

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

HELİKOPTER ROKET SİSTEMİ PERFORMANSININ MAKİNE
ÖĞRENMESİ YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

HAZIRLAYAN

EMRE ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2024

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**HELİKOPTER ROKET SİSTEMİ PERFORMANSININ MAKİNE
ÖĞRENMESİ YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN

EMRE ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. FARUK ELALDI

TEZ EŞ DANIŞMANI

DR. NADİR SERİN

ANKARA - 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Emre ULUSOY tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26 / 08 / 2024

Tez Adı: Helikopter Roket Sistemi Performansının Makine Öğrenmesi Yöntemi ile İyileştirilmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvan, Adı – Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Faruk ELALDI, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Adem Acır , Gazi Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Cenk BALÇIK, Başkent Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Dilek Çökeliler Serdaroğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 20 / 08 / 2024

Öğrencinin Adı, Soyadı: Emre ULUSOY

Öğrencinin Numarası: 22110187

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

Programı: Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Faruk ELALDI

Tez Başlığı: Helikopter Roket Sistemi Performansının Makine Öğrenmesi Yöntemi ile İyileştirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 47 sayfalık kısmına ilişkin, 20 / 08 / 2024 tarihinde tez danışmanım tarafından turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Öğrenci Danışmanı

Prof. Dr. Faruk ELALDI:

Tarih: ... / ... / 20...

.....

TEŞEKKÜR

Tüm çalışma sürecimde bilgi ve tecrübeleri ile çalışmamın tamamlanmasında yolumu aydınlatan, beni destekleyen, sabırla ve ilgiyle tezin her adımında yardımcı olan ve bana güvenen kıymetli danışman hocalarım sayın Dr. Nadir SERİN ve sayın Prof. Dr. Faruk ELALDI'a,

Bu çalışmayı gerçekleştirirken bana olan sonsuz anlayış ve desteği için sevgili eşim Tuğçe ULUSOY'a,

Son olarak sevgili aileme ve özellikle bu çalışmayı tamamlarken bana destek ve güveni ile manevi katkı sağlayan değerli ablam Dr. Türkan Gamze ULUSOY GHOBADI'ye sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

ÖZET

HELİKOPTER ROKET SİSTEMİ PERFORMANSININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

2024

Modern savaş alanlarında, helikopterler gibi kritik rol oynayan çok yönlü platformların hedefi vurabilme kabiliyetleri büyük önem taşımaktadır. Geleneksel balistik hesaplamalar, roketlerin isabet etmesi için gerekli yan ve yükseliş açılarını hesaplar. Ancak, bu hesaplamalar belirli riskler taşımaktadır. Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi, helikopterlerden atılan roketlerin isabet edeceği noktaların tahmin edilmesini sağlayarak bu riskleri minimize etmektedir.

Bu tez çalışmasında, Cobra taarruz helikopterine ait veri kümesi kullanılarak roketlerin isabet noktalarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Veri kümesinin %20'si yörünge benzetimi ve Rastgele Orman Algoritması tahmin sonuçlarıyla karşılaştırmak için test verisi olarak ayrılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, kullanılan makine öğrenmesi yönteminin roketlerin isabet noktalarını belirlemede karar destek sisteminin etkili bir parçası olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu sayede, silah sistemi kullanıcılarının karar alma sürecindeki iş yükünün önemli ölçüde azalacağı, görev güvenliğinin ve isabet olasılığının artacağı değerlendirilmiştir. Beş kez test edilen Rastgele Orman Algoritmasıyla yaklaşık %6 mutlak hata oranı elde edilmiştir.

Bu çalışma, modern savaş alanlarında helikopterlerin ateş gücü yeteneklerini, makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak önemli ölçüde geliştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi, Helikopter Silah Sistemleri, Balistik İsabet Başarısı

ABSTRACT

IMPROVING OF FIRING PERFORMANCE OF ROCKET SYSTEMS OF HELICOPTERS BY MACHINE LEARNING METHOD

Baskent University Institute of Science and Technology

Department of Defense Technologies and Systems

2024

In modern battlefields, the capability of versatile platforms such as helicopters, which play a critical role, to accurately engage targets is of paramount importance. Traditional ballistic calculations are employed to determine the azimuth and elevation angles required for rockets to impact. However, these calculations inherently involve certain risks. Machine learning, a sub-branch of artificial intelligence, minimizes these risks by predicting the impact points of rockets launched from helicopters.

In this thesis, it is aimed to predict the hit points of rockets using a dataset from the Cobra attack helicopter. 20% of the dataset was allocated as test data to compare the results with trajectory simulations and those predicted by the Random Forest Algorithm. As a result of this comparison, it was determined that the machine learning method can be used as an effective part of the decision support system in determining the hit points of the rockets. In this way, it is anticipated that this will significantly reduce the work load on weapon system operators during the decision-making process, enhance mission safety, and improve hit probability. The Random Forest Algorithm, tested five times, yielded a mean absolute error rate of approximately 6%.

This study demonstrates the potential of employing machine learning algorithms to substantially enhance the firepower capabilities of helicopters in modern battlefields.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Machine Learning, Helicopter Weapon Systems, Ballistic Accuracy

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dış Balistik.....	3
2.2. Makine Öğrenmesi ve Rastgele Orman Algoritmasının Savunma Platformlarında Kullanımı	5
3. GENEL BİLGİLER.....	9
3.1. Helikopter Silah ve Görev Sistemleri.....	9
3.1.1. Roket sistemi	9
3.1.2. Helikopter roket sistemi	10
3.2. Atış Kontrol Sistemi.....	10
3.2.1. Balistik kavramı	12
3.2.2. İsabet ve analiz kavramı.....	13
3.2.3. Dairesel hata oranı (CEP)	13
3.2.4. Rastgele hata	14
3.2.5. Sistematik hata	14
3.3. Makine Öğrenmesi Karar Ağaçları Algoritması	15
4. VERİ KÜMESİNİN İNCELENMESİ VE TEST SONUÇLARI.....	17
4.1. Atışlı Test Veri Kümesi	17
4.1.1. Nominal 1000 metre için veri kümesi ve hesaplamalar	21
4.1.2. Nominal 2000 metre için veri kümesi ve hesaplamalar	25
4.1.3. Nominal 3000 metre için veri kümesi ve hesaplama.....	27
4.2. Benzetim ile Gerçek Test Sonuçları Karşılaştırma ve Değerlendirme	29
4.3. Rastgele Orman Algoritma Sonuçları.....	38
5. SONUÇLAR	42

6. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	43
--	-----------

KAYNAKLAR	44
------------------------	-----------

EKLER

EK 1: Kaska Entegre Kumanda Sistemi

EK 2: Keşif, Gözetleme ve Hedefleme Sistemi

EK 3: Benzetim İçin MATLAB Kodu

EK 4: Makine Öğrenmesi İçin Algoritma



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Atışlı testte helikopter saldırı koşulları.....	18
Tablo 4.2. Nominal 1000 m sapma açıları.....	19
Tablo 4.3. Nominal 2000 m Sapma Açıları	19
Tablo 4.5. Nominal 1000 metre test sonuçları.....	22
Tablo 4.6. Nominal 1000 m isabet sonuçları	24
Tablo 4.7. Nominal 1000 m CEP tablosu	24
Tablo 4.8. Nominal 2000 metre test sonuçları.....	25
Tablo 4.9. Nominal 2000 m atış sonuçları.....	26
Tablo 4.10. Nominal 3000 metre test sonuçları.....	27
Tablo 4.11. Nominal 3000 m atış sonuçları.....	28
Tablo 4.13. Nominal 1000 metre için atım koşulları	30
Tablo 4.14. Nominal 1000 m benzetim atış sonuçları	30
Tablo 4.15. Nominal 2000 metre için atım koşulları	33
Tablo 4.16. Nominal 2000 m benzetim atış sonuçları	33
Tablo 4.17. Nominal 3000 m için atım koşulları	35
Tablo 4.18. Nominal 3000 m benzetim atış sonuçları	35
Tablo 4.19. Ortalama isabet noktaları.....	38
Tablo 4.20. Gerçek test ile benzetim sonuçları karşılaştırması	38
Tablo 4.21. Test veri kümesi	38
Tablo 4.22. Rastgele orman deneme sonuçları	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 1,49 kalibre top mermisi için mach sayısı ile sürüklenme katsayısı grafiği.....	3
Şekil 2.2. Makine öğrenimi geliştirme süreci	5
Şekil 3.1. Helikopter silah ve görev sistemleri	9
Şekil 3.3. Atış senaryosu.....	11
Şekil 3.4. AH-1 cobra helikopter	12
Şekil 3.5. Uçan bir mühimmatın etkiyen kuvvetler	13
Şekil 3.6. RO algoritması çalışma prensibi.....	16
Şekil 4.1. Normal dağılım fonksiyonu.....	18
Şekil 4.2. Açık hatasının geometrik yörünge dönüşümü	18
Şekil 4.3. Test isabet noktaları dağılımı	20
Şekil 4.4. Test dikey yönde (Y eksen) isabet sayısı	21
Şekil 4.5. Test yatay yönde (X eksen) isabet sayısı.....	21
Şekil 4.6. Nominal 1000 m CEP.....	25
Şekil 4.7. Nominal 2000 m CEP	27
Şekil 4.8. Nominal 3000 m CEP.....	29
Şekil 4.9. MK40 sürüklenme katsayısı	30
Şekil 4.10. Nominal 1000 m atış yörüngesi*	31
Şekil 4.11. Nominal 1000 m isabet noktaları.....	32
Şekil 4.12. Nominal 1000 m isabet noktaları.....	32
Şekil 4.13. Nominal 2000 m atış yörüngesi*	34
Şekil 4.14. Nominal 2000 m isabet noktaları.....	34
Şekil 4.15. Nominal 2000 m isabet noktaları.....	35
Şekil 4.16. Nominal 3000 m atış yörüngesi*	36

Şekil 4.17. Nominal 3000 m isabet noktaları.....	37
Şekil 4.18. Nominal 3000 metre isabet noktaları.....	37
Şekil 4.19. Tahmini isabet noktası gösterimi.....	41



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

m	Metre
mm	Milimetre
°	Derece
kg	Kilogram
s	Saniye
$\dot{m}$	Yakıt kütle akış hızı



1. GİRİŞ

Bilgisayarlar, birçok alanda insanlardan daha hızlı işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Geçmişte 'karar verme' gerektiren durumlar için insanlara ihtiyaç duyulurken, makine öğrenmesi yöntemlerinin geliştirilmesiyle bilgisayarların doğru karar verme yetenekleri büyük ölçüde artmıştır. Makine öğrenmesi, bilgisayarların mevcut verileri analiz ederek tahminlerde bulunmasını ve sonuçlar üzerinde yorum yapabilmesini sağlayan matematiksel modellerden oluşan bir yöntemdir.

Bu çalışmada, helikopterlerden atılan roketlerin isabet noktalarını tahmin etmek için Rastgele Orman Algoritması kullanılmıştır. Savunma teknolojilerinde, makine öğrenmesi henüz yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, bu yöntemlerin yakın gelecekte destek sistemleri olarak birçok platforma entegre edilmesiyle silah sistemlerinin daha etkili hale gelmesi beklenmektedir.

Balistik hesaplamalar, Çin'in 13. yüzyılda barutu ateşli silahlarda kullanmasıyla başlamış ve Euler'in geliştirdiği balistik matematik modelleriyle çok daha ileri seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde balistik hesaplamalar, gelişmiş bilgisayar programları ve matematiksel modeller kullanılarak yapılmaktadır. Mühimmat özellikleri, atım koşulları, atmosferik koşullar ve Dünya'nın dönüşü (Coriolis etkisi) gibi birçok faktör, dış balistik hesaplama denklemlerinde kullanılmaktadır. Güncel teknolojiye, helikopterler, hedef alınan noktaya atışlarını geleneksel balistik algoritmalar kullanarak gerçekleştirmektedir. Ancak atışın hedefe hangi oranda isabetli olacağı pilota görsel ve istatistiksel olarak bildirilememektedir.

Bu çalışma, helikopter roket sisteminin balistik isabet başarısı ve yapay zekânın savunma platformlarına entegrasyonuna yönelik araştırmalara katkı sağlamaktadır. Roket isabet noktasının pilotlar tarafından görsel ve istatistiksel olarak öngörülebilmesi, görev süresinde kısalma, daha düşük ağırlıkta görev icra edebilme, pilot iş yükünde azalma ve görev güvenliğinde artma gibi birçok avantaj sağlayabilecektir.

1.1. Amaç

Bu tez çalışmasının amacı, modern savaş alanlarında kritik rol oynayan helikopter silah sistemlerinin etkinliğini artırmak için makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak mevcut balistik algoritmaların optimizasyonunu sağlamaktır. Helikopterler, hareket kabiliyetleri ve çok yönlü görev yetenekleri sayesinde büyük öneme sahiptir. Ancak, mevcut balistik hesaplamalar ve silah sistemleri, çeşitli çevresel ve operasyonel faktörler nedeniyle her zaman istenilen isabet oranını sağlayamamaktadır.

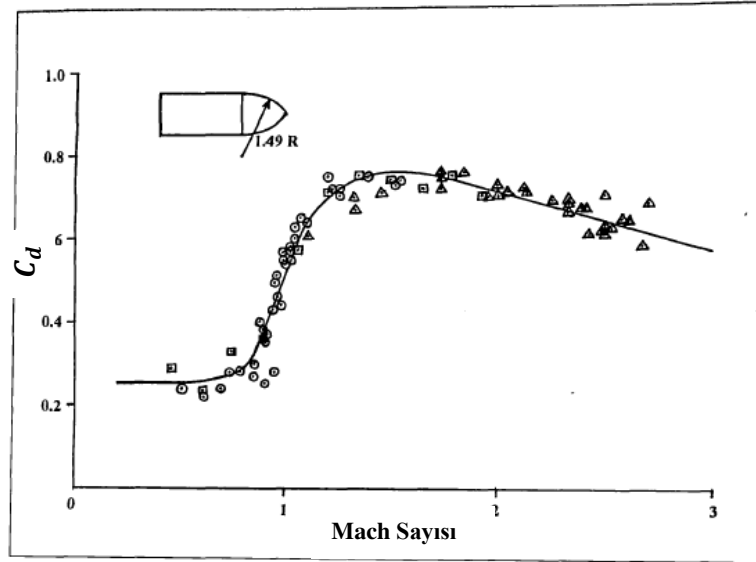
Bu çalışma, helikopterlerden atılan roketlerin isabet noktalarını tahmin etmek ve makine öğrenmesi yöntemlerini karar destek sisteminin bir parçası olarak kullanmayı amaçlamaktadır. Cobra taarruz helikopterine ait veri kümesi kullanılarak, 2.75 inçlik roketlerin isabet noktalarının tahmin edilmesi, bu tahminlerin gerçek test ve yörünge benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılması üzerine araştırmalar yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, makine öğrenmesi algoritmalarının, roketlerin isabet noktalarını belirlemek için karar destek sisteminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, helikopter roket ve atış kontrol sistemi ile ilgili çalışmalara katkı sağlamak amacıyla Rastgele Orman Algoritmasından faydalanılmıştır. Çalışma, makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımıyla, pilotların karar alma süreçlerindeki iş yükünü azaltarak görev sürelerinin kısaltılması, görev güvenliğinin artırılması ve operasyonel verimliliğin yükseltilmesi gibi çeşitli avantajlar sunmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, helikopterlerin savaş alanlarındaki etkinliği artırılarak, balistik isabet başarısına önemli katkılar sağlanması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Dış Balistik

19. yüzyılda dış balistik alanında yapılan çalışmalar, modern balistik ve aerodinamik anlayışa önemli katkılarda bulunmuştur. Bu dönemde birçok araştırmacı, sürüklenme ölçümlerinin doğruluğunu artırmak için deneyler yapmışlardır. 1912 yılında yayınlanan bir raporda, 1,49 kalibre top mermisi için sürüklenme katsayısının (C_d) Mach Sayısına göre değişiminin gösterildiği bir grafik elde edilmiştir (Şekil 2.1). Bu dönemdeki çalışmalar, modern balistik ve aerodinamik anlayışın temellerini atmış ve günümüzde kullanılan bazı temel balistik kavramların gelişmesine yardımcı olmuştur [1].



Şekil 2.1. 1,49 kalibre top mermisi için mach sayısı ile sürüklenme katsayısı grafiği

İkinci Dünya Savaşı sırasında yapılan balistik araştırmalar, bilim ve teknolojiye benzeri görülmemiş bir büyümeye sebep olmuştur. İkinci Dünya Savaşı sonrasında ise, birçok aerodinamik kuvvetin ve momentin ölçülmesinde ilerleme sağlanmış, bilgisayarların gelişmesi mermi yörüngesine etki eden diferansiyel denklemlerin hesaplanmasında kolaylık kazandırmıştır. Sonraki yıllarda devam eden dış balistik alanındaki çalışmalar kapsamında birçok şirket ile araştırmacı hipersonik, süpersonik ve transonik rüzgâr tünellerine yatırım yapmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, mühimmatın uçuş sırasında sürüklenmesini ve stabilitesini hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etme yöntemleri geliştirilmiştir. Mühimmatın yörüngesinin doğru olarak hesaplanma ihtiyacı sonucunda, varsayılan havasız ortam yörüngesinden, aerodinamik sürüklemenin etkisini hesaba katan yöntem olan nokta kütle

diferansiyel denklemlerinin sayısal entegrasyonuna geçilmiştir. 1960'lı yıllara gelindiğinde, altı serbestlik dereceli yörünge hesapları dış balistikte yaygınlaşmış ve günümüzde mühimmat mühendisliği ve tasarımında kullanılmaya başlanmıştır [1].

2009 yılında M. Khalil ve arkadaşlarının "Trajectory Prediction for a Typical Fin Stabilized Artillery Rocket" çalışmasında, güdümsüz roketlerin yörünge tahmini ve dağılımını araştırarak üretim doğruluğunun önemini incelemişlerdir. 122 mm güdümsüz roketin uçuş yörüngesinin altı serbestlik dereceli model kullanılarak simüle edildiği bu çalışmada, roket motorunun yanma süresi, yakıt kütlesi ve ortalama itki değerinin roketin isabet noktası üzerindeki etkileri incelenmiştir [2].

2020 yılında Majstrenko, O. V. ve arkadaşlarının "Analytical Methods of Calculation of Powered and Passive Trajectory of Reactive and Rocket-Assisted Projectile" çalışmasında, mühimmatın atıcıdan çıkış süresini etkileyen bir dizi parametrenin optimize edilerek hareket denklemlerini çözmek için başlangıç koşullarının doğruluğunu artırmayı araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda, hangi koşulların uçuşun kinematik parametrelerini ne ölçüde etkilediğinin önceden tahmin edilebileceği değerlendirilmiştir [3].

2022 yılında Raza, A. ve arkadaşlarının "Range and Accuracy Improvement of Artillery Rocket Using Fixed Canards Trajectory Correction Fuze" çalışmasında, 122 mm sabit kanatlı roketlerin, sabit kanatlı yörünge düzeltme kanatçığı kullanılarak roket menzilini ve vurma noktası doğruluğunu artırmaya yönelik bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırma, güdümsüz roketlere düşük maliyetli güdüm yeteneği kazandırıldığında, roket menzilinin 32 km'den 60 km'ye çıkabileceğini ve CEP değerinin 14 kat azalabileceğini benzetim sonuçlarıyla göstermiştir [4].

2021 yılında Atygayev, T. ve arkadaşlarının "Development of a Hardware and Software Model of a Rocket Motion Correction System" çalışmasında, güdümsüz bir roketin hareket düzeltme denklemleri incelenmiştir. Roket uçuş menzili hesaplanırken, yörünge bozan parametreler ile yapılan hesaplamaların doğruluğu sağlamadığı ve bu durumun rüzgâr sapmalarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Çalışmalarında, roket sistemine sensörler ve elektromekanik kanatçıkların entegre edilmesiyle yörüngeyi bozan etkenlerin engellenebileceği değerlendirilmiştir [5].

Bu bölümde, dış balistik alanındaki tarihsel ve modern araştırmaların incelenmesi, mühimmatın ateşlendikten sonra izlediği yörüngeyi ve bu yörüngeye etki eden aerodinamik kuvvetleri anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. 19. yüzyılda başlayan ve İkinci Dünya Savaşı sonrasında bilgisayarların gelişmesiyle hız kazanan bu çalışmalar, günümüzde mühimmatın sürüklenme hesaplamalarını hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etme

yöntemlerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Bu literatür taramasında, tezin temel amacı olan helikopter silah sistemlerinin yapay zekâ ile entegrasyonu için gerekli olan balistik çözümlerin farklı yöntemlerle iyileştirilmesi ele alınmıştır.

2.2. Makine Öğrenmesi ve Rastgele Orman Algoritmasının Savunma Platformlarında Kullanımı

Zeki bir makine kavramının ele alındığı "Artificial Intelligent and Robotics" makalesi, yapay zekâ kavramını detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışmada yapay zekâ, makineleri mantık, akıl yürütme, planlama, öğrenme ve algılama gibi işlevleri yerine getirme kapasitesi kazandırmayı amaçlayan bir bilim dalı olarak tanımlamıştır [6].

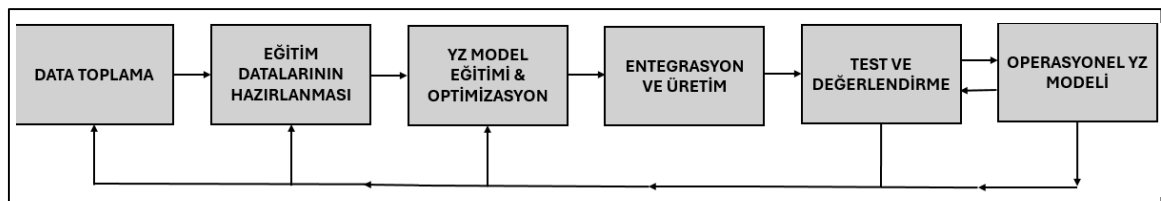
Yapay zekânın alt disiplinleri yıllar içinde gelişmekte ve çeşitlenmektedir. En bilinen disiplinler arasında makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, derin öğrenme, robotik, dil ve görüntü işleme yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada makine öğrenmesi yönteminden faydalanılmıştır.

Makine öğrenmesi (MÖ), geçmiş gözlemlere dayanarak doğru tahminler yapmayı öğrenmek amacıyla otomatik teknikler geliştirmektedir. Makine öğrenmesi yöntemiyle geçmişte çözülmeyen birçok sorunun çözülebileceğine dair yaklaşımlar bulunmaktadır [7].

MÖ ile çözümler, seçilmiş bir veri kümesini iyi bir şekilde temsil eden bir model oluşturularak elde edilir. Temelde, bilgisayarların öğrenmesine izin veren algoritmalar oluşturularak çözümler üretilir [8].

MÖ, bilgisayarlara öğrenme imkânı veren algoritmalar tasarlamaya odaklanır. Öğrenme kavramı, daha çok verilerdeki istatistiksel düzenlilikleri veya diğer modelleri bulma sürecini ifade etmektedir [9].

MÖ modellerinin nihai amacı, kabul edilebilir bir maliyetle, iyi bir performans sağlayan yapay zekâ (YZ) modelidir. Makine öğrenimi ile oluşturulan yapay zekâ modeli, hazır bulunan eğitim veri kümelerinin yapay zekâ algoritmasına verilmesiyle üretilir. Bir makine öğrenimi süreci Şekil 2.2’de özetlenmiştir [10].



Şekil 2.2. Makine öğrenimi geliştirme süreci

Karar ağacı yönteminin gelişmesi sonucunda, Rastgele Orman (Random Forest) algoritması ortaya çıkmıştır. 1995 yılında Tim Kam Ho, "Random Decision Forest" çalışmasında ilk rastgele karar orman algoritmasını geliştirmiştir [11].

Tim Kam HO'nun çalışmalarının ardından, Leo Breinman, 2001 yılında rastgele orman algoritmasını geliştirmiştir. 2001 yılında yayınladığı makalede, Rastgele Orman algoritmasını birden fazla ağaç tahmincisinin bir kombinasyonu olarak tanımlamaktadır. Rastgele Orman algoritmasının veriyi tekrarlayan bir şekilde alt gruplara ayırdığı ve bu ayırım aşamasında oluşan her dalın bir kuralı temsil ettiği belirtilmiştir [12].

Rastgele Orman algoritması hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanılan bir algoritma modelidir. Düşük sayıda veri kümesi ile yüksek doğruluk elde edilebilen çalışmalar yapılmıştır. Gi Wook Cha ve arkadaşlarının 2020 yılında yıkılan inşaatlardaki atık oluşumunu tahmin etmek üzerine yaptıkları çalışmalarında, Rastgele Orman algoritması ile gerçeğe en yakın sonuç elde edilmiştir. Düşük veri kümeleri için Rastgele Orman algoritmasının tatmin edici bir algoritma olduğunu belirttikleri çalışmada elde ettikleri sonuçlar R (Pearson korelasyon katsayısı) = 0.691-0.871 ve R^2 (determinasyon katsayısı) = 0.554-0.800 olup istikrarlı tahmin performansı gösterdiği belirtilmiştir [13].

Birçok farklı problem için tercih edilen Rastgele Orman algoritması, Pengcheng Xu ve arkadaşlarının 2023 yılında yaptığı çalışmada küçük veri paketlerinin makine öğrenmesi yöntemiyle malzeme tasarımı ve keşfinde kullanılmasının önemini incelemişlerdir. Çok sayıda veri ile düşük sayıda veri arasındaki farkları değerlendiren çalışma, ihtiyaç duyulan veri miktarının kümenin büyüklüğüne ve hedefin karmaşıklığına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğine değinmektedir. Küçük veriler için modelleme algoritmalarının performansının sadece veri miktarına ve kalitesine bağlı olmadığını, aynı zamanda modelleme algoritmasına da büyük ölçüde bağlı olduğunu belirten Pengcheng Xu, Rastgele Orman algoritmasının küçük veri kümeleri için kullanılabileceğini belirtmiştir [14].

Veri madenciliği ve makine öğrenme yaklaşımının eğitim alanında kullanılması ve bu algoritmalara dayalı olarak elde edilen sonuçların güvenilirlik ve geçerlik değerlerinin ne düzeyde olduğu Gökhan Aksu ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yaptıkları çalışmayla incelenmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan 8 farklı öğrenme yönteminden en iyi sonucu Rastgele Orman algoritmasıyla elde etmişlerdir. Farklı yöntemler yardımıyla elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, test edilen veri kümesinin en az %15 ve üzerinde tutulması gerektiği belirtilmiştir [15].

Yukarıda incelenen çalışmalar, makine öğrenmesi yöntemlerinin ve tez çalışmasında kullanılan Rastgele Orman algoritmasının kavramsal ve uygulamalı temellerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Aşağıda incelenen çalışmalar ise savunma sanayinde makine öğrenmesinin kullanımının verimliliği arttırarak, hızlı ve etkili karar alma süreçlerine katkıda bulunabileceğini ortaya koymaktadır.

Recep Benzer ve arkadaşları, 2020 yılında yaptıkları araştırmada, ülkelerin siyasi ve ekonomik gücünün belirleyicilerinden biri olan savunma sanayinde, dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli bir değişime, yeniliğe ve modernleşmeye ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Bunun sonucunda silahların verimliliğinin artırılması için yapay zekânın nasıl kullanılabileceğini incelemişlerdir. Yapay zekânın komuta kontrol sistemlerinde düşman faaliyetlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesinin karar alma süreçlerini kısaltabileceğini ve olası değişikliklerde anlık düzelticiler ile müdahale yapabileceğini belirtmişlerdir. Bu noktada hedefin tespiti, takibi ve tanımlanmasından başlayarak hedef önceliğinin belirlenmesi, hedef angajmanı ve hedefin değiştirilmesi gibi alternatifler için yapay zekânın uygulanabileceği belirtilmiştir [16].

ABD donanmasından emekli olan George Galdorisi ve Dr. Samuel J. Tangredi'nin 2021 yılında yaptıkları çalışmada, askeri sistemlere yapay zekânın entegre edilmesinin etkileri değerlendirilmiştir. ABD ordusu adına yapılan bu çalışmada, ordu silahlarını daha iyi hale getirmek ve potansiyel düşmanlara karşı üstünlük elde edebilmek için büyük veri, yapay zekâ ve makine öğrenmesinden proaktif olarak faydalanılması gerektiği belirtilmiştir. Bu faydanın, karar vermekle sorumlu olan kişilerin iş gücünü önemli ölçüde azaltacağını değerlendirmişlerdir. Böylece iyi hazırlanmış bir bilgi paketiyle komutanın kararını daha bilinçli ve tehditten daha hızlı almasıyla tehdide karşı avantaj elde edileceği belirtilmiştir [17].

Yapay zekânın son yıllardaki gelişiminin yeniliklere ve çığır açan gelişmelere yol açması sonucunda uzun süredir devam eden sorunların çözümünde kullanıldığını belirten Martin Hagström, otonom silah sistemleri gibi askeri sistemlerde de yapay zekânın kullanılmasının beklendiğini belirtmiştir. Otonom silah sistemlerinin gelişmiş sistemler olmasına rağmen, genellikle sınırlı bir tasarım alanı içinde belirli bir amaç ve sınırlı bir kullanım kapsamı için tasarlanmış sistemler olduğunu belirtmiştir [18].

1994 yılında L. Harrison ve arkadaşları, "Artificial Intelligence Application For Aircraft" çalışmasında yapay zekâ tabanlı ürünlerin geleneksel yazılımlardan daha üstün olduğunu ve daha optimize sistemler sağlayabileceğini değerlendirmiştir. Savaş pilotlarının

kararlarını ayrıntılı bir şekilde inceleyip tanımlayarak, yapay zekânın geleceğin savaş helikopterlerinde uygulanabilir olacağı belirtilmiştir [19].

Havacılık sektörünün önde gelen motor üreticilerinden Pratt&Whitney firması, PW206B3 tipi helikopter motorunun tahmine dayalı ve önleyici bakım faaliyetlerini optimize etmek için yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullandığını açıklamıştır [20].

Ralph Tillinghast, Michael Thomas Wright ve Myron Hohil'in makalesinde, yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesinin (MÖ) bütünleşmiş silah ve atış kontrol sistemlerinin bir parçası haline gelmesinin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Tam entegre bir atış kontrol sistemiyle, YZ ve MÖ'nün bilgiyi hızlı ve etkili bir biçimde işleme yeteneğinin, silah kullanıcısının yükünü hafifleterek hataları azaltabileceği değerlendirilmiştir [21].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Yapay zekâ ve Makine Öğrenmesi alanında savunma sistemlerine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar genel olarak roketlerin yörünge tahmini, menzil artırımı ve yörünge doğruluğunu artırma üzerine odaklanmıştır. Ancak, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu tez çalışmasında Cobra helikopterine ait veri kümesi kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleri ile roketlerin isabet noktalarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, makine öğrenmesi algoritmalarının, özellikle de Rastgele Orman algoritmasının, roketlerin isabet noktalarını belirlemede etkili olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, mevcut balistik hesaplamaların ötesine geçerek, pilotların görev süresinde daha hızlı ve doğru kararlar almasını sağlayarak görev başarısını arttırmayı hedeflemektedir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Helikopter Silah ve Görev Sistemleri

Helikopter silah ve görev sistemleri, pilotun iş yükünü azaltarak görevin başarıyla sonuçlanmasına katkıda bulunmak amacıyla entegre edilmiş sistemlerden oluşur. Bu sistemler, Şekil 3.1 de gösterildiği üzere hedefleme ve görüntüleme sistemi, kaska entegre edilebilen kumanda sistemi ve rüzgâr yönü ile hızını ölçebilen sistemleri içerir.



Şekil 3.1. Helikopter silah ve görev sistemleri

- 1: Cirit Füzesi Atıcısı
- 2: Keşif, Gözetleme ve Hedefleme Sistemi
- 3: Hava Veri Sistemi
- 4: 2.75 inç Roket Atıcısı
- 5: Karşı Tedbir Uygulama Sistemi
- 6: 20 mm 3 Namlulu Döner Top

3.1.1. Roket sistemi

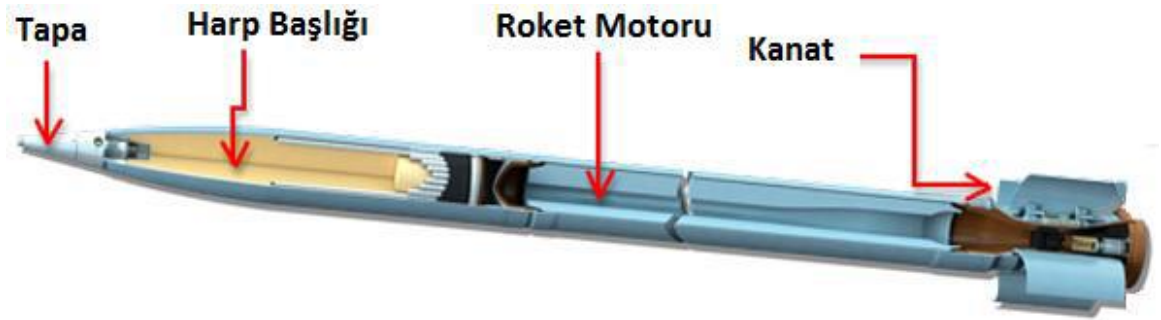
Roketler, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi dört temel bileşenden oluşur: tapa, harp başlığı, roket motoru ve kanat [22].

Tapa: Roket üzerindeki harp başlığını patlatan, fırlatılmadan önce güvenli bir şekilde depolanmasını, fırlatıldıktan sonra da istenilen anda patlatılmasını sağlayan mekanik ya da elektronik alt bileşendir.

Harp başlığı: Roketin hedefe ulaşmasından önce veya hedef üzerinde infilak ederek görevini yerine getiren, patlayıcı, kimyasal, biyolojik veya nükleer maddeler içeren bileşendir.

Roket motoru: Katı yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjiyi yanma olayı ile kinetik enerjiye dönüştüren ve bu şekilde itki elde edilmesini sağlayan bileşendir.

Kanat: Roketlerin fırlatıcıdan ayrıldıktan sonra hedefe isabetli bir şekilde ulaşmasını sağlayan bileşendir.



Şekil 3.2. Roketin Bölümleri

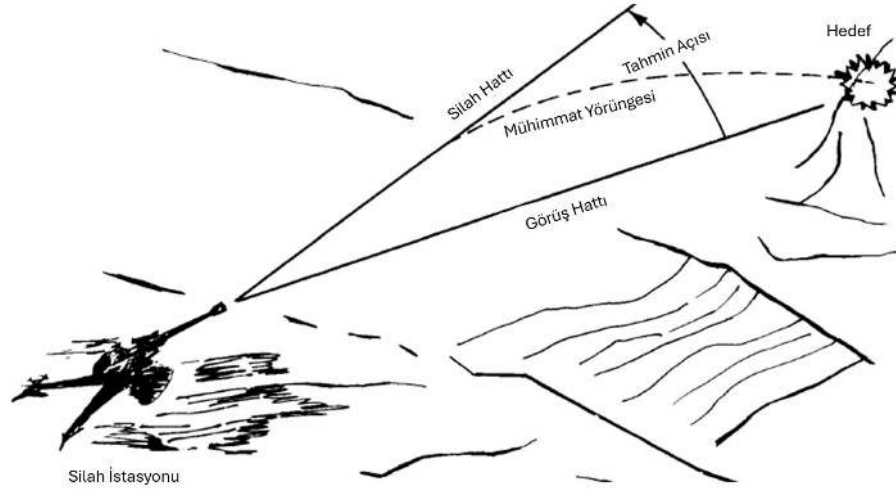
3.1.2. Helikopter roket sistemi

Roketler, Newton'un üçüncü yasası olan "etki-tepki" prensibi ile çalışan itki sistemleridir. Mekanik nişangah sistemleri ile yönlendirilirler. Helikopterlerde roketler, kanatlara sabitlenmiş fırlatıcılar aracılığıyla atılırlar.

Helikopter atış kontrol bilgisayarı roket yörünge hesabı için önceden belirlenmiş sabitler ve cebirsel denklemler içermektedir. Bu denklemler nişan alınan koordinat çerçevesinde roketin uçuş yörüngesini, roket birimi yönlendirme vektörünün yükselme ve sapma bileşenini ifade etmektedir [23].

3.2. Atış Kontrol Sistemi

Bütün atış kontrol sistemlerinin amacı silah istasyonundan atılan mühimmat ile hedefin vurulmasıdır. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi mühimmatın sapma açısı tahmin açısı olarak adlandırılır ve sonucunda yan ve yükseliş açıları belirlenerek atış yapılır [23].



Şekil 3.3. Atış senaryosu

Atış kontrol sistemleri atış öncesinde yapılan balistik çözümleri kapsamaktadır. [23]. Atış kontrolü uygun verilerin girişleriyle (rüzgâr yön ve hızı, menzil, irtifa, hava yoğunluğu) mühimmatın hedef ile kesişmesi için gerekli yan ve yükseliş bileşenleri hesaplanmaktadır. Sabit bir atıcı sistemine sahip hava araçlarında kesişme için platformun doğru konumlandırılması gerekir [23].

Silah istasyonundan ateşlenen bir mühimmatın izlediği yola balistik yörünge denir. Bu yörüngenin olabildiğince doğru hesaplaması, mühimmat ile hedefin kesişmesi için önemlidir. Gerekli tüm veriler bir araya getirildiğinde mühimmat yörüngesini oluşturmak, yan ve yükseliş açılarını hesaplamak için bir dizi diferansiyel denklemin çözülmesi gerekmektedir [23].

Helikopterlere ateş yeteneğinin kazandırılması, atış kontrol sistemlerinde yeni problemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu problemler helikopterlerin uçuş yeteneklerinin (ileri-geri, sağ-sola, yukarı-aşağı) yanı sıra rotor palalarının aşağı yönlü hava akışı, platform titreşimi, sınırlı ateşleme alanı gibi yeni değişkenlerdir [23]. Şekil 3.4 de gösterilen Cobra taarruz helikopterinin modernizasyonu ile roketler için gelişmiş bir atış kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bu modernizasyonla mesafe ölçebilen bir hedef gözetleme sistemi (TSU), rüzgâr yön ve hızını ölçebilen prob, roket balistik denklemlerini helikopterin koordinatları çerçevesinde ifade edebilen bir algoritma entegre edilmiştir [23].



Şekil 3.4. AH-1 Cobra helikopter

3.2.1. Balistik kavramı

Balistik, mühimmatın hareketi ve etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Balistik üç ana kategoriye ayrılır: iç balistik, dış balistik ve terminal balistik.

3.2.1.1. İç balistik

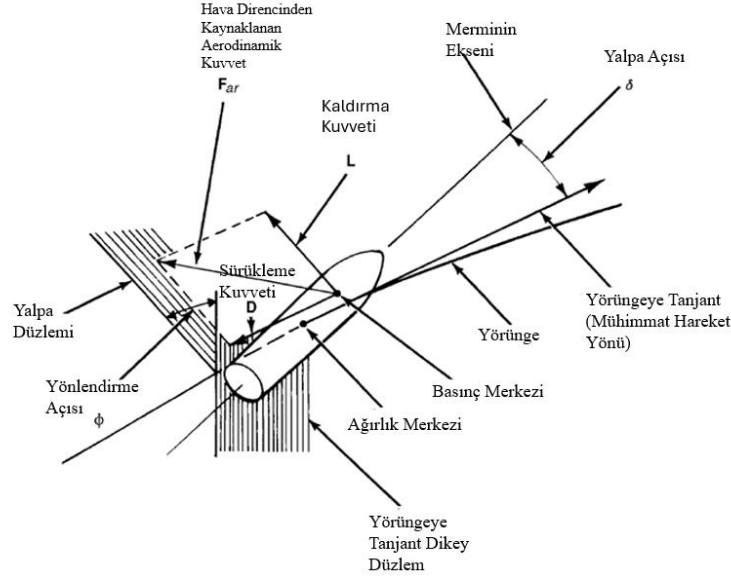
Mühimmatta itici yakıtın ateşlenmesinden tükenmesine kadar olan süreci inceleyen balistik bilim dalı İç Balistik olarak adlandırılmaktadır [24].

3.2.1.2. Terminal balistik

Mühimmatın infilak etmesinden veya hedefle buluşmasından sonraki süreci inceleyen bilim dalı Terminal Balistik olarak adlandırılmaktadır.

3.2.1.3. Dış balistik

Dış balistik, mühimmatın ateşlendikten sonra havada izlediği yörüngeyi inceleyen bilim dalıdır. Mühimmat üzerindeki aerodinamik kuvvetler ve momentler, sürtünme kuvvetleri ve basınç dağılımları bu bilim dalının konusudur, Şekil 3.5 [23].



Şekil 3.5. Uçan bir mühimmata etkiyen kuvvetler

3.2.2. İsabet ve analiz kavramı

Silah sistemleri, hedefe isabet etme yeteneğine sahip olacak şekilde tasarlanır. Atış kontrol sistemleri, hedef ile mühimmat yörüngesinin uzaydaki kesişimini hesaplar. Balistik hesaplamaların karmaşıklığı nedeniyle atış kontrol bilgisayarları, mühimmatın yörüngesini belirlemek için yaklaşık hesaplamalar yapmaktadır. İsabet Oranı, rastgele hata ve sistematik hata olarak iki ana faktöre bağlıdır [23].

3.2.3. Dairesel hata oranı (CEP)

Dairesel Hata Oranı (Circular Error Probable- CEP), askeri balistik biliminde silahların hassasiyetini ölçen bir metriktir. CEP değeri, atılan roketlerin %50'sinin belirli bir daire içerisinde isabet ettiği anlamına gelir. [25].

CEP değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [25].

Ortalama Sapmayı Hesaplamak için X yönünde:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i \quad (3.1)$$

Ortalama Sapmayı Hesaplamak için Y yönünde:

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i \quad (3.2)$$

Standart Sapmayı Hesaplamak için X yönünde:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (\bar{x} - x_i)^2} \quad (3.3)$$

Standart Sapmayı Hesaplamak için Y yönünde:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (\bar{y} - y_i)^2} \quad (3.4)$$

CEP değerini hesaplamak için:

$$\sigma = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \quad (3.5)$$

$$CEP = 1.17 \cdot \sigma$$

3.2.4. Rastgele hata

Rastgele Hata roketlerin hedefe isabetinde rastgele meydana gelen sapmaları ifade eder ve aşağıdaki şekilde hesaplanır [25]:

$$\sigma_R = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \quad (3.6)$$

$$\text{Rastgele Hata Değeri} = 1.17 \cdot \sigma_R$$

3.2.5. Sistemik hata

Sistemik Hata, her mühimmat için belirli bir miktarda ve yönde meydana gelen sapmalardır. Sistemik hata aşağıdaki şekilde hesaplanır [25]:

$$\sigma_s = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \quad (3.7)$$

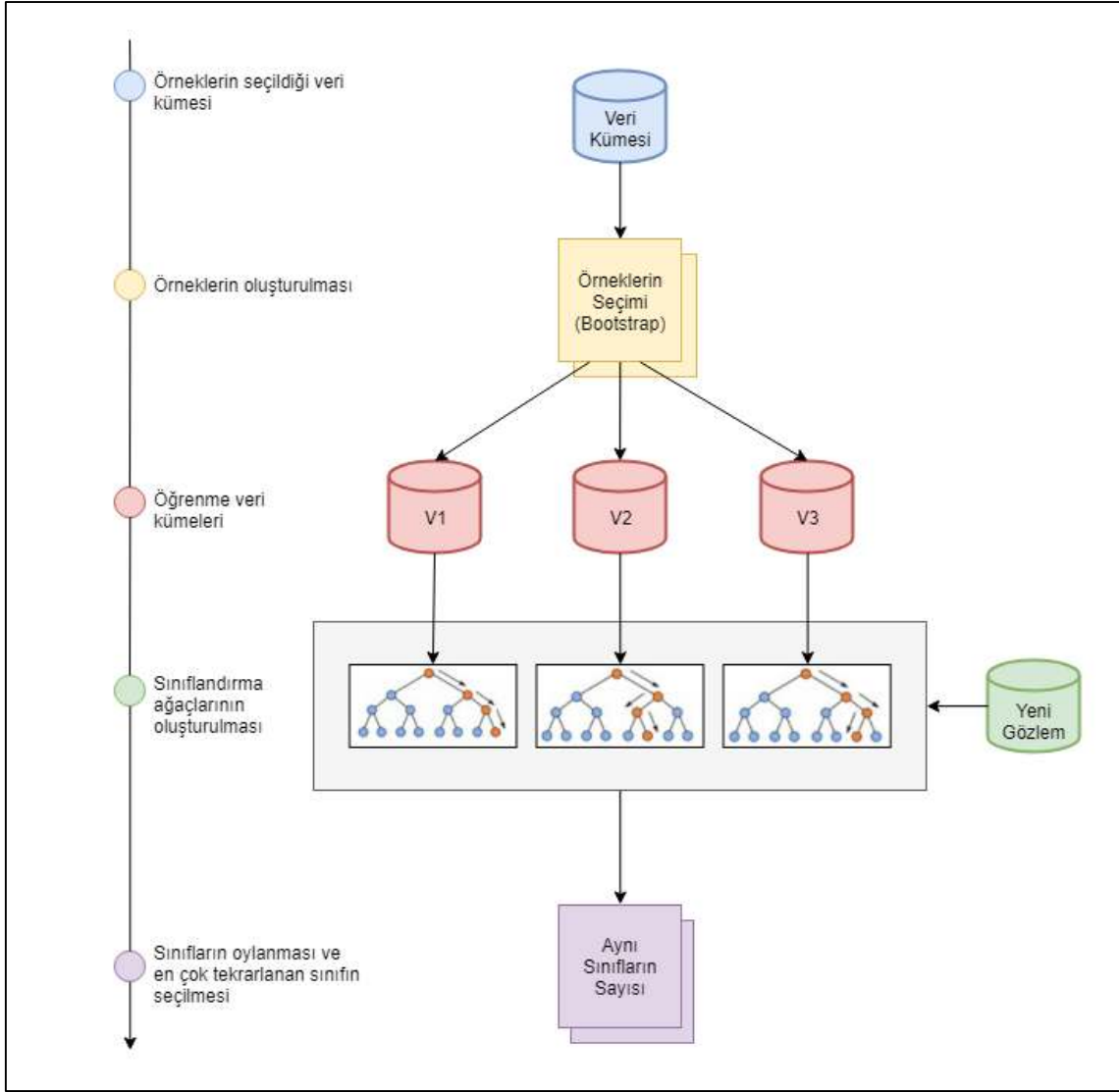
Rasgele hata ve Sistemik hata birbirinden bağımsızdır ve toplam standart sapma aşağıdaki şekilde hesaplanır [25]:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (3.8)$$

3.3. Makine Öğrenmesi Karar Ağaçları Algoritması

Karar Ağaçları Algoritması, veri madenciliği tekniklerinden biri olup önemli bir sınıflandırma yöntemidir. Karar Ağacı, kök düğümü, dalları ve yaprak düğümleri olan bir ağaç gibi sınıflandırma ve regresyon modelleri oluşturur [26]. Bu algoritma, verileri diğer yöntemlerin yapamayacağı şekilde sınıflandırma yeteneğine sahiptir ve doğrusal olmayan ilişkileri modellemek için oldukça güçlüdür. Temel amacı, eğitim verilerinden çıkarılan karar kurallarını öğrenerek hedef değişkenlerin sınıfını veya değerlerini tahmin edebilecek bir model oluşturmaktır [27].

1995 yılında Tim Kam Ho, ilk Rastgele Karar Orman Algoritmasını geliştirmiştir. 2001 yılında ise Leo Breinman, Rastgele Orman Algoritmasını geliştirmiştir [12]. Breinman, bu algoritmayı birden fazla ağaç tahmincisinin bir kombinasyonu olarak tanımlamıştır. Rastgele Orman Algoritması, eğitimde ve testlerde çok sayıda karar ağacı oluşturarak çalışan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bir ormanın birbirini tamamlayan ağaçlardan oluşması gibi, bu algoritma da çok sayıda karar ağacını kullanarak çalışır [28]. Diğer karar ağaçları yöntemlerinde karşılaşılan, eğitim verilerinin ezberlenerek aşırı uyum sağlanması ve bunun sonucunda yeni veriler üzerinde kötü performans göstermesi sorununu, Rastgele Orman algoritması birçok karar ağacının çıktılarını birleştirerek çözer. Rastgele Orman Algoritması, birden fazla karar ağacı oluşturarak daha doğru tahminlerde bulunmak için bu ağaçları birleştirir. Rastgele Orman Algoritmalarının akış şeması Şekil 3.6 da gösterilmiştir [29].



Şekil 3.6. RO algoritması çalışma prensibi

4. VERİ KÜMESİNİN İNCELENMESİ VE TEST SONUÇLARI

Makine öğrenmesinde algoritmalar, veri kümelerinden öğrenme yoluyla tahmin yapabilmektedir. Tahmin algoritmaları gelecekteki verileri tahmin edebilmek için veri kümelerindeki örüntüleri ve ilişkileri öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu öğrenmenin doğruluk yüzdesinin yüksek olması için doğru algoritma seçilmeli ve doğru ölçeklendirme yöntemiyle sonuçlar elde edilmelidir.

Bu tez çalışmasında 1974 yılında AH-1G Cobra helikopterinde yapılan “Analysis of Delivery Accuracy for AH-1G (COBRA) Launched 2.75 Inch Rockets From Tests Conducted” isimli dokümanda yer alan testin verileri kullanılmıştır [30].

Bu test AH-1G Cobra helikopterinden 1000 metre, 2000 metre ve 3000 metre hedef uzaklıklarına, sırasıyla 130, 150 ve 170 metre irtifada, standart MK40 tipi roket motoruna sahip, 2,75 inç XM230 test harp başlıklı roket mühimmatı kullanılarak icra edilmiştir [30].

Bu kontrollü testte 82 adet veri kümesi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında düşük boyutlu veri kümelerinde başarılı olabileceği çeşitli çalışmalar ile değerlendirilmiş olan Rastgele Orman Algoritması kullanılmıştır. Model performansını geliştirmek için veriler normalize edilmiştir. Nokta-Kütle yörünge denklemleri [31] kullanılarak MATLAB programı ile yörünge benzetimi yapılmış, benzetim ve rastgele orman algoritmasının karşılaştırmalı performans değerlendirmesi aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

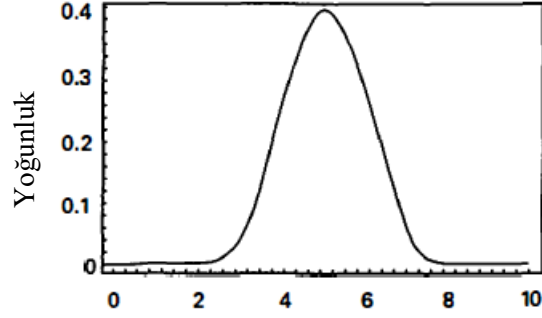
4.1. Atış Test Veri Kümesi

Silah istasyonlarından yapılan roket atışları geleneksel balistik algoritmalar kullanılarak yapılmaktadır. Yapılan atışların sonucunda isabet dağılımlarının davranışlarını anlayabilmek için analitik fonksiyonlardan faydalanılır. Eğer belirli bir kümede yapılan atışlar x_i ile gösterilirse ayırık ve sürekli dağılımlar arasındaki temel ilişki aşağıdaki gibidir.

$$x_i = f(x_i) dx \quad (4.1)$$

Burada $f(x)$ fonksiyonu rastgele değişkenin belirli bir değeri alma olasılığını verir. $F(x)$ birçok rastgele olay için aynı dağılım fonksiyonudur ve normal dağılım olarak isimlendirilir. Normal dağılım fonksiyonu Şekil 4.1 deki gibidir [25].

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. Normal dağılım fonksiyonu

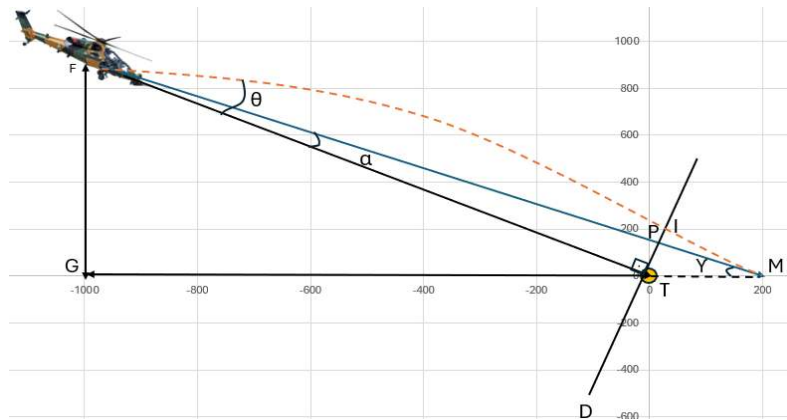
Atışlı test sonuçlarına ait helikopter saldırı geometrisi aşağıdaki Tablo 4.1 de gösterilmektedir [30].

Tablo 4.1. Atışlı testte helikopter saldırı koşulları

Nominal Hedef Mesafesi(m)	Ortalama Atım Koşulları		
	Menzil (m)	İrtifa (m)	Görüş Açısı (derece)
1000	1322	132,6	5,8
2000	2065	147,8	4,1
3000	2905	170,6	3,4

Helikopter saldırı koşullarına ait irtifa ve görüş açısı Normal-Dağılımı yapılarak her atış farklılaştırılmış ve doğru olduğu kabul edilmiştir. Bu dağılım ortalama değerden $\pm 1/100$ oranındadır. Bu değerler Tablo 4.5, Tablo 4.8 ve Tablo 4.10’da gösterilmektedir. Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te ise sapma açıları gösterilmiştir [30].

İsabet noktaları, yörünge dönüşüm denklemlerinden faydalanarak hesaplanmıştır, Şekil 4.2 [30].



Şekil 4.2. Açı hatasının geometrik yörünge dönüşümü

F =Silah İstasyonu

$|FG|$ = İrtifa, m

T = Hedef (0,0)

$|GT|$ = Hedefe Yatay Mesafe, m

$|TM|$ = Yatayda Sapma Mesafesi, m

$|FT|$ = Menzil, m

γ = Görüş Açısı, derece

α = Sapma açısı(dikey), derece

β =Sapma açısı (yatay), derece

θ = $|TM|$ karşılık gelen yörünge hatası, derece

$|TP|$ = Dikeyde Sapma Mesafesi, m

Tablo 4.2. Nominal 1000 m sapma açıları

1000 m	α (derece)	β (derece)	1000 m	α (derece)	β (derece)	1000 m	α (derece)	β (derece)
1	0.158	-0.563	11	0.084	0.575	21	-0.167	0.426
2	0.136	0.302	12	0.065	-0.074	22	-0.309	0.570
3	0.407	-0.656	13	-0.700	0.681	23	0.530	0.974
4	0.381	-0.262	14	0.356	0.817	24	0.651	1.459
5	-0.145	-0.560	15	-0.861	0.201	25	0.208	0.589
6	0.034	-0.603	16	0.135	0.110	26	-0.687	-0.318
7	-0.403	1.148	17	-0.349	0.706	27	0.775	0.818
8	-0.052	0.327	18	0.037	-0.487	28	-0.237	-0.465
9	-0.293	0.350	19	0.461	0.772			
10	0.236	-0.110	20	0.408	1.166			

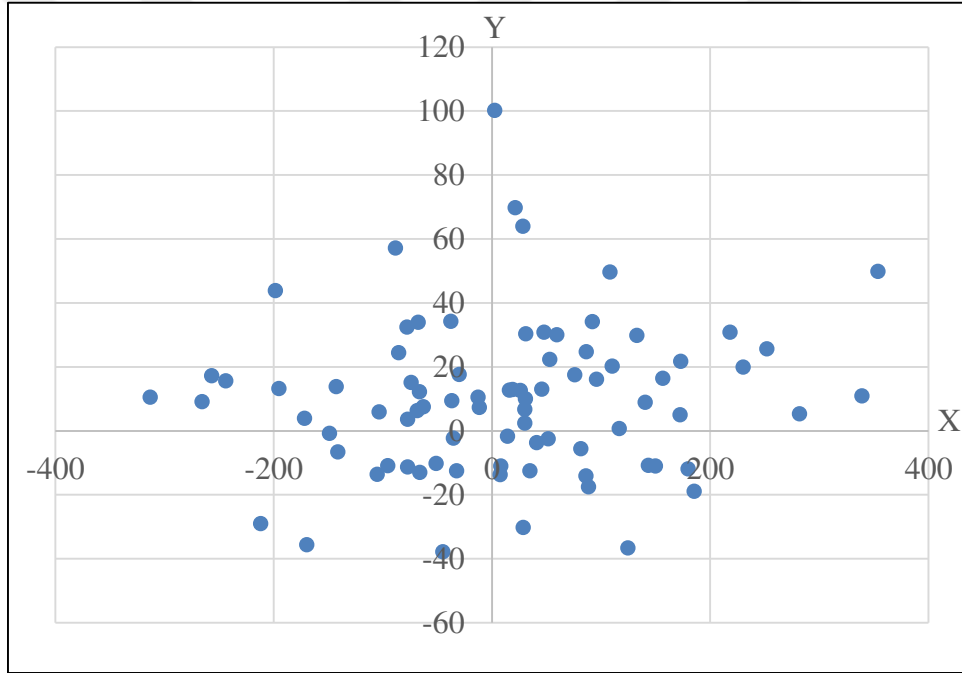
Tablo 4.3. Nominal 2000 m Sapma Açılıarı

2000 m	α (derece)	β (derece)	2000 m	α (derece)	β (derece)	2000 m	α (derece)	β (derece)
1	-0.200	-0.315	11	-0.071	-0.063	21	0.120	0.857
2	-0.215	0.174	12	-0.223	-0.401	22	0.568	0.813
3	0.403	-0.575	13	-0.318	-0.023	23	0.489	0.965
4	0.513	0.624	14	0.062	0.858	24	0.188	0.990
5	0.186	-0.510	15	-0.550	0.497	25	-0.060	0.495
6	0.260	-1.080	16	0.298	0.268	26	-0.183	1.659
7	-0.076	0.970	17	-0.583	0.547	27	0.097	0.875
8	0.083	-0.104	18	0.062	0.284			
9	0.032	0.357	19	0.305	-0.321			
10	0.107	0.631	20	0.806	0.366			

Tablo 4.4 Nominal 3000 m sapma açıları

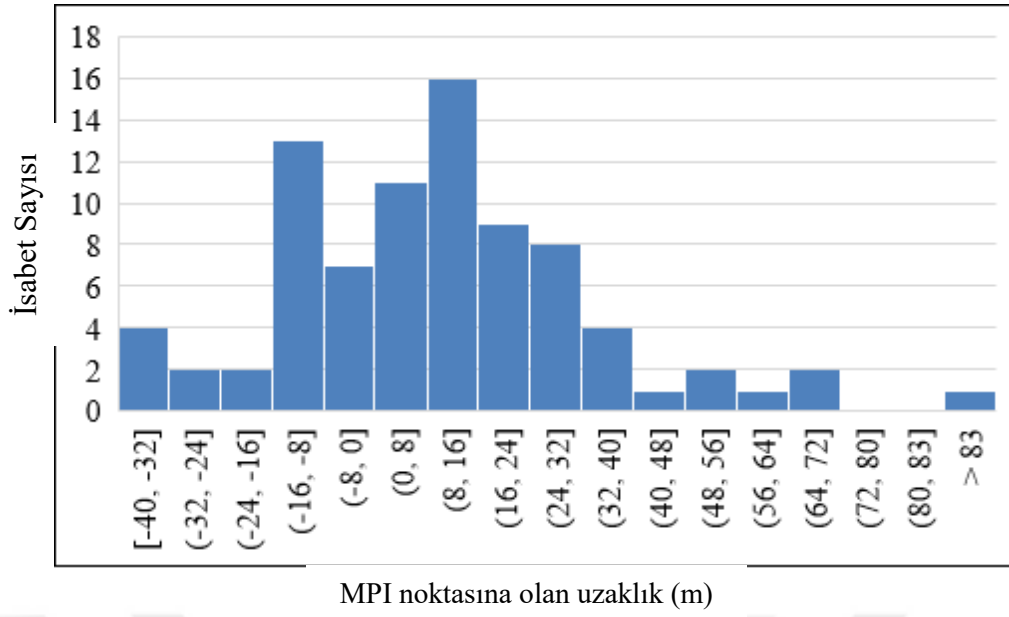
3000 m	α (derece)	β (derece)	3000 m	α (derece)	β (derece)	3000 m	α (derece)	β (derece)
1	0.217	0.107	11	-0.055	-0.768	21	0.470	1.131
2	-0.246	0.285	12	-0.015	0.212	22	0.034	1.290
3	0.143	0.017	13	0.031	0.256	23	-0.251	0.939
4	0.190	-0.232	14	-0.346	0.201	24	-0.270	-0.624
5	0.225	-0.253	15	0.215	0.461	25	-0.214	-0.754
6	0.034	-0.603	16	0.133	1.031	26	-0.094	0.665
7	0.369	0.120	17	-0.082	0.695	27	-0.094	0.074
8	-0.094	-0.231	18	0.025	1.402			
9	-0.083	0.131	19	0.003	2.000			
10	-0.080	-0.263	20	-0.415	0.236			

Şekil 4.3'te gerçek atış testine ait isabet noktaları dağılımı gösterilmektedir.

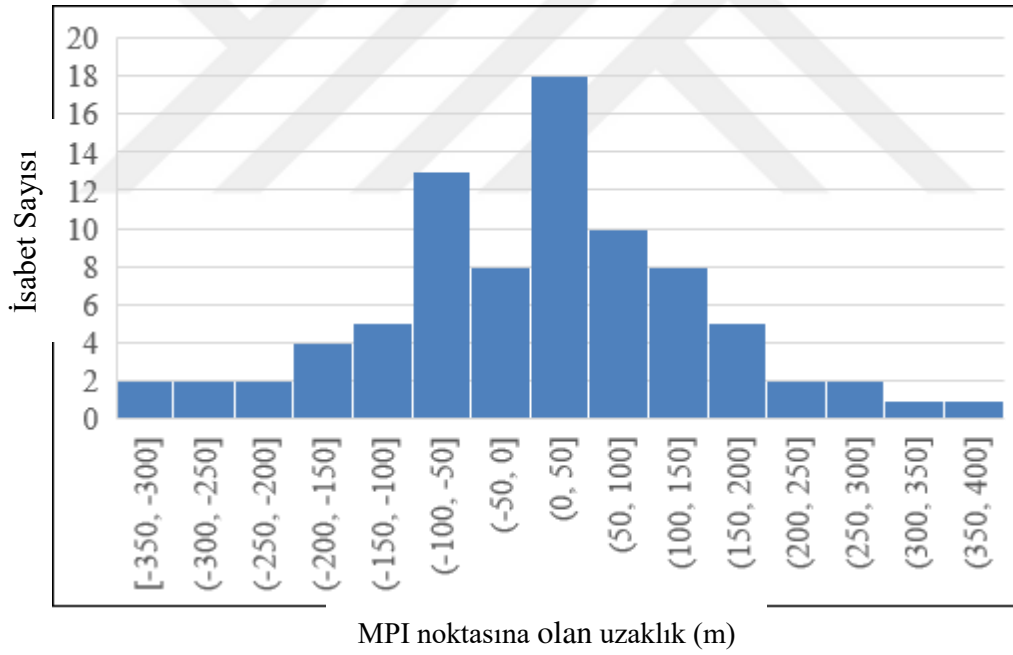


Şekil 4.3. Test isabet noktaları dağılımı

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gerçek teste ait yatay ve dikey ekseninde ortalama isabet noktasına (MPI) göre isabet noktaları dağılım grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Test dikey yönde (Y eksen) isabet sayısı



Şekil 4.5. Test yatay yönde (X eksen) isabet sayısı

4.1.1. Nominal 1000 metre için veri kümesi ve hesaplamalar

Teste ait isabet noktaları ortalama menzili 1243,8 metre olarak hesaplanmıştır. Nominal 1000 metre için sapma mesafeleri Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Nominal 1000 metre test sonuçları

No	Atış Koşulları				Sapma Mesafesi	
	Menzil (m)	LOS (derece)	İrtifa (m)	Yatay Mesafe (m)	X sapma (m)	Y sapma (m)
1	1279,202	5,784	132.100	1272,329	34,887	-12,491
2	1283,935	5,840	133.010	1276,956	29,975	6,732
3	1232,867	5,825	133.085	1225,582	86,219	-14,042
4	1227,866	5,760	132.557	1220,820	81,311	-5,573
5	1284,621	5,745	132.584	1277,838	-32,379	-12,483
6	1307,089	5,834	133.239	1300,239	7,573	-13,685
7	1227,020	5,8	132.588	1219,836	-85,468	24,434
8	1301,180	5,836	133.588	1294,314	-11,556	7,395
9	1244,506	5,787	131.343	1237,505	-62,999	7,557
10	1260,849	5,8	132.588	1253,859	51,445	-2,400
11	1299,394	5,824	133.790	1292,491	18,855	12,981
12	1287,643	5,857	133.106	1280,770	14,243	-1,660
13	1174,167	5,766	131.907	1166,698	-142,856	13,860
14	1236,514	5,8	132.588	1229,386	75,918	17,526
15	1144,877	5,748	131.636	1137,269	-171,681	3,986
16	1282,075	5,752	132.296	1275,314	30,140	2,441
17	1239,844	5,836	132.801	1232,627	-74,209	15,188
18	1299,301	5,851	133.141	1292,446	8,132	-10,976
19	1210,894	5,834	133.335	1203,592	95,899	16,225
20	1226,135	5,8	132.588	1218,945	86,359	24,799
21	1275,415	5,8	132.588	1268,505	-36,799	9,427
22	1245,814	5,8	132.588	1238,739	-66,565	12,320
23	1202,584	5,8	132.588	1195,253	110,051	20,326
24	1179,770	5,794	131.299	1172,315	132,740	29,850
25	1274,686	5,817	132.899	1267,645	45,683	13,030
26	1180,011	5,753	131.763	1172,564	-141,219	-6,504
27	1162,969	5,766	131.485	1155,399	156,469	16,505
28	1256,307	5,784	133.378	1249,245	-51,147	-10,143

✓ Ortalama Menzil: 1243,8 m

✓ Ortalama İrtifa: 132,71 m

✓ Ortalama LOS: 5,8°

Denklem (3.1) ve (3.2)'de gösterildiği gibi X ve Y yönündeki ortalama sapmayı hesaplamak için denklem (4.1) ve (4.2) türetilmiştir. Sonuçlar denklem (4.8) ve (4.9)'da gösterilmiştir.

$$MPI_x = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{28})}{28} \quad (4.1)$$

$$MPI_y = \frac{(Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{28})}{28} \quad (4.2)$$

X ve Y yönündeki standart sapmayı hesaplamak için denklem (3.3) ve (3.4) kullanılmıştır. Rastgele hata değerini hesaplamak için denklem (3.6) kullanılarak denklem (4.3) türetilmiştir.

$$\sigma_R = \text{ORTALAMA}(\text{STDSAPMA.P}(X_1: X_{28}); \text{STDSAPMA.P}(Y_1: Y_{28})) \quad (4.3)$$

Rastgele CEP (CEP_R) ve Sistemik CEP (CEP_S) değerini hesaplamak için denklem (3.5) kullanılarak denklem (4.4) ve (4.7) türetilmiştir. Sonuçlar denklem (4.11) ve (4.14)'te gösterilmiştir. Sistemik hata değerini (σ_S) hesaplamak için denklem (3.7) kullanılarak denklem (4.5) türetilmiştir ve sonuç denklem (4.12)'de gösterilmiştir.

$$CEP_R = \sigma_R \cdot 1,17 \quad (4.4)$$

$$\sigma_S = \sqrt{(MPI_X)^2 + (MPI_Y)^2} \quad (4.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (4.6)$$

$$CEP_S = \sigma_S \cdot 1,17 \quad (4.7)$$

Toplam standart sapmayı hesaplamak için denklem (3.8) kullanılarak denklem (4.6) türetilmiş ve sonuç denklem (4.13)'te gösterilmiştir.

$$MPI_{X(1000)} = 6,751 \text{ m} \quad (4.8)$$

$$MPI_{Y(1000)} = 5,879 \text{ m} \quad (4.9)$$

$$\sigma_{R(1000)} = 48,012 \text{ m} \quad (4.10)$$

$$CEP_{(1000)} = 56,174 \text{ m (rastgele)} \quad (4.11)$$

$$\sigma_{S(1000)} = 8,952 \text{ m} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{(1000)} = 48,839 \text{ m} \quad (4.13)$$

$$CEP_{(1000)} = 57,142 \text{ m (sistemik)} \quad (4.14)$$

Elde edilen sonuçlar Tablo 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.6. Nominal 1000 m isabet sonuçları

	X(m)	Y(m)
MPI	6,751	5,879
Rastgele Hata	48,012	
CEP Rastgele	56,174	
Sistematiik Hata	8,952	
Sistematiik+ Rastgele hata	48,839	
CEP Sistematiik	57,142	

Rastgele ve sistematiik CEP değeri aşığıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Rastgele CEP değeri hesaplama:

$$CEP_{(x)} = MPI_{X(1000)} + \sin a \cdot CEP_{(1000)} \quad (4.15)$$

$$CEP_{(x)} = 6,751 + \sin 0 \cdot 56,174 \quad (4.16)$$

$$CEP_{(x)} = 6,75 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$CEP_{(y)} = MPI_{Y(1000)} + \cos a \cdot CEP_{(1000)} \quad (4.18)$$

$$CEP_{(y)} = 5,879 + \cos 0 \cdot 56,174 \quad (4.19)$$

$$CEP_{(y)} = 62,053 \text{ m} \quad (4.20)$$

Sistematiik Cep değeri hesaplama:

$$CEP_{(x)} = MPI_{X(1000)} + \sin a \cdot CEP_{(1000)} \quad (4.21)$$

$$CEP_{(x)} = 6,751 + \sin 0 \cdot 57,142 \quad (4.22)$$

$$CEP_{(x)} = 6,751 \text{ m} \quad (4.23)$$

$$CEP_{(y)} = MPI_{Y(1000)} + \cos a \cdot CEP_{(1000)} \quad (4.24)$$

$$CEP_{(y)} = 5,879 + \cos 0 \cdot 57,142 \quad (4.25)$$

$$CEP_{(y)} = 63,021 \text{ m} \quad (4.26)$$

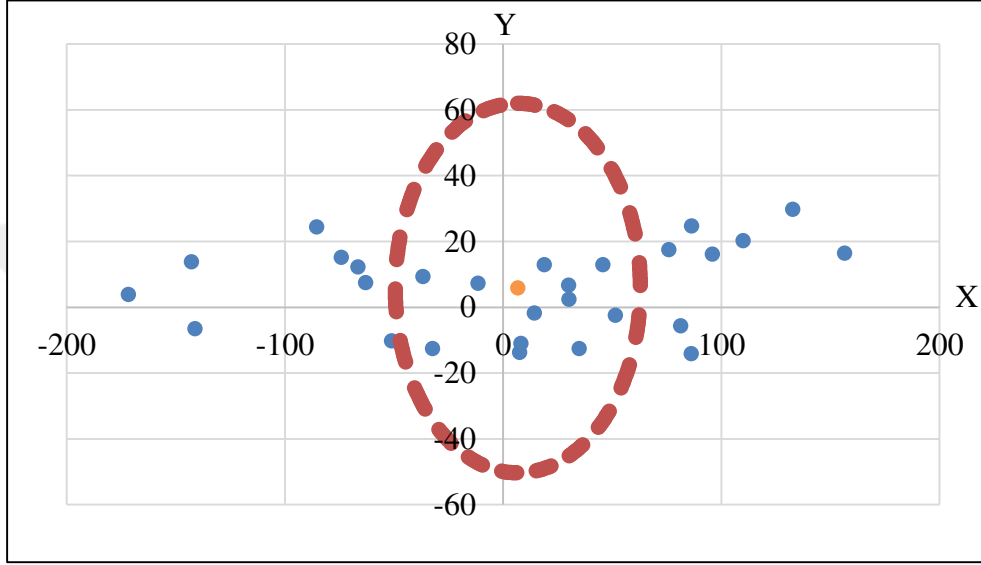
Nominal 1000 m için CEP değeri noktaları Tablo 4.7’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7. Nominal 1000 m CEP tablosu

Açı (derece)	CEP Rastgele		CEP Sistematiik	
a	$CEP_{(x)}$	$CEP_{(y)}$	$CEP_{(x)}$	$CEP_{(y)}$
0	6,75	62,053	6,751	63,021
2	57,83	-17,497	58,710	-17,9

4	-35,761	-30,838	-36,493	-31,471
6	-8,944	59,816	-9,214	60,745
.				
.				
.				
356	-40,518	-24,47	-41,333	-24,993
358	-1,174	61,491	-1,31	62,45

Şekil 4.6’da nominal 1000 m için CEP gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Nominal 1000 m CEP

- Rastgele CEP
- İsabet Noktaları
- MPI

4.1.2. Nominal 2000 metre için veri kümesi ve hesaplamalar

Teste ait isabet noktası ortalama menzili 1947,8 metre olarak hesaplanmıştır. Nominal 2000 metre için sapma mesafeleri Tablo 4.8’de gösterilmektedir.

Tablo 4.8. Nominal 2000 metre test sonuçları

No	Atış Koşulları				Sapma Mesafesi	
	Menzil (m)	LOS (derece)	İrtifa (m)	Yatay Mesafe (m)	X sapma (m)	Y sapma (m)
1	1970,339	4,12	148.413	1964,74	-95,562	-10,801
2	1960,831	4,072	147.783	1955,343	-103,53	5,95
3	1882,757	4,1	147.828	1876,945	185,361	-18,832
4	1838,083	4,1	147.828	1832,129	230,177	19,966
5	1968,310	4,132	148.488	1962,724	88,5	-17,477

No	Atış Koşulları				Sapma Mesafesi	
	Menzil (m)	LOS (derece)	İrtifa (m)	Yatay Mesafe (m)	X sapma (m)	Y sapma (m)
6	1946,545	4,062	147.348	1941,009	124,637	-36,591
7	2031,319	4,083	146.415	2025,968	-37,804	34,313
8	2034,776	4,106	148.435	2029,339	41,003	-3,685
9	2051,582	4,1	147.828	2046,249	16,057	12,756
10	2033,035	4,103	149.122	2027,548	52,992	22,334
11	2023,852	4,092	147.151	2018,511	-35,359	-2,219
12	1945,788	4,138	148.557	1940,153	-105,091	-13,56
13	1919,121	4,1	147.828	1913,419	-148,887	-0,7513
14	2034,797	4,067	147.389	2029,515	30,9809	30,387
15	1818,942	4,099	146.514	1812,957	-244,05	15,716
16	1927,695	4,1	147.828	1922,018	140,288	9,0007
17	1815,214	4,127	149.082	1809,081	-256,744	17,263
18	2036,912	4,1	147.828	2031,540	30,766	10,072
19	1924,746	4,1	147.828	1919,061	143,245	-10,739
20	1718,622	4,087	146.958	1712,359	338,981	10,927
21	2019,050	4,070	147.623	2013,653	59,478	30,11
22	1816,424	4,1	147.828	1810,399	251,907	25,68
23	1837,842	4,130	148.937	1831,871	217,937	30,846
24	1982,254	4,062	147.648	1976,801	92,022	34,16
25	2046,25	4,102	148.602	2040,852	-30,046	17,632
26	1979,496	4,1	147.828	1973,969	-88,337	57,185
27	2025,454	4,119	148.952	2019,973	47,612	30,839

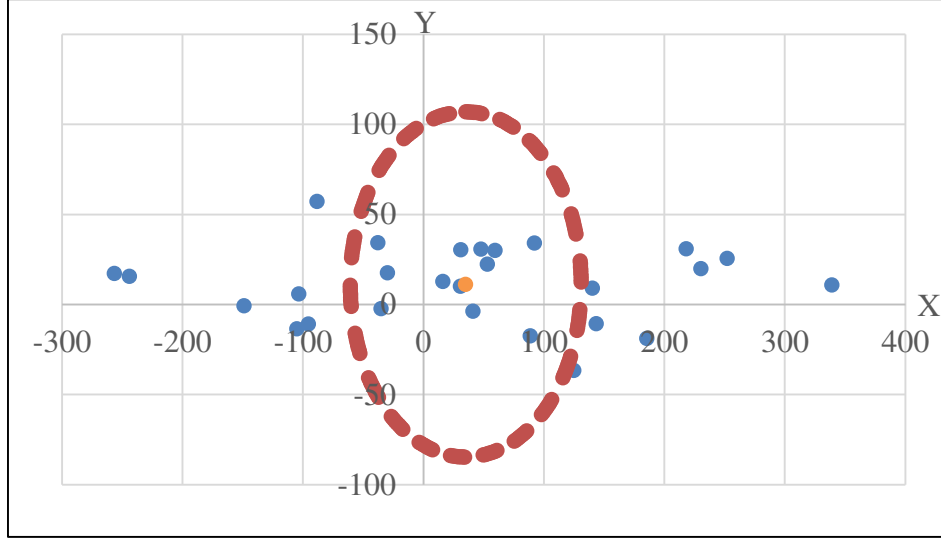
- ✓ Ortalama Menzil: 1947,8 m
- ✓ Ortalama İrtifa: 147,78 m
- ✓ Ortalama LOS: 4,1°

Elde edilen sonuçlar Tablo 4.9 da özetlenmiştir.

Tablo 4.9. Nominal 2000 m atış sonuçları

	X(m)	Y(m)
MPI	35,056	11,129
Rastgele Hata	81,901	
CEP Rastgele	95,824	
Sistematik Hata	36,78	
Sistematik+ Rastgele hata	89,781	
CEP Sistematik	105,044	

Şekil 4.7’de nominal 2000 m için CEP gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Nominal 2000 m CEP

- Rastgele CEP
- İsabet Noktaları
- MPI

4.1.3. Nominal 3000 metre için veri kümesi ve hesaplama

Test ait ortalama menzili 1947,8 metre olarak hesaplanmıştır. Nominal 3000 metre için sapma mesafeleri Tablo 4.10’da gösterilmektedir.

Tablo 4.10. Nominal 3000 metre test sonuçları

No	Atış Koşulları				Sapma Mesafesi	
	Menzil (m)	LOS (derece)	İrtifa (m)	Yatay Mesafe (m)	X sapma (m)	Y sapma (m)
1	2713,345	3,414	171.708	2707,897	172,177	5,051
2	2680,148	3,378	169.967	2674,786	-195,099	13,313
3	2761,707	3,4	170.688	2756,428	116,577	0,811
4	2708,253	3,433	171.706	2702,839	149,596	-10,932
5	2694,273	3,378	170.556	2688,947	179,537	-11,879
6	2867,196	3,403	172.210	2862,039	28,4509	-30,122
7	2591,576	3,397	169.325	2585,979	281,656	5,407
8	2808,756	3,411	171.386	2803,502	-77,391	-11,284
9	2809,82	3,4	170.688	2804,631	-68,374	6,387
10	2823,136	3,407	172.223	2817,91	-66,224	-12,919
11	2825,005	3,417	172.341	2819,819	-45,126	-37,79
12	2865,287	3,4	170.688	2860,199	-12,806	10,586
13	2845,974	3,386	169.005	2840,913	26,0143	12,69
14	2616,108	3,409	171.219	2610,491	-265,60	9,1493
15	2707,42	3,367	169.200	2702,129	172,851	21,753

No	Atış Koşulları				Sapma Mesafesi	
	Menzil (m)	LOS (derece)	İrtifa (m)	Yatay Mesafe (m)	X sapma (m)	Y sapma (m)
16	2767,921	3,412	170.795	2762,622	108,196	49,719
17	2805,89	3,386	169.878	2800,753	-67,626	33,959
18	2856,471	3,414	170.961	2851,326	21,19	69,772
19	2875,695	3,4	170.688	2870,625	2,38	100,22
20	2565,675	3,4	170.688	2559,991	-313,014	10,555
21	2535,05	3,368	169.470	2529,365	353,726	49,918
22	2849,816	3,4	170.688	2844,7	28,305	64,049
23	2680,129	3,4	170.688	2674,688	-198,317	43,855
24	2666,592	3,4	170.688	2661,123	-211,882	-29,0004
25	2706,729	3,411	171.007	2701,313	-169,689	-35,538
26	2800,877	3,385	169.518	2795,713	-77,753	32,471
27	2800,784	3,4	170.688	2795,578	-77,427	3,622

✓ Ortalama Menzil: 2749,25 m

✓ Ortalama İrtifa: 170,67 m

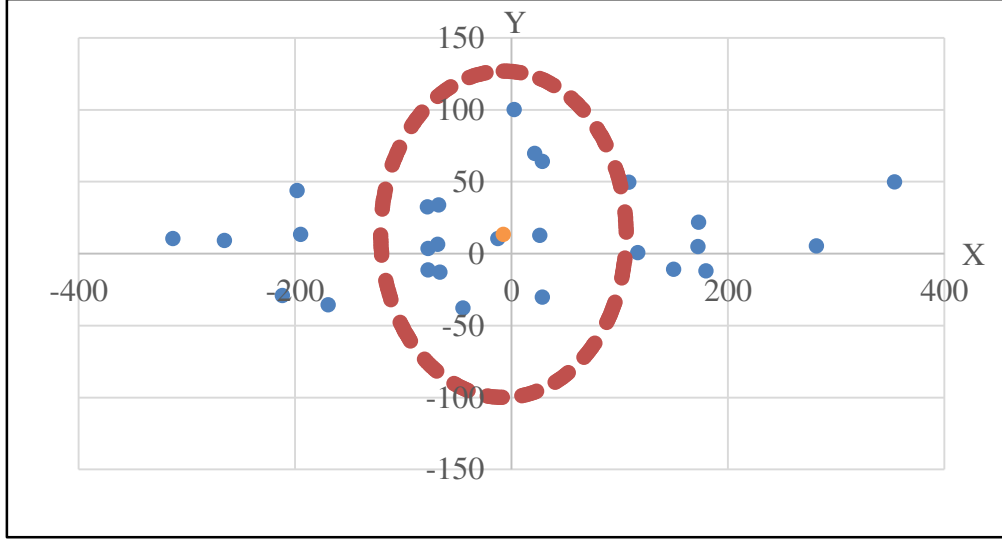
✓ Ortalama LOS: 3,4°

Elde edilen sonuçlar Tablo 4.11 de özetlenmiştir.

Tablo 4.11. Nominal 3000 m atış sonuçları

	X(m)	Y(m)
MPI	-7,617	13,475
Rastgele Hata	96,93	
CEP Rastgele	113,409	
Sistematik Hata	15,475	
Sistematik+ Rastgele hata	98,159	
CEP Sistematik	114,846	

Şekil 4.8’de nominal 3000 m için CEP gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Nominal 3000 m CEP

- Rastgele CEP
- İsabet Noktaları
- MPI

4.2. Benzetim ile Gerçek Test Sonuçları Karşılaştırma ve Değerlendirme

Başlangıç koşulları ve fiziksel parametreler dikkate alındığında, bir roketin uçuşunun yörüngesi, itme, sürüklenme, kütle değişimi ve yerçekimi etkilerini içerecek şekilde bir benzetim yazılımı oluşturulmuştur. Bu benzetim yazılımı MATLAB R2021a kullanarak hazırlanmıştır.

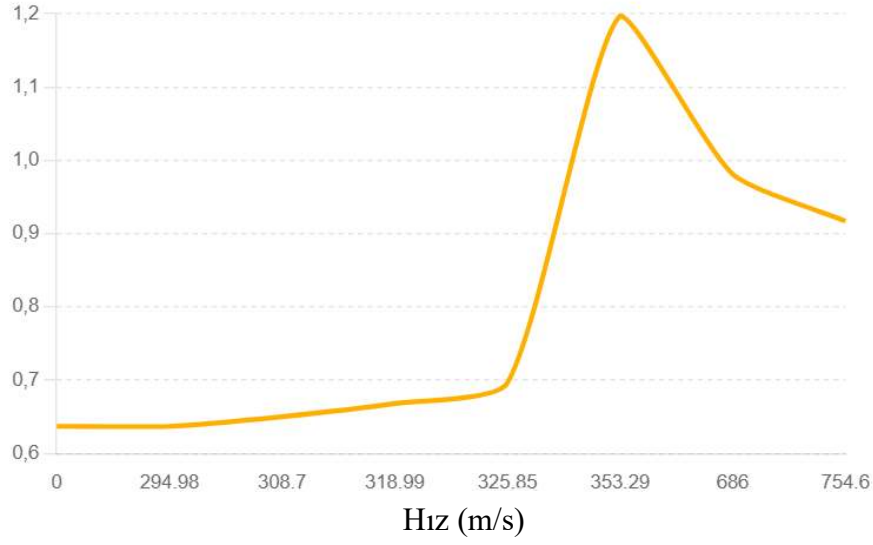
Roketin sürüklenme katsayısı (C_d) (4.27) numaralı denklem kullanılarak dinamik model için girdi olarak kullanılmış ve roketin sürüklenme kuvveti (F_d) (4.28) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (4.27)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d A \quad (4.28)$$

MK40 tipi roket motoruna ait sürüklenme katsayısı- hız grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir [32].

C_d - Sürüklemeye Katsayısı



Şekil 4.9. MK40 sürüklemeye katsayısı

Tablo 4.12’de verilen atış koşulları altında Tablo 4.14’te verilen sonuçlar elde edilmiştir [33, 34].

Tablo 4.12. Atış koşulları

Alan (m^2)	Hava Yoğunluğu (Kg/m^3)	Roket ağırlığı (Kg)	Yakıt ağırlığı (Kg)	Yanma Süresi (s)	$\dot{m}$ (Kg/s)
0,00383	1,150	10,215	2,655	1,62	1.648

Nominal 1000 metre için sapma olmaksızın benzetim atım koşulları ve isabet noktaları Tablo 4.13’te gösterilmektedir.

Tablo 4.13. Nominal 1000 metre için atım koşulları

Yatay Menzil (m)	İrtifa (m)	LOS (derece)	Sapma Mesafesi (m)
1235	132	8,48	0

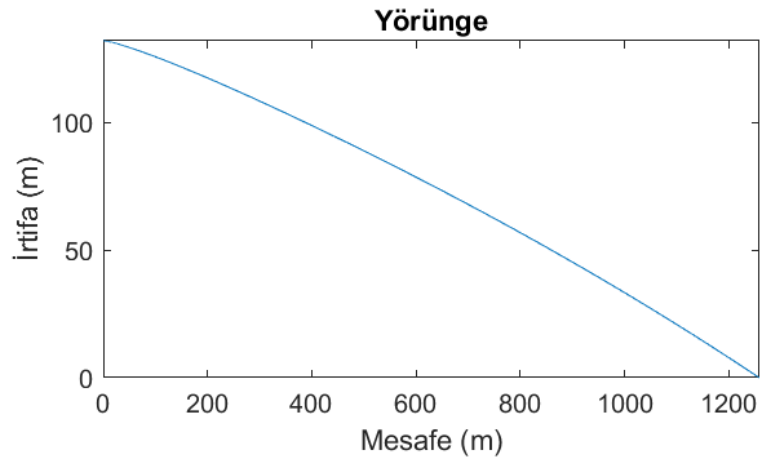
Tablo 4.2’de verilen sapma mesafeleri referans alınarak Nominal 1000 metre için elde edilen sapma mesafeleri Tablo 4.14’te gösterilmektedir.

Tablo 4.14. Nominal 1000 m benzetim atış sonuçları

No	Atım Koşulları			Sapma Mesafesi (MPI)	
	İrtifa (m)	Sapma Açısı (X) (derece)	Sapma Açısı (Y) (derece)	Sapma Mesafesi (X) (m)	Sapma Mesafesi (Y) (m)
1	132,100	0,1575	-0,563	23,280	-12,354

No	Atım Koşulları			Sapma Mesafesi (MPI)	
	İrtifa (m)	Sapma Açısı (X) (derece)	Sapma Açısı (Y) (derece)	Sapma Mesafesi (X) (m)	Sapma Mesafesi (Y) (m)
2	133,010	0,1361	0,302	26,100	6,649
3	133,085	0,4067	-0,656	71,840	-14,973
4	132,557	0,3808	-0,262	63,750	-5,929
5	132,584	-0,1446	-0,560	-21,180	-11,857
6	133,239	0,0338	-0,603	11,640	-13,121
7	132,588	-0,4033	1,148	-59,940	23,537
8	133,588	-0,0518	0,327	0,420	7,059
9	131,343	-0,2925	0,350	-52,640	7,220
10	132,588	0,2363	-0,110	39,680	-2,440
11	133,790	0,0844	0,575	22,350	12,628
12	133,106	0,0647	-0,074	15,370	-1,620
13	131,907	-0,7003	0,681	-107,330	13,396
14	132,588	0,3555	0,817	59,680	18,457
15	131,636	-0,8606	0,201	-130,680	3,870
16	132,296	0,1350	0,110	19,570	2,402
17	132,801	-0,3488	0,706	-50,640	14,593
18	133,141	0,0366	-0,487	10,000	-10,573
19	133,335	0,4613	0,772	83,140	17,769
20	132,588	0,4078	1,166	68,620	26,522
21	132,588	-0,1671	0,426	-24,530	8,996
22	132,588	-0,3094	0,570	-46,400	11,821
23	132,588	0,5299	0,974	89,640	22,526
24	131,299	0,6508	1,459	101,370	34,027
25	132,899	0,2081	0,589	37,200	13,077
26	131,763	-0,6874	-0,318	-106,460	-6,260
27	131,485	0,7746	0,818	124,930	19,427
28	133,378	-0,2374	-0,465	-29,630	-9,787

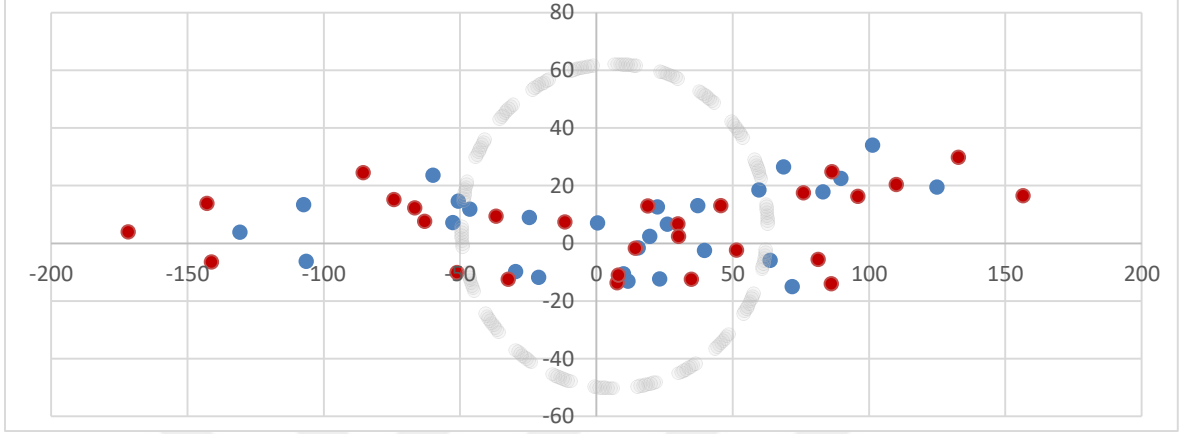
Tablo 4.14, 1 numaralı atış koşulunda roket yörüngesi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Nominal 1000 m atış yörüngesi*

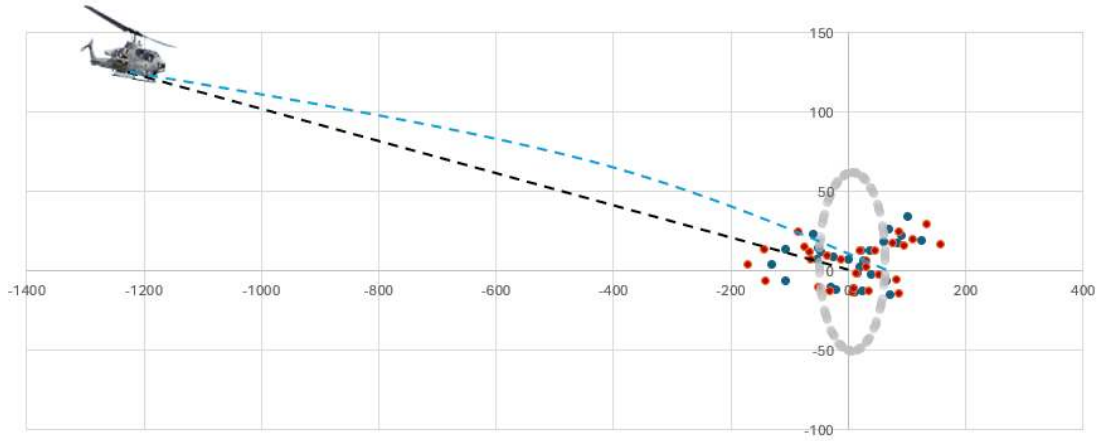
*: İrtifa= 132,1 m, Yatay Menzil = 1258,28 m

Şekil 4.11 ve 4.12’de nominal 1000 m atış testine ait isabet noktaları ile aynı koşullarda benzetim ile bulunmuş roket isabet noktaları birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Nominal 1000 m isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktaları
- Gerçek Test CEP



Şekil 4.12. Nominal 1000 m isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktaları
- Gerçek Test CEP

----- LOS çizgisi

----- Roket Hareket Yörüngesi

Nominal 2000 metre için sapma olmaksızın benzetim atım koşulları ve isabet noktaları Tablo 4.15’te gösterilmektedir.

Tablo 4.15. Nominal 2000 metre için atım koşulları

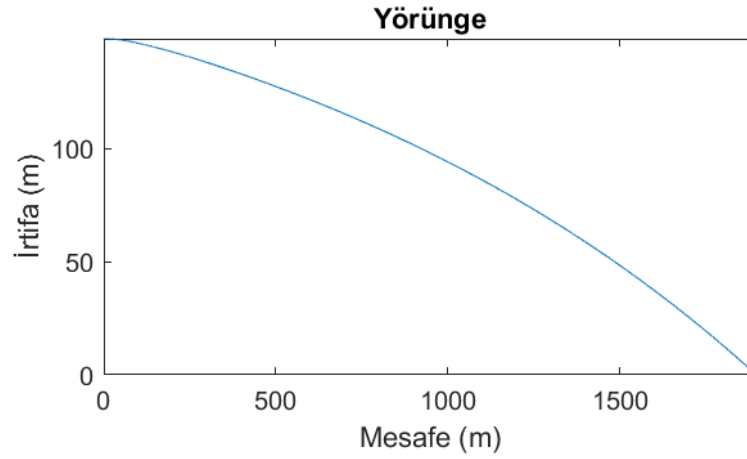
Yatay Menzil (m)	İrtifa (m)	LOS (derece)	Sapma Mesafesi (m)
1941	147,8	11,358	0

Tablo 4.3’te verilen sapma mesafeleri referans alınarak Nominal 2000 metre için elde edilen sapma mesafeleri Tablo 4.16’da gösterilmektedir.

Tablo 4.16. Nominal 2000 m benzetim atış sonuçları

No	Atım Koşulları			Sapma Mesafesi (MPI)	
	İrtifa (m)	Sapma Açısı (X) (derece)	Sapma Açısı (Y) (derece)	Sapma Mesafesi (X) (m)	Sapma Mesafesi (Y) (m)
1	148,413	-0,200	-0,315	-45,050	-10,424
2	147,783	-0,215	0,174	-52,370	5,748
3	147,828	0,403	-0,575	102,590	-20,505
4	147,828	0,513	0,624	135,340	22,628
5	148,488	0,186	-0,510	51,720	-17,745
6	147,348	0,260	-1,080	62,490	-37,000
7	146,415	-0,076	0,970	-28,370	32,394
8	148,435	0,083	-0,104	25,600	-3,572
9	147,828	0,032	0,357	8,560	12,154
10	149,122	0,107	0,631	36,380	21,782
11	147,151	-0,071	-0,063	-21,770	-2,110
12	148,557	-0,223	-0,401	-48,720	-13,227
13	147,828	-0,318	-0,023	-76,800	-0,732
14	147,389	0,062	0,858	12,840	29,254
15	146,514	-0,550	0,497	-141,460	15,600
16	147,828	0,298	0,268	75,450	9,443
17	149,082	-0,583	0,547	-130,630	17,276
18	147,828	0,062	0,284	16,110	9,703
19	147,828	0,305	-0,321	77,400	-11,295
20	146,958	0,806	0,366	201,510	13,672
21	147,623	0,120	0,857	28,900	29,456
22	147,828	0,568	0,813	145,260	29,598
23	148,937	0,489	0,965	132,440	34,914
24	147,648	0,188	0,990	46,530	34,345
25	148,602	-0,060	0,495	-8,590	16,695
26	147,828	-0,183	1,659	-44,370	54,945
27	148,952	0,097	0,875	32,790	30,135

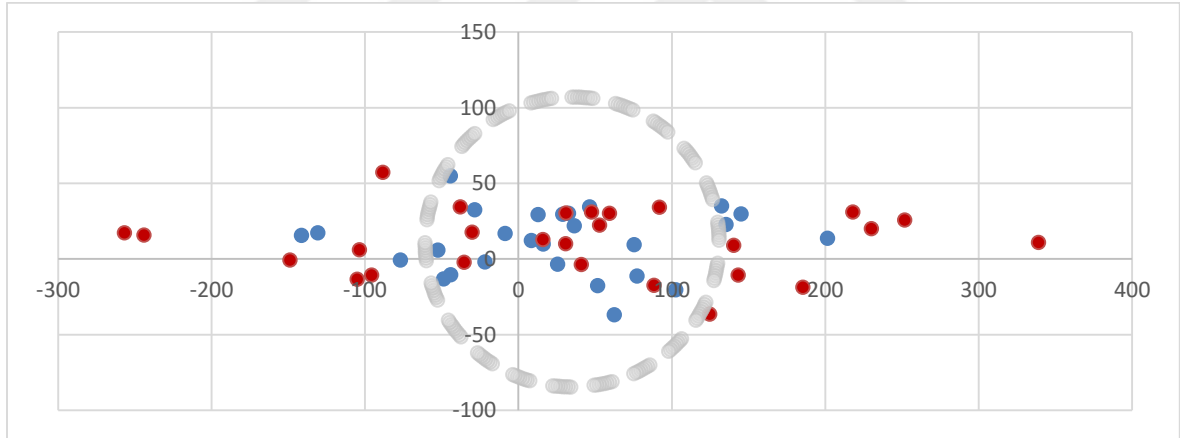
Tablo 4.16, 1 numaralı atış koşulunda roket yörüngesi Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Nominal 2000 m atış yörüngesi*

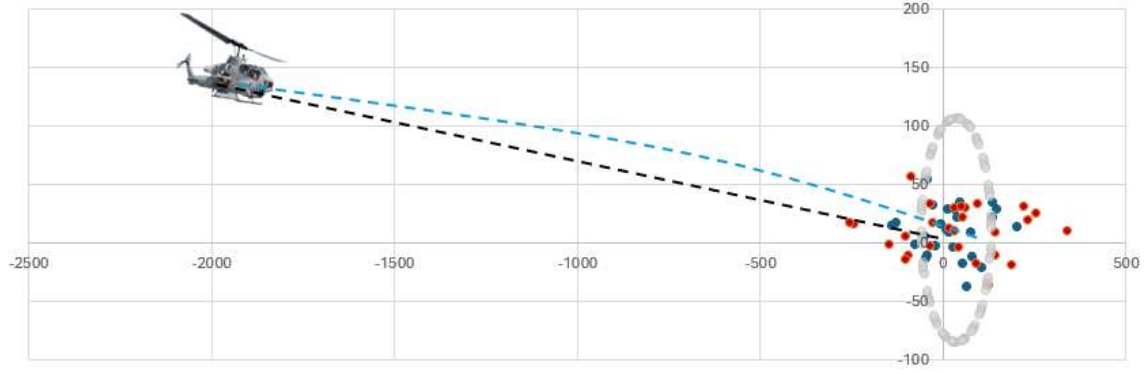
*: İrtifa = 148,413 m, Yatay Menzil = 1896,94 m

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te nominal 2000 m atış testine ait isabet noktaları ile aynı koşullarda benzetim ile bulunmuş roket isabet noktaları birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Nominal 2000 m isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktaları
- Gerçek Test CEP



Şekil 4.15. Nominal 2000 m isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktası
- Gerçek Test CEP
- LOS çizgisi
- Roket Hareket Yörüngesi

Nominal 3000 metre için sapma olmaksızın benzetim atım koşulları ve isabet noktaları Tablo 4.17’de gösterilmektedir.

Tablo 4.17. Nominal 3000 m için atım koşulları

Yatay Menzil (m)	İrtifa (m)	LOS (derece)	Sapma Mesafesi (m)
2743	170,6	13,84	0

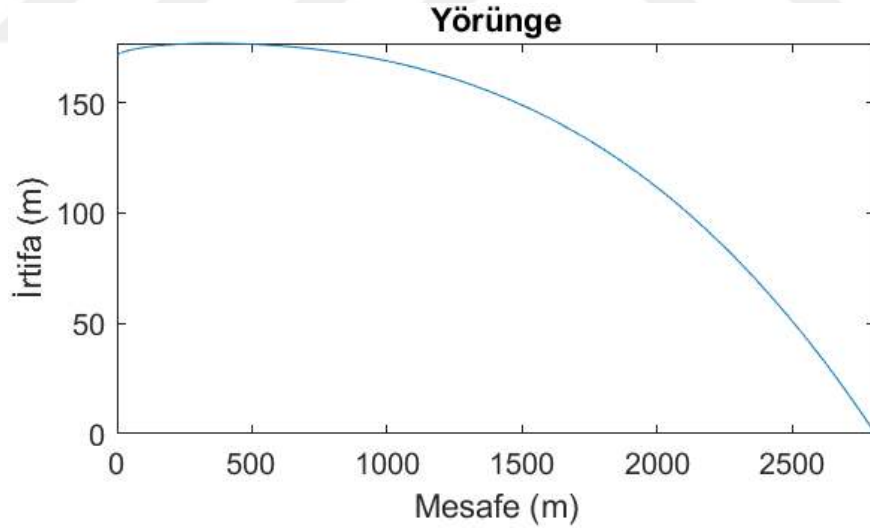
Tablo 4.4’te verilen sapma mesafesi referans alınarak Nominal 3000 metre için elde edilen sapma mesafeleri Tablo 4.18’de gösterilmektedir.

Tablo 4.18. Nominal 3000 m benzetim atış sonuçları

No	Atım Koşulları			Sapma Mesafesi (MPI)	
	İrtifa (m)	Sapma Açısı (X) (derece)	Sapma Açısı (Y) (derece)	Sapma Mesafesi (X) (m)	Sapma Mesafesi (Y) (m)
1	171,708	0,217	0,107	65,510	5,239
2	169,967	-0,246	0,285	-69,800	13,306
3	170,688	0,143	0,017	39,840	0,820
4	171,706	0,190	-0,232	57,990	-11,330
5	170,556	0,225	-0,253	61,330	-12,389
6	172,210	0,034	-0,603	18,540	-29,064
7	169,325	0,369	0,120	94,090	5,933
8	171,386	-0,094	-0,231	-20,630	-10,958

No	Atım Koşulları			Sapma Mesafesi (MPI)	
	İrtifa (m)	Sapma Açısı (X) (derece)	Sapma Açısı (Y) (derece)	Sapma Mesafesi (X) (m)	Sapma Mesafesi (Y) (m)
9	170,688	-0,083	0,131	-21,480	6,199
10	172,223	-0,080	-0,263	-12,160	-12,520
11	172,341	-0,055	-0,768	-4,580	-36,699
12	170,688	-0,015	0,212	-3,120	10,141
13	169,005	0,031	0,256	-0,010	12,253
14	171,219	-0,346	0,201	-89,560	9,300
15	169,200	0,215	0,461	51,300	22,496
16	170,795	0,133	1,031	37,890	50,049
17	169,878	-0,082	0,695	-25,720	32,948
18	170,961	0,025	1,402	9,270	67,348
19	170,688	0,003	2,000	1,810	95,836
20	170,688	-0,415	0,236	-111,100	10,852
21	169,470	0,470	1,131	122,240	56,547
22	170,688	0,034	1,290	10,890	62,005
23	170,688	-0,251	0,939	-67,240	43,874
24	170,688	-0,270	-0,624	-72,090	-29,107
25	171,007	-0,214	-0,754	-55,260	-35,360
26	169,518	-0,094	0,665	-31,100	31,498
27	170,688	-0,094	0,074	-24,590	3,523

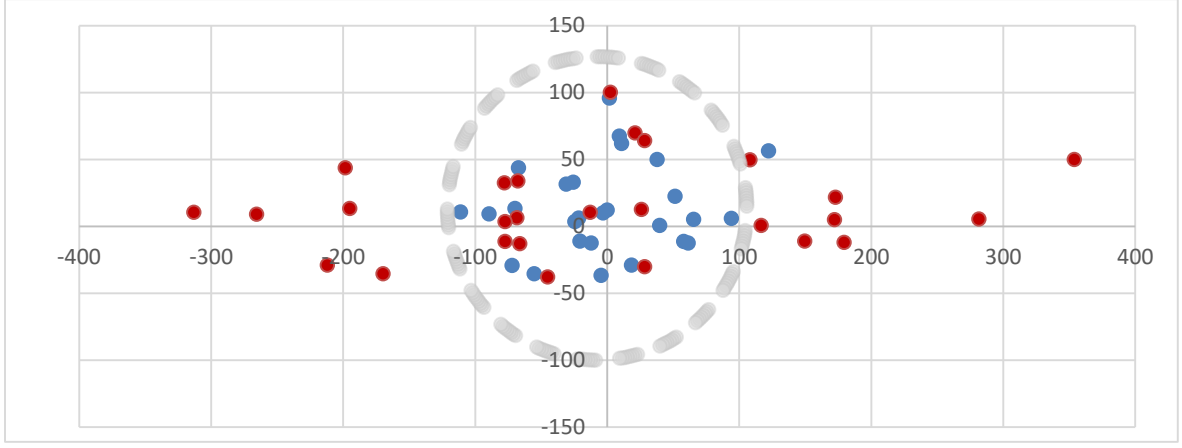
Tablo 4.18, 1 numaralı atış koşulunda roket yörüngesi Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Nominal 3000 m atış yörüngesi*

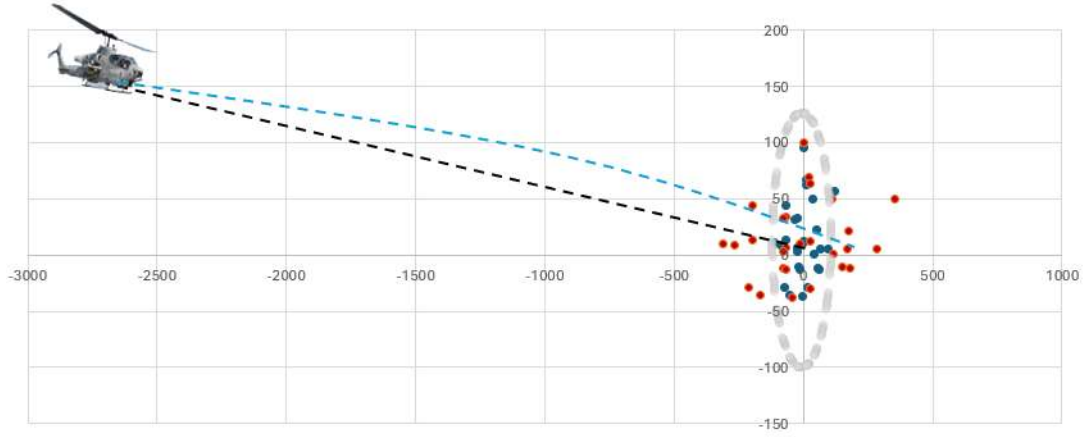
*: İrtifa = 171,708 m, Menzil = 2808,51 m

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de nominal 3000 m atış testine ait isabet noktaları ile aynı koşullarda benzetim ile bulunmuş roket isabet noktaları birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Nominal 3000 m isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktaları
- Gerçek Test CEP



Şekil 4.18. Nominal 3000 metre isabet noktaları

- Benzetim İsabet Noktaları
- Gerçek Test İsabet Noktaları
- Gerçek Test CEP
- LOS çizgisi
- Roket Hareket Yörüngesi

Gerçek test ve benzetim sonuçlarının ortalama isabet noktasına göre karşılaştırılması Tablo 4.19’da gösterilmektedir.

Tablo 4.19. Ortalama isabet noktaları

	Nominal Mesafe (m)	X (m)	Y(m)	100 m /Sapma Mesafesi
Gerçek Test	1000	6,75	5,87	1,58
Benzetim	1000	8,54	6,25	
Gerçek Test*	2000	23,36	11,13	2,56
Benzetim	2000	22	11,22	
Gerçek Test	3000	-7,61	13,47	2,7
Benzetim	3000	-1,39	13,46	

*Tablo 4.8’de yer alan 20 numaralı atışın yüksek sapma değeri nedeniyle bu tabloda yer alan karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 4.20. Gerçek test ile benzetim sonuçları karşılaştırması

	Nominal Mesafe (m)	MPI Noktasının Hedefe Uzaklığı (m)	Fark (m)
Test	1000	8.95	1.63
Benzetim	1000	10.58	
Test	2000	25.88	1.19
Benzetim	2000	24.69	
Test	3000	15.47	1,97
Benzetim	3000	13.5	

Tablo 4.20’de ortalama roket isabet noktaları karşılaştırılmıştır. Yörünge benzetimi ile gerçek test sonuçları ortalama isabet noktası açısından karşılaştırıldığında, yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yörünge benzetim modeli yapılan bu çalışmaya karşılaştırma amaçlı olarak eklenmiş olup bu modelin herhangi bir çıktısı RO algoritmasının eğitilmesinde kullanılmamıştır.

4.3. Rastgele Orman Algoritma Sonuçları

Rastgele Orman (RO) algoritmasıyla oluşturan model sonuçları Tablo 4.21’de gösterilmiştir. Veri kümesinin yüzde 20’si test verisi olarak ayrılmış ve makine öğrenmesi sonuçları Tablo 4.22’de gösterilmiştir. Algoritma eğitilmeden önce veri tutarlılığının bozulmaması için veriler 0 ile 1 arasına normalize edilmiştir. Eğitim veri kümesinde menzil ve irtifa verisi girdi sapma ise çıktı olarak kullanılmıştır. Algoritma ile 5 defa deneme yapılmış, ortalama mutlak hata ölçüm metriği (Mean Absolute Error) sonuçları Tablo 4.23’te gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Test veri kümesi

Menzil (m)	İrtifa (m)	Sapma (m)
1256,307	133,378	52,144
1232,869	133,085	87,356

Menzil (m)	İrtifa (m)	Sapma (m)
2808,756	171,386	78,210
1927,695	147,828	140,577
1244,507	131,343	63,451
1818,943	146,514	244,556
1919,121	147,828	148,890
1236,515	132,588	77,916
2706,730	171,007	173,371
1979,497	147,828	105,232
1882,758	147,828	186,316
2680,129	170,688	203,109
1202,585	132,588	111,913
2856,472	170,961	72,919
1946,546	147,348	129,898
2535,050	169,470	357,232
2680,148	169,967	195,548

Tablo 4.22. Rastgele orman deneme sonuçları

Gerçek Sonuçlar (m)	1. DENEME RO (m)	2. DENEME RO (m)	3. DENEME RO (m)	4. DENEME RO (m)	5. DENEME RO (m)	Benzetim Sonuçları (m)
52,144	49,97	53,00	51,47	53,44	48,49	31,20
87,356	85,84	85,14	86,17	87,43	85,03	73,38
78,210	71,55	74,95	78,42	76,41	73,04	23,36
140,577	126,91	131,55	131,88	131,18	127,12	76,04
63,451	89,50	91,94	98,01	93,50	91,14	53,13
244,556*	158,17	130,18	135,94	128,93	152,19	142,32
148,890	126,91	131,55	131,88	131,18	127,12	76,80
77,916	77,06	77,73	77,55	77,88	78,14	62,47
173,371	175,04	178,07	166,19	170,78	170,89	65,61
105,232	98,26	103,73	101,50	100,24	103,35	70,62
186,316	161,44	172,89	161,39	170,88	169,34	104,62
203,109	199,15	200,97	200,07	200,89	197,70	80,29
111,913	100,90	102,05	99,57	99,51	100,84	92,43
72,919	57,48	59,66	62,36	58,33	56,86	67,98
129,898	83,21	84,02	79,98	87,53	84,71	72,62
357,232*	269,08	259,60	259,33	280,92	264,09	134,69
195,548	189,19	193,40	190,97	193,37	185,28	71,06

*Tabloda yer alan işaretli atışlar diğer atışlara göre yüksek sapma değeri nedeniyle tablo 4.23'te yer alan karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

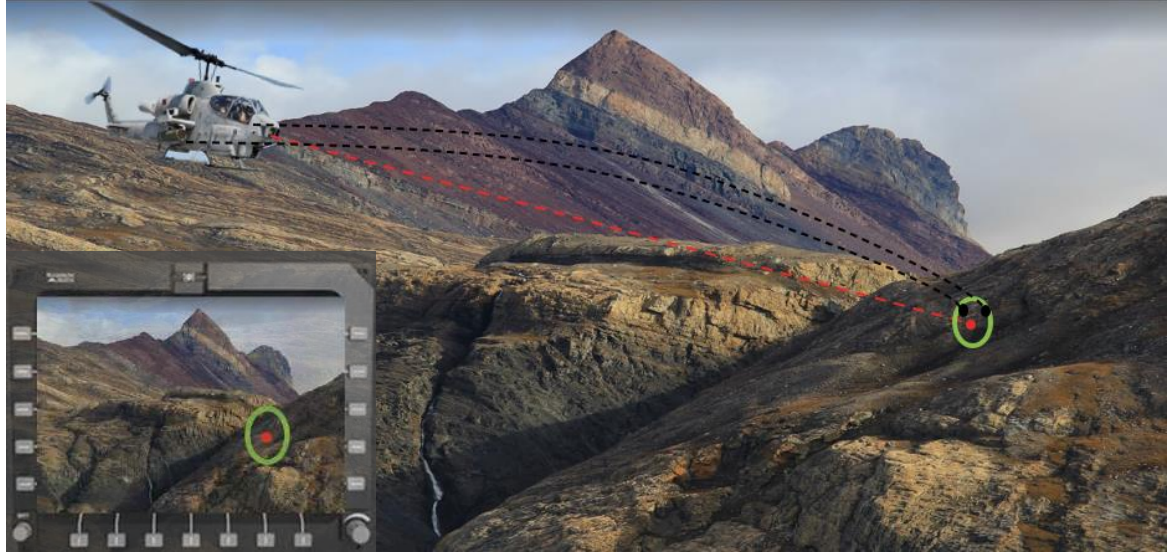
Tablo 4.23. Rastgele orman, test ve benzetim sonuçları karşılaştırması

Deneme	RO Sonucu (Ortalama mutlak hata)	Gerçek Test ve RO Arasında Ortalama Fark (m)	Benzetim ile Test verileri arasındaki Ortalama Fark (m)
1	%6,2	8,96	53,68

2	%6,2	5,75	
3	%6,6	7,30	
4	%5,9	6,29	
5	%6,3	8,52	

Tablo 4.20’de, Benzetim ile gerçek test sonuçları karşılaştırılmış ve aralarındaki farkın 2 metreden daha düşük olduğu gösterilmiştir. Ancak, Rastgele Orman algoritmasında kullanılan test verileri arasından bir karşılaştırma yapıldığında algoritma sonuçlarının gerçek test sonuçlarına göre daha yakın olduğu Tablo 4.23’te gösterilmiştir.

Bu karşılaştırma sonucunda, helikopter pilotlarının karar destek sistemi çalışma kurgusu aşağıda açıklanmıştır. Şekil 4.19’da helikopterden hedef alınan bir noktanın gösterge ekranlarında nasıl gösterileceği ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Gösterge ekranında oluşturulacak tahmini bir daire, roketin isabet edebileceği alanı göstermektedir. Pilot, bu tahmin dairesini dikkate alarak atış yapabilecektir. Bu sürecin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için, makine öğrenmesi algoritması roketin hedefi kaç metre ıskalayacağını tahmin etmekte ve ardından tahmin dairesinin genişliğini ortalama mutlak hata oranı kadar artırmaktadır. Böylelikle pilot, roketin tahmin dairesi içindeki herhangi bir noktaya isabet edebileceği bilgisini elde etmektedir.



- Hedef
- Tahmini İisabet Noktası

Tahmin Dairesi



Helikopter Gösterge Ekranı

Şekil 4.19. Tahmini isabet noktası gösterimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, helikopterlerden atılan roketlerin isabet noktalarının tahmin edilmesi amacıyla makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Cobra taarruz helikopterine ait, literatürdeki açık kaynaklardan elde edilen ve sınırlı sayıdaki veri kullanılarak, balistik hesaplamaların doğruluğunun artırılması ve atış isabet oranlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Araştırma sonucunda, makine öğrenmesi yöntemlerinin, özellikle de Rastgele Orman Algoritmasının, roket isabet noktalarının tahmininde yüksek doğruluk sağladığı belirlenmiştir. Normalize edilmiş veri kümesi ile yapılan beş test sonucunda, yaklaşık %6 mutlak hata oranı ve 0.72 determinasyon katsayısı (R^2) elde edilmiştir. RO Algoritması, rastgele seçilen gerçek atış sonuçlarından ortalama 7,3 m, benzetim ise 53,68 m sapmıştır. Gerçek atış testi verilerinin rastgele seçilmiş olması ve veri kümesinin düşük sayıda olması, beklenenden fazla sapma gösteren atışlarda yörünge benzetim modelindeki farkın artmasına neden olmuştur. RO algoritması bu atışlarda da yörünge benzetimine göre daha yakın sonuçlar elde etmiştir. Bu bulgu, makine öğrenmesi yöntemlerinin balistik hesaplamalar ve atış kontrol sistemi karar destek sistemlerinde etkin olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, makine öğrenmesi yöntemlerinin savunma platformlarına entegrasyonu, görev sürelerinde kısalma, pilot iş yükünde azalma ve görev güvenliğini artırma gibi önemli avantajlar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, modern savaş alanlarında helikopterlerin ateş gücü yeteneklerinin makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak önemli ölçüde geliştirilebileceğini göstermektedir.

Bu tez çalışması, makine öğrenmesi ve balistik hesaplamalar alanında önemli katkılar sağlamış olup, savunma teknolojileri ve yapay zekâ entegrasyonu konularında gelecekte yapılacak araştırmalara katkı sağlayacaktır.

6. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu çalışmada seçilen veri kümesi, platformlar için gizli nitelik taşıyan ve kullanıcılar tarafından paylaşılacak istenmeyen bir niteliğe sahiptir. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda veri kümelerinin büyüklüğünün ve veri çeşitliliğinin düşük olduğu saptanmıştır. Bir mühimmatın atıcıdan ayrılmasından itibaren yörüngesinin hesaplanması için gerekli parametreler Bölüm 3.2.1.3 Dış Balistik başlığı altında incelenmiştir. Veri sayısı ve veri kümesi giriş parametrelerinin daha yüksek olduğu veri kümelerinin eğitilmesiyle literatürdeki test sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Ek olarak platformların sahip olduğu keşif, gözetleme ve hedef takip sistemi aynı zamanda görüntü işleme kabiliyetine de sahiptir [36]. Bu sayede platformlar kendi veri kümelerini üretilip, daha yüksek başarıda tahmin kabiliyeti elde edebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] R. McCoy, *Modern Exterior Ballistics: The launch and flight dynamics of symmetric projectiles*. Atglen, PA, USA: Schiffer Press, 1999.
- [2] M. Khalil, H. Abdalla, and O. Kamal, "Trajectory prediction for a typical fin stabilized artillery rocket," *ASAT*, vol. 13, pp.1-14, 2009.
- [3] O. V. Majstrenko, V. V. Prokopenko, V. I. Makeev, and E. G. Ivanyk, "Analytical methods of calculation of powered and passive trajectory of reactive and rocket-assisted projectiles," *Radio Electronics, Computer Science, Control*, vol.32, no.2, pp.45-50, 2020.
- [4] A. Raza, and H. Wang, "Range and Accuracy Improvement of Artillery Rocket Using Fixed Canards Trajectory Correction Fuze," *Aerospace*, vol.9, no.1, pp.32, 2022, doi: 10.3390/aerospace9010032
- [5] T. Atygayev, V. Ivel, and Y. Gerasimova, "Development of A Hardware and Software Model of a Rocket Motion Correction System," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol.3, no.3, pp.111, 2021, doi: 0.15587/1729-4061.2021.228146
- [6] J. A. Perez, F. Deligianni, D. Ravi, and G. Yang, "Artificial Intelligence and Robotics," *Robotics and Autonomous Systems*, vol.147, pp.2-44, 2017.
- [7] T. G. Dietterich, *Machine-Learning Research*, second edition. Cambridge, MIT Press, AIMag, vol. 18, no. 4, Dec. 1997.
- [8] V. Nasteski, "An overview of the supervised machine learning methods," *HORIZONS.B*, vol.4, pp.51-62, Dec.2017, doi: 10.20544/HORIZONS.B.04.1.17. P05
- [9] T. Ayodele, "Types of Machine Learning Algorithms," *Machine Learning*, vol.3 no.19-48, pp.1-5, 2017.
- [10] G. Allen, "Understanding AI technology," *JAIC*, vol. 2, no.1, pp.24-32, 2020.

- [11] T. K. Ho, "Random Decision Forests," *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*, vol.1, pp.278-282, 1995, doi: 10.1109/ICDAR.1995.598994
- [12] L. Breiman, "Random Forests," *Machine Learning*, vol.45, pp.5-32, 2001.
- [13] G. W. Cha, H. J. Moon, Y. M. Kim, W. H. Hong, J. H. Hwang, W. J. Park, and Y. C. Kim, "Development of a Prediction Model for Demolition Waste Generation Using a Random Forest Algorithm Based on Small DataSets," *ISDE*, vol.17, no.19, 2020, doi: 10.3390/ijerph17196997
- [14] P. Xu, X. Ji, M. Li, and W. Lu, "Small Data Machine Learning in Materials Science," *NPJ. Computational Materials*, vol.9, no.1, pp.42, 2023, doi:10.1038/s41524-023-01000-z
- [15] G. Aksu, and N. Doğan, "Veri Madenciliğinde Kullanılan Öğrenme Yöntemlerinin Farklı Koşullar Altında Karşılaştırılması," *JFES*, vol.51, pp.71-100, 2018, doi: 10.30964/auebfd.464262
- [16] R. Benzer, and A. Erkollar, B. Oberer, and S. Benzer, "Using Artificial Intelligence for the Improvement of Weapon Efficiency," *ISPR*, pp. 13-22, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-31343-2_2.
- [17] G. Galdorisi, and S. Tangredi, "Algorithms of Armageddon: What Happens When We Insert AI Into Our Military Weapons Systems?" *Online Presentation to the DoD Strategic Multilayer Assessment Program*, vol.27, Jun. 2021. [Online]. Available: apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1135187.pdf
- [18] M. Hagström, "Military applications of machine learning and autonomous systems," *The Impact of Artificial Intelligence on Strategic Stability and Nuclear Risk*, vol.1, pp.32-38, May. 2019. [Online]. Available: jstor.org/stable/resrep24525.10
- [19] L. Harrison, and P. Saunders, and J. Janowitz, "Artificial Intelligence with Applications for Aircraft," *Federal Aviation Administration Technical Center*, 1994. [Online]. Available: apps.dtic.mil/sti/citations/tr/ADA288382
- [20] Heli Expo 2022, Helispot.nl. helispot.nl/hs/page/detail.asp?oid=e6C4E5c6

(Accessed: Feb. 3, 2024)

- [21] R. Tillinghast, M. T. Wright, and M. Hohil, “Optimizing Armament Systems With Artificial Intelligence and Machine Learning”, dsiac.org/articles/optimizing-armament-systems-with-artificial-intelligence-and-machine-learning/ (Accessed: Feb. 1, 2024)
- [22] Model Roketçilik, Roketlerin ve Füzelere Bölümleri, Roket Ürün açıklaması, roketan.com.tr/uploads/docs/1628594512_20.03.2020model-roketcilik-master-dokumanv04.pdf (Accessed: Feb. 1, 2024)
- [23] US Army Armament Research, Development, and Engineering Center, “Department of Defense Handbook, Fire Control Systems – General,” Apr. 5, 1996.
- [24] R. H. Sforzini, “An Automated Approach to Design of Solid Rockets Utilizing a Special Internal Ballistics Model,” *16th Joint Propulsion Conference*, pp.1135, 1980, doi: 10.2514/6.1980-1135
- [25] C. Payne, *Principles of Naval Weapon Systems*, Annapolis, USA: Naval Institute Press, 2006.
- [26] B. Kocarık Gacar, and İ. Deveci Kocakoç, "Regresyon Analizleri mi Karar Ağaçları mı?" *Celal Bayar University Journal of Social Sciences*, vol.18, no.4, 2020.
- [27] Y. Zhao, and Y. Zhang. "Comparison of decision tree methods for finding active objects." *Advances in Space Research*, vol. 41, no. 12, pp. 1955-1959, 2008.
- [28] T. Hastie, R. Tibshirani, J. H. Friedman, and J. H. Friedman, Random Forest, “The Element of Statistical Learning”, 2nd ed., New York, 2009, pp. 587-600.
- [29] F. Hilmi, “Random Forest (Rastgele Orman) Algoritması Temelli Süreç İzleme Yönteminin Ambulator Kan Basıncı İzlemede Hipertansiyon Erken Tanısı İçin Kullanımı,” M.S. thesis, Dept. Statistics, Muğla Sıtkı Kocaman Univ., Muğla, Türkiye, Jan. 2020.
- [30] J. Walter, and Jr. Baumen. “Analysis of Delivery Accuracy for Ah-Ig (Cobra) Launched 2,75-Inch Rockets from Rests Conducted,” US Army Armament Command,

China Lake, California, USA, 1974. [Online]. Available: apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD0782978.pdf

- [31] *The Modified Point Mass and Five Degrees of Freedom Trajectory Models*, STANAG 4355, Edition 4, Mar. 1, 2005.
- [32] G. R. Marner, “Conference on The Effect of Helicopter Downwash on Free Projectiles,” US Army Aviation Systems Command, St. Louis, Missouri, 1975. [Online]. Available: apps.dtic.mil/sti/citations/ADA058123
- [33] “Bakersfield, CA Weather History.” Wunderground.com. wunderground.com/history/daily/us/ca/bakersfield/KBFL/date/1974-5-14_ (Accessed: Feb. 1, 2024).
- [34] Headquarters, Department of the Army, Washington, USA. *Technical Manuel Army Ammunition Data Sheets for Rockets, Rocket Systems, Rocket Fuzes, Rocket Motors*, Washington DC, USA, 1981.
- [35] Entegre Kask Sistemleri, Kaska Entegre Kumanda Sistemi (AVCI) Ürün açıklaması, cdn.aselsan.com/api/file/AVCI_TR.pdf (Accessed: Feb. 1, 2024)
- [36] Gimballi Elektro Optik Sistemler, ASELFLIR-300T Ürün açıklaması, cdn.aselsan.emrg.me/api/file/ASELFLIR300T_TR.pdf (Accessed: Feb. 1, 2024)

EKLER

EK 1: Kaska Entegre Kumanda Sistemi



Şekil E.1 Kaska Entegre Kumanda Sistemi

Şekil E.1’de ASELSAN Kaska Entegre Kumanda Sistemi (AVCI) gösterilmiştir. Bu sistemin genel özellikleri aşağıda ifade edilmiştir [35]:

- ✓ Gece görüş, kızılötesi video, seyrüsefer ve silah sistemi göstergeleri
- ✓ Pilotun kafa hareketlerine bağlı olarak hedefleme amaçlı hassas bakış açısının hesaplanması
- ✓ Pilot kafasına göre şekillendirilmiş iç kask yapısı
- ✓ Baş ve yüz bölgesini darbe ve parçacık etkisinden koruma

EK 2: Keşif, Gözetleme ve Hedefleme Sistemi



Şekil E.2 Keşif, Gözetleme ve Hedefleme Sistemi

Şekil E.2’de ASELSAN Elektro Optik Keşif, Gözetleme ve Hedefleme sistemi gösterilmiştir. Bu sistemin genel özellikleri aşağıda ifade edilmiştir [36]:

- ✓ Lazer Nokta İzleyici
- ✓ Harici Sensör Hizalama Birimi
- ✓ Gelişmiş Görüntü İşleme
- ✓ Çoklu Hedef Takibi

EK 3: Benzetim İçin MATLAB Kodu

```
% Variable List:
% Delta = Time step (s)
% t = Time (s)
% Thrust = Thrust (N)
% Mass = Mass (kg)
% Mass_Rocket_With_Motor = Mass with motor (kg)
% Mass_Rocket_Without_Motor = Mass without motor (kg)
% Theta = Angle (deg)
% C = Drag coefficient
% Rho = Air density (kg/m^3)
% A = Rocket projected area (m^2)
% Gravity = Gravity (m/s^2)
% Launch_Rod_Length = Length of launch rod (m)
% n = Counter
% Fn = Normal force (N)
% Drag = Drag force (N)
% Fx = Sum of forces in the horizontal direction (N)
% Fy = Sum of forces in the vertical direction (N)
% Vx = Velocity in the horizontal direction (m/s)
% Vy = Velocity in the vertical direction (m/s)
% Ax = Acceleration in the horizontal direction (m/s^2)
% Ay = Acceleration in the vertical direction (m/s^2)
% x = Horizontal position (m)
% y = Vertical position (m)
% Distance_x = Horizontal distance travelled (m)
% Distance_y = Vertical travelled (m)
% Distance = Total distance travelled (m)
% Memory_Allocation = Maximum number of time steps expected

clear, clc    % Clear command window and workspace

% Parameters
Delta = 0.001;    % Time step
Memory_Allocation = 30000;    % Maximum number of time steps expected

% Preallocate memory for arrays
t = zeros(1, Memory_Allocation);
Thrust = zeros(1, Memory_Allocation);
Mass = zeros(1, Memory_Allocation);
Theta = zeros(1, Memory_Allocation);
Fn = zeros(1, Memory_Allocation);
Drag = zeros(1, Memory_Allocation);
Fx = zeros(1, Memory_Allocation);
Fy = zeros(1, Memory_Allocation);
Ax = zeros(1, Memory_Allocation);
Ay = zeros(1, Memory_Allocation);
Vx = zeros(1, Memory_Allocation);
```



```

Vy = zeros(1, Memory_Allocation);
x = zeros(1, Memory_Allocation);
y = zeros(1, Memory_Allocation);
Distance_x = zeros(1, Memory_Allocation);
Distance_y = zeros(1, Memory_Allocation);
Distance = zeros(1, Memory_Allocation);
V= zeros(1, Memory_Allocation);
C= zeros(1, Memory_Allocation);

Rho = 1.150;           % Air density (kg/m^3)
A = 0.01532/4;        % Rocket projected area (m^2)
Gravity = 9.81;       % Gravity (m/s^2)
Launch_Rod_Length = 1; % Length of launch rod (m)
Mass_Rocket_With_Motor = 10.215; % Mass with motor (kg)
Mass_Rocket_Without_Motor = 7.56; % Mass without motor (kg)

Theta(1) = 13.84 ;    % Initial angle (deg).
y(1) = 171.708;       % Initial vertical position (m)
x(1) = 0;             % Initial horizontal position (m)
Distance_x(1) = 0;    % Initial horizontal distance travelled (m)
Distance_y(1) = 0;    % Initial vertical distance travelled (m)
Distance(1) = 0;      % Initial distance travelled (m)
Mass(1) = Mass_Rocket_With_Motor; % Initial rocket mass (kg)

n = 1;                % Initial time step

while y(n) > 0         % Run until rocket hits the ground
    n = n+1;           % Increment time step

    t(n)=(n-1)*Delta; % Elapsed time

    % Determine rocket thrust and mass based on launch phase
    if t(n) >= 0 && t(n) <= 1.62 % Launch phase 2
        Thrust(n) = 3153.8;
        Mass(n) = Mass_Rocket_With_Motor-t(n)*1.648;
    elseif t(n) > 1.62 % Launch phase 4
        Thrust(n) = 0;
        Mass(n) = Mass_Rocket_Without_Motor; % Rocket motor ejects
    end

    % Normal force calculations
    if Distance(n-1) <= Launch_Rod_Length % Launch rod normal force
        Fn(n) = Mass(n)*Gravity*cosd(Theta(1));
    else
        Fn(n) = 0; % No longer on launch rod
    end

    % C Calculatin
    V(n-1)=(Vx(n-1)^2+Vy(n-1)^2)^0.5;
    if V(n-1)<=294.98

```

```

    C(n)=0.637;
elseif V(n-1)>294.98 && V(n-1)<=325.85
    C(n)=6.4266*10^(-5) * (V(n-1))^2 - 0.03805 * V(n-1) + 6.2706;
elseif V(n-1)>325.85 && V(n-1)<=353.29
    C(n)=0.01826*V(n-1)-5.2534;
elseif V(n-1)>353.29 && V(n-1)<=686
    C(n)=-0.0006492*V(n-1)+1.4264;
    elseif V(n-1)>686
        C(n)=0.9;
end
% Drag force calculation

Drag(n)= 0.5*C(n)*Rho*A*(Vx(n-1)^2+Vy(n-1)^2); % Calculate drag force

% Sum of forces calculations
Fx(n)= Thrust(n)*cosd(Theta(n-1))-Drag(n)*cosd(Theta(n-1))...
; % Sum x forces
Fy(n)= Thrust(n)*sind(Theta(n-1))-(Mass(n)*Gravity)-...
Drag(n)*sind(Theta(n-1)); % Sum y forces

% Acceleration calculations
Ax(n)= Fx(n)/Mass(n); % Net accel in x direction
Ay(n)= Fy(n)/Mass(n); % Net accel in y direction

% Velocity calculations
Vx(n)= Vx(n-1)+Ax(n)*Delta; % Velocity in x direction
Vy(n)= Vy(n-1)+Ay(n)*Delta; % Velocity in y direction
V(n)=(Vx(n)^2+Vy(n)^2)^0.5;

% Position calculations
x(n)= x(n-1)+Vx(n)*Delta; % Position in x direction
y(n)= y(n-1)+Vy(n)*Delta; % Position in y direction

% Distance calculations
Distance_x(n) = Distance_x(n-1)+abs(Vx(n)*Delta); % Distance in x
Distance_y(n) = Distance_y(n-1)+abs(Vy(n)*Delta); % Distance in y
Distance(n) = (Distance_x(n)^2+Distance_y(n)^2)^(1/2); % Total distance

% Rocket angle calculation
Theta(n)= atand(Vy(n)/Vx(n)); % Angle defined by velocity vector
end

figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]) % Maximize plot window

% Figure 1
subplot(3,3,1)
plot(x(1:n),y(1:n));
xlim([0 inf]);
ylim([0 inf]);
xlabel({'Mesafe (m)'});

```

```
ylabel({'İrtifa (m)'});  
title({'Yörünge'});
```

```
% Figure 2  
subplot(3,3,2)  
plot(t(1:n),Vx(1:n));  
xlabel({'Zaman (s)'});  
ylabel({'Vx (m/s)'});  
title({'X hız'});
```

```
% Figure 3  
subplot(3,3,3)  
plot(t(1:n),Vy(1:n));  
xlabel({'Zaman (s)'});  
ylabel({'Vy (m/s)'});  
title({'Y hız'});
```

```
% Figure 6  
subplot(3,3,4)  
plot(t(1:n),Mass(1:n));  
ylim([0.1 20]);  
xlabel({'Zaman (s)'});  
ylabel({'Kütle (kg)'});  
title({'Roket Kütle'});
```

```
% Figure 8  
subplot(3,3,5)  
plot(t(1:n),Drag(1:n));  
xlabel({'Zaman (s)'});  
ylabel({'Sürüklenme (N)'});  
title({'Sürüklenme Kuvveti'});
```

```
% Figure 9  
subplot(3,3,6)  
plot(t(1:n),V(1:n));  
xlim([0 3]);  
xlabel({'Zaman (s)'});  
ylabel({'V (m/s)'});  
title({'HIZ'});
```

EK 4: Makine Öğrenmesi için Algoritma

```
import pandas as pd # Veri işleme için pandas kütüphanesi
from sklearn.model_selection import train_test_split # Eğitim Ve Test Verisini Ayırma

# Veri Setini Hazırlama Fonksiyonu
def dataset_prep():
    df = pd.read_excel("real_data.xlsx", sheet_name="Sheet3") # Excel Dosyasından Veri Okuma
    X = df.drop(["max", "sapma_cts"], axis="columns") # Tahmin Edici Değişkenlerin Seçilmesi
    y = df.sapma_cts # Hedef değişkenin belirlenmesi

    # Veriyi eğitim ve test setlerine ayırma

    X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=0)

    return df, X, y, X_train, X_test, y_train, y_test

from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor # Random Forest Regresyon modeli
from sklearn.metrics import mean_absolute_error # Ortalama Mutlak Hata Metriği
from sklearn.metrics import r2_score # R2 skoru metriği

reg = RandomForestRegressor().fit(X_train, y_train) # Modeli Eğitim Verisi ile Eğitim
y_pred = reg.predict(X_test) # Test Verisi ile Tahmin Yapma

# Sonuçların ve Performansın Yazdırılması

print("Inputlar")
print(X_test) # Test girdilerini yazdırma
print("Gerçek Sonuçlar")
print(y_test) # Gerçek sonuçları yazdırma
print("Tahminler")
print(y_pred) # Modelin tahminlerini yazdırma
print("Hata")
print(mean_absolute_error(y_test, y_pred)) # Ortalama mutlak hata
print(r2_score(y_test, y_pred)) # R2 skoru
```