 m	69,11 m	4,6 s
25 derece	75,31 m	58,14 m	4,5 s
30 derece	77,08 m	46,97 m	4,4 s

Tablo 4.3.1. 40 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.

Şekil 4.3.2'de 50 m/s fırlatma hızı için farklı fırlatma açılarında yükseklik ve katedilen mesafe grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3.2. 50 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.

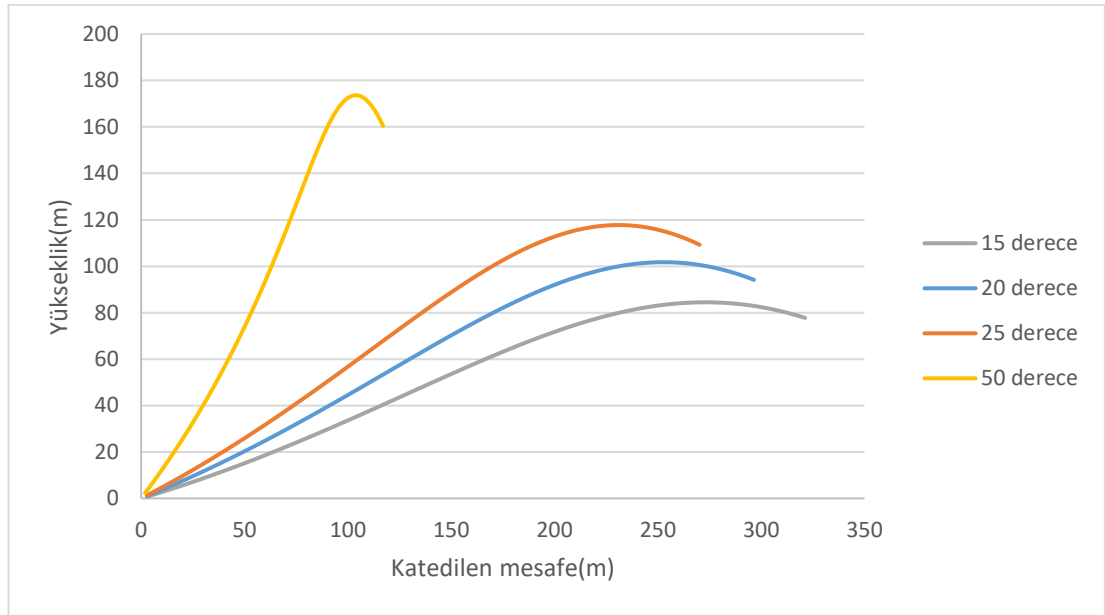
Şekil 4.2.2'de görüldüğü gibi 50 m/s uçuş hızı için 15, 20, 25 ve 40 derece açılarda İHA'nın ulaştığı maksimum yükseklik ve katedilen mesafe hesaplanmıştır. İHA kütlesi burada 10 kg'dır. Burada görüldüğü gibi 40 m/s fırlatma hızına kıyasla ulaşılan maksimum yükseklik ve katedilen mesafe artmıştır. Grafikte görüldüğü gibi 50 m/s hızda fırlatma açısı 40 derece olunca maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra

ani şekilde aşağı inmektedir. Bu durumda 50 m/s hız için İHA'nın 40 derece ve üstü açılarda fırlatılması kontrol kaybına neden olacaktır. Tablo 4.3.2`de maksimum yükseklik ve katedilen mesafe değerleri verilmiştir.

Açı	Yükseklik	Mesafe	Zaman
15 derece	98,35 m	168,71 m	6,2 s
20 derece	104,6 m	149,17 m	6 s
25 derece	110,36 m	129,56 m	5,8 s
40 derece	123,16 m	72,66 m	5,5 s

Tablo 4.3.2. 50 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.

Şekil 4.3.3`de 60 m/s fırlatma hızı için farklı fırlatma açılarında yükseklik ve katedilen mesafe grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3.3. 60 m/s fırlatma hızıyla yükseklik ve mesafe.

Şekil 4.3.3`de görüldüğü gibi 60 m/s uçuş hızı için 15, 20, 25 ve 50 derece açılarda İHA'nın ulaştığı maksimum yükseklik ve katedilen mesafe hesaplanmıştır. İHA kütlesi 20 kg'dır. Burada katedilen mesafe 50 m/s hızla fırlatılan İHA'nın mesafe değerlerine kıyasla farklı olsa da yükseklik değerleri bir-birine yakın olduğu görülmektedir. İHA kütlesi ve fırlatma hızı arttıkça grafiklerde görüldüğü gibi 50 derece fırlatma açısına kadar maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra yükseklik ani olarak değişmemektedir. Bu da İHA'nın kontrol kaybı yaşamamasını sağlamaktadır. Literatürde benzer çalışmaya baktığımızda sonuçların aynı eğilimde olduğu

görülmektedir [23]. Tablo 4.3.3`de maksimum yükseklik ve katedilen mesafe değerleri verilmiştir.

Açı	Yükseklik	Mesafe	Zaman
15 derece	84,47 m	270,4 m	6,4 s
20 derece	101,74 m	253,46 m	6,4 s
25 derece	117,73 m	231,89 m	6,5 s
50 derece	173,64 m	103,63 m	6,3 s

Tablo 4.3.3. 60 m/s fırlatma hızı için yükseklik, mesafe, zaman.

Tablo 4.3.3`de görüldüğü gibi fırlatma açısı artarken ulaşılan maksimum yükseklik artmakta, katedilen mesafe ise azalmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada İHA için EFP tasarımı sunulmuştur. EFP'nin matematiksel hesaplamaları yapıp İHA modeline uygun şekilde hangi hız, açı ve kütle değeri ile fırlatılacağı dikkate alınarak gereken voltaj değerleri bulunmuştur. EFP'de ulaşılan maksimum akım değerleri, İHA'nın platformdan çıkış hızı ve çıkış zamanı hesaplanmıştır. Bu sistemde kullanılacak olan İHA modeli için basit bir İHA geometrisi çizilmiştir. İHA'nın bu sistemden aldığı başlangıç hızla motor gücü kullanmadan ne kadar yükseğe çıkacağı ve ne kadar mesafe kat edeceği hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlarda fırlatma hızının ve açısının ne kadar büyük olmasına göre uygun şekilde daha fazla yüksekliğe çıkıldığı görülmüştür. Hangi fırlatma hızı için hangi fırlatma açısının tehlikeli olduğu bulunmuştur. Sonuçlara göre düşük hızlarda fırlatılan İHA'lar için tırmanışta kontrol kaybı yaşanacağı görülmüştür. İHA'nın platformla fırlatılmasında üzerinde oluşacak aerodinamik etkiler irdelenmiştir. Ansys Fluent bilgisayar programında yapılan uçuş analizi sonuçlarına göre hızın arttığı durumlarda momentlerin arttığı görülmüştür. Bu durumda kontrol yüzeylerine düşen yükler de artmış olacaktır. Önden açılı şekilde rüzgar etkisinde ise kanatta oluşan basınç dağılımının simetrik olmadığı ve yüksek hızlarda sağ ve sol taraf arasındaki farkın büyük olduğu görülmüştür. Uçuş hızının artması durumunda dayanıklılık ve stabilite açısından İHA'nın geometrisinin, aerodinamik yapısının daha hassas hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda İHA'nın EFP ile fırlatılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Fırlatma platformu ile fırlatılan İHA kalkış ve tırmanma zamanı kendi enerji kaynağını kullanmadığı için havada kalma süresi ve yük kapasitesi artacaktır. Kalkış pistine

ihtiyaç duymadığı için herhangi bir yerden fırlatılması mümkündür. Bu çalışma sayesinde İHA'nın özelliklerine göre EFN'nin matematiksel hesaplamaları yapıp tasarlanması ve İHA'nın ulaşabileceği yükseklik ve mesafe hesaplanabilecektir.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada sunulan bilgilerin gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturduğu göz önüne alındığında, aşağıdaki konular üzerinde odaklanabilecek yeni çalışmalar düşünülebilir:

- İHA Geometrisi ve Aerodinamik Yapının Daha Detaylı Hesaplamaları: İHA'nın dayanıklılık, stabilite ve aerodinamik performansının daha hassas bir şekilde hesaplanması için daha detaylı analizler yapılabilir. Bu analizlerde, özellikle yüksek hızlarda oluşabilecek aerodinamik etkilerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi önemlidir.
- EFP Tasarımının İyileştirilmesi: İHA'nın EFP ile fırlatılması için kullanılan sistemde daha verimli ve güçlü bir tasarım geliştirilebilir. Bu tasarım çalışmaları, daha yüksek fırlatma hızları, daha uzun menziller ve daha yüksek taşıma kapasiteleri gibi hedeflere odaklanabilir.
- Kontrol ve Stabilite Analizi: İHA'nın EFP ile fırlatılması ve uçuş sürecinde kontrol ve stabilite faktörleri daha ayrıntılı olarak incelenebilir. Bu analizler, kontrol yüzeylerine düşen yüklerin optimize edilmesi, tırmanma ve manevra performansının iyileştirilmesi gibi konuları içerebilir.
- Fırlatma Ortamının Etkisi: İHA'nın fırlatıldığı ortamın (örneğin, rüzgar, sıcaklık, nem vb.) İHA performansı üzerindeki etkileri araştırılabilir. Bu çalışmalar, farklı hava koşullarında İHA'nın performansının nasıl değiştiğini anlamak için önemlidir.
- Uçuş Testleri ve Validasyon: Tasarlanan İHA modelinin gerçek dünya koşullarında uçuş testlerine tabi tutulması ve performansının doğrulanması

gerekmektedir. Bu testler, teorik hesaplamaların gerçek uuŖ verileriyle karŖılaŖtırılmasına olanak sağlayacak ve tasarımın iyileŖtirilmesine katkıda bulunacaktır.

Bu nerilen alıŖmalar, İHA'nın EFP ile fırlatılması, performansının artırılması ve güvenilirliğinin sağlanması konularında daha derinlemesine bir araŖtırma yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, İHA teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte yeni keŖifler ve geliŖmelerin ortaya çıkması olasılığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. F. Settele and M. Bittner, "Energy-optimal guidance of a battery-electrically driven airplane", *CEAS Aeronautical Journal*, 11:111–124 (2020).
2. Siqueira, Jessica Cristine Da Costa, "Modeling of Wind Phenomena and Analysis of Their Effects on UAV Trajectory Tracking Performance", *WVU Graduate Thesis*, 10275311 (2017).
3. Emily Ranquist, Matthias Steiner, "Exploring the range of weather impacts on UAS operations", *Conference Paper*, (2017).
4. Nathan J. E., "Review of railgun modeling techniques: the computation of railgun force and other key factors", *University of Colorado Master's Degree Thesis*, (2017).
5. Umut B., "Design of a high speed decoy uav", *Middle East Technical University Master's Degree Thesis*, (2016).
6. Laurian G., "An electromagnetic launch system for uavs", *Research Gate*, (2012).
7. Dr. T Cox, PhD, MEng, MIEEE, MIET*, Dr. T Yang, PhD, Msc, MIEEE, MIET, Prof. C Gerada, PhD, Msc, MIEEE, MIET, "Enhancing Electromagnetic Launch Capability: Design of a motor system to launch large UAV's from small naval platforms", *PEMC Research Group, The University of Nottingham*, (2017).
8. Mirosław K., Leszek A., "Concept of the magnetic launcher for medium class unmanned aerial vehicles designed on the basis of numerical calculations", *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54 (1): 163-177 (2016).
9. Hailong W., Jingyu Y., Zhijie Z., Chen L., Zhihao Z., Guangliang X., Bowen Zh., Gang W., "The design of lightweight uav classification accelerating electromagnetic launcher", *Advances in Computer Science Research*, 58 (2016).
10. Zhiren W., Jun W., Shengjun H., "A hybrid power system for unmanned aerial vehicle electromagnetic launcher", *AIP Conference Proceedings*, 1971, 040011 (2018).
11. Garrett R. G., "Analysis of electromagnetic launcher design and modeling", *California Polytechnic State University Master's degree thesis*, (2016).

12. Nihar S. B., "Design and optimization of an electromagnetic railgun", *Michigan Technological University Master's Degree Thesis*, (2018).
13. Jeff M., Jordan S., Alex W., Guy Z., "Design, fabrication, and testing of an electromagnetic rail gun for the repeated testing and simulation of orbital debris impacts", *California Polytechnic State University Master's Degree Thesis*, (2011).
14. Bhaskar S., Cuong C. Q., Kai G., "Optimizing battery life for electric uavs using a bayesian framework", *IEEE*, 978-1-4577-0557-1 (2012).
15. Pradeep K. V., Satyam S., Shivam R., Gaurav K., Nomula A. P., Kishore B. J., Taral S. Y., Daniel K. J., Suwarna D., "Design and development of 4-MJ capacitor bank-based pulsed power system for electromagnetic launcher", *IEEE Transactions on plasma science*, 47 (3), (2019).
16. Ju L., "Design and optimization of the pulsed power supply system used for electromagnetic railgun", *Zhong Yuan Research Institute of Electronics Technology*, (2012).
17. Hong-bin X., Hui-ya Y., Jian Y., Ming-yu G., "Research progress on advanced rail materials for electromagnetic railgun technology", *Defence Technology*, 17: 429-439 (2021).
18. Lt. Col. Jeffrey Scott McGuirk Ph.D., "An electromagnetic railgun design and realization for an electrical engineering capstone project", *American Society for Engineering Education*, (2016).
19. Shizhong L., Ronggang C., Yu Z., Jun L., "Performance Analysis of Electromagnetic Railgun Launch System Based on Multiple Experimental Data", *IEEE Transactions on plasma science*, 47 (1), (2019).
20. Thomas G. E., "The high-efficiency mode of electromagnetic launcher operation", *IEEE Transactions on plasma science*, 48 (4), (2020).
21. Yong H., Yongchao G., Guishan G., Yexun L., Xu Q., Bing W., Shengyi S., "Efficiency analysis of an electromagnetic railgun with a full circuit model", *IEEE Transactions on plasma science*, 38 (12), (2010).
22. İnternet: Teknik Havacılık, "Uçak Hareket Eksenleri", <https://slonder.tripod.com/kumanda/kumanda.htm> (2003).
23. Muliadi J., "An empirical method for the catapult performance assessment of the BPPT-developed UAVs", *Journal of Physics: Conference Series*, 1130, (2018)

ÖZGEÇMİŞ

İlkin ASGARZADE, Azerbaycan vatandaşı olarak Türkiyede 2021 yılından beri Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Lisansüstü Öğrenimine devam etmektedir. 2015 yılında Azerbaycanda başladığı Ulusal Havacılık Akademisinde Uçak Mühendisi bölümünü 2019 yılında tamamlanıştır.