

ANTI-BALİSTİK FÜZELERİN ATEŞ KONTROLÜ

FIRE CONTROL OF ANTI BALLISTIC MISSILES

KORAY KARAY

DR. ÖĞR.ÜYESİ YAKUP ÖZKAZANÇ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2022

ÖZET

ANTI-BALİSTİK FÜZELERİN ATEŞ KONTROLÜ

Koray KARAY

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Eylül 2022, 106 sayfa

Bu tez çalışmasında, günden güne gelişen balistik füze teknolojisine karşı ihtiyaç olarak doğan Hava Savunma Füzelерinin incelenerek atmosfer dışı önleme yapabilecek Anti Balistik Füze Sistemlerinin bu kabiliyetine ilişkin öğretiler oluşturulması hedeflenmiştir. Farklı kategorilerde, kısa, orta, ara ve kıtalararası balistik füzeler için yörünge hesapları gerçekleştirilmiş ve MATLAB-Simulink programı kullanılarak yörünge benzetimleri oluşturulmuştur. Hava Savunma Sistemlerine ilişkin temel kavramlar açıklanmış ve nasıl sınıflandırıldığı örnekler ile aktarılmıştır. Hava Savunma Füze Sistemlerinde kullanılabilir güdüm yöntemleri incelenerek Balistik Füzelere karşı Oransal Seyir Güdüm Yöntemi uygulaması ile kaçırma mesafesinin en aza indirilebileceği gözlemlenmiştir. Atmosfer Dışı önleme yapabilen Yüksek İrtifa Hava Savunma Füze Sistemleri temel alınarak, 4 farklı kategorideki Balistik Füzelерin, Oransal Seyir Güdüm yöntemi kullanılarak önlenmesi amaçlanmıştır. MATLAB-Simulink programı ile belirli zaman aralıklarında ardışık benzetimler gerçekleştirilen senaryolar için önleme bölgesi ve önleme zamanı çıkartılmıştır. Elde edilen veriler interpolasyon yöntemi uygulanarak önleme zamanı, irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri ile gösterilmiştir. Çalışmalarda elde edilen veriler paylaşarak, Yüksek İrtifa Hava Savunma Füze Sistemi kullanıcısı için

zaman çizelgesine bağlı bir atış idaresi yöntemi oluşturulmuştur. Çalışmaların ileri dönemlerde en iyilenmesine yönelik yorumlar aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balistik Füze, Anti Balistik Füze, Gúdüm, Hava Önleme, Ateş Kontrol

ABSTRACT

FIRE CONTROL OF ANTI-BALLISTIC MISSILES

KORAY KARAY

Master of Science, Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

September 2022, 106 pages

This thesis aims to examine the Air Defense Missiles that arise as a need against the developing ballistic missile technology day by day and to create doctrines about the capability of Anti Ballistic Missile Systems that can perform exo-atmospheric interception. Trajectory calculations were performed for short, medium, intermediate, and intercontinental ballistic missiles in different categories, and trajectory simulations were created using the MATLAB-Simulink programme. The basic concepts of Air Defense Systems are explained and how they are classified is explained with examples. By examining the guidance methods that can be used in Missile Systems, it has been observed that the evasion distance can be minimized by applying the Proportional Navigation Guidance Method against Ballistic Missiles. Based on High Altitude Air Defense Missile Systems capable of exo-atmospheric interception, it is aimed to prevent Ballistic Missiles in 4 different categories by using the Proportional Navigation Guidance method. With the MATLAB-Simulink program, the interception region and the interception time were extracted for the scenarios in which sequential simulations were performed at certain time

intervals. Obtained data is shown with avoidance time, altitude-time, and distance-time graphs by applying the interpolation method. By sharing the data obtained in the studies, timetable-based doctrines were created for the user of the High Altitude Air Defense Missile System. Comments on the optimization of the studies in the future are given.

Keywords: Ballistic Missiles, Anti Ballistic Missiles, Guidance, Aerial Interception, Fire Control

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitim hayatım boyunca ve bu tez çalışması sırasında değerli bilgi birikimi ve tecrübelerini benden esirgemeyerek destek olan, bu tez çalışmasını gerçekleştirme olanağı sağlayan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca desteklerini hissettiğim annem Hanife KARAY, babam Ali KARAY ve ablam Seray YİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, her kararında ve anımda yanımda olan, bana olan güveni ile beni her zaman cesaretlendiren eşim Ecem KARAY'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. BALİSTİK FÜZE TEKNOLOJİSİ.....	4
2.1. Balistik Füze Nedir?	4
2.1.1. İtki Sistemi	5
2.1.2. Güdüm ve Kontrol Bölümü.....	5
2.1.3. Savaş Başlığı.....	7
2.2. Balistik Füzelerin Sınıflandırılması.....	8
2.3. Balistik Füze Uçuş Safhaları	12
2.4. Balistik Yörüngenin Hesaplanması	14
3. HAVA VE FÜZE SAVUNMA SİSTEMLERİ	24
3.1. Hava Savunma Nedir?.....	24
3.2. Katmanlı Hava Savunma Sistemi	25
3.2.1. Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	25
3.2.2. Orta İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	25
3.2.3. Yüksek İrtifa Hava Savunma Sistemleri.....	25
3.3. Balistik Füze Savunması	26
3.3.1. Taktik Anti Balistik Füzeler.....	26
3.3.2. Bölgesel Anti Balistik Füzeler	26
3.3.3. Stratejik Anti Balistik Füzeler	26
3.4. Anti Balistik Füze Kavramları	27

3.4.1. Hava Savunma Radarları	27
3.4.2. Tepki Süresi	28
3.4.3. Hava Savunma Füze Sistemi Öğretileri	28
3.5. Ülkelerin Anti Balistik Füze Sistemleri	30
3.6.Yüksek İrtifa Anti Balistik Füzeler	31
3.6.1.THAAD Anti Balistik Füze Sistemi.....	31
3.6.2. SM 3 Füzeleri	33
3.6.3. Yüksek İrtifa Anti Balistik Füzelerinin Temel Çalışma Prensibi	35
3.7. Güdüm Yöntemleri	36
3.7.1. Takip Güdümü.....	36
3.7.2. Görüş Hattı Güdümü	37
3.7.2.1. Hüzme (Beam Riding) Güdümü	37
3.7.2.2. Görüş Hattı Kontrol (CLOS) Güdümü.....	39
3.7.3. Oransal Seyir Güdümü.....	39
4. ANTI-BALİSTİK FÜZE ATEŞ KONTROLÜ VE BENZETİM ÇALIŞMALARI..	44
4.1. Hava Savunma Füzesi Ateş Kontrol Problemi	44
4.2. Benzetim Çalışmaları	47
4.2.1. 500 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı	49
4.2.1.1. Senaryo 1: HSF'nin Önde Olma Durumu	50
4.2.1.2. Senaryo 2: HSF'nin Hedef Bölgesinde Olma Durumu.....	57
4.2.2. 2000 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı	63
4.2.2.1. Senaryo 1: HSS'nin Önde Olma Durumu	63
4.2.2.2. 2000 km Senaryo-2: HSF'nin İleride Olması	69
4.2.3. 4000 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı	75
4.2.3.1. 4000 km Senaryo-1: HSF'nin Önde Olması	75
4.2.3.2. 4000 km Senaryo 2: HSF'nin İlerde Olması	81
4.2.4. 8000 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı	87
4.2.4.1. 8000 km Senaryo-1: HSF'nin Önde Olma Durumu	87
4.2.4.2. 8000 km Senaryo-2: HSF'nin Hedef Olma Durumu	93
5. SONUÇLAR.....	101
6. KAYNAKLAR	103

ÖZGEÇMİŞ.....	106
---------------	-----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Alman V2 Füzesi [9].....	4
Şekil 2.2: Füze Eksenleri ve Hareket Tanımları [13].....	6
Şekil 2.3: Balistik Füzelere Sınıflandırılması [18]	8
Şekil 2.4: Balistik Füze Uçuş Fazları [2]	13
Şekil 2.5: Polar Koordinat Düzleminde Füze Hareketi Gösterimi.....	15
Şekil 2.6: Dairesel ve Eliptik Yörünge Gösterimi [21].....	21
Şekil 3.1: Katmanlı Hava Savunma Yapısı ve Anti Balistik Füzelere [25].....	27
Şekil 3.2. THAAD Füze Mimarisi [29].....	32
Şekil 3.3. SM 3 Füzelere Ait Temel Mimari.....	33
Şekil 3.4. Bazı Sistemlerin Önleme Yapabileceği Menzil ve İrtifa Bilgileri [31]	35
Şekil 3.5. Yüksek İrtifa HSF Çalışma Prensipleri [32]	36
Şekil 3.6. 2 Boyutlu Füze- Hedef Angajmanı Gösterimi	37
Şekil 3.7. 2 Boyutlu Huzme Güdümü Angajman Gösterimi.....	38
Şekil 3.8. 2 Boyutlu Angajman Gösterimi ve Tanımlamaları.....	40
Şekil 3.9. Yalın Oransal Seyir Güdüm Gösterimi	41
Şekil 3.10. Gerçek Oransal Seyir Güdüm Yöntemi	42
Şekil 4.1. Ateş Kontrol Sistemi Akış Şeması.....	45
Şekil 4.2. Benzetim Modeli.....	48
Şekil 4.3. 2 Boyutlu Dünya Modeli ve Sınırların Gösterimi.....	49
Şekil 4.4.: THAAD Benzeri Anti Balistik Füze Önleme Kabiliyeti Sınırları	50
Şekil 4.5.: 500 km Senaryo-1 Ardışık Simülasyon	51
Şekil 4.6. 500 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği	53
Şekil 4.7. 500 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği.....	53
Şekil 4.8. 500 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı-Hedefi Önleme Uzaklığı Grafiği..	54
Şekil 4.9. 500 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı- Hedefi Önleme İrtifası Grafiği....	54
Şekil 4.10. 500 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı Grafiği	55
Şekil 4.11. 500 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Çarpışma Zamanı Grafiği	56
Şekil 4.12. 500 km Senaryo 2 Ardışık Benzetim Sonuçları.....	58
Şekil 4.13. 500 km Senaryo-2 İrtifa-Angajman Zamanı Grafiği	60
Şekil 4.14. 500 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği.....	60

Şekil 4.15 500 km Senaryo-2 Hava Savunma Füzesi Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği.....	61
Şekil 4.16 500 km Senaryo-2 Önleme İrtifası-Fırlatma Zamanı Grafiği.....	61
Şekil 4.17: Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı.....	62
Şekil 4.18: Çarpışma Hızı- Önleme Zamanı.....	62
Şekil 4.19. 2000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları.....	64
Şekil 4.20. 2000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği.....	66
Şekil 4.21 2000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği.....	66
Şekil 4.22. 2000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği.....	67
Şekil 4.23. 2000 km Senaryo-1 Önleme İrtifası-Fırlatma Zamanı Yeri Grafiği.....	67
Şekil 4.24. 2000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı Grafiği.....	68
Şekil 4.25. 2000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Önleme Zamanı Grafiği.....	68
Şekil 4.26. 2000 km Senaryo-2 Ardışık Benzetim Çalışmaları.....	70
Şekil 4.27. 2000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği.....	72
Şekil 4.28. 2000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği.....	72
Şekil 4.29. 2000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme Uzaklığı Grafiği.....	73
Şekil 4.30 2000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği.....	73
Şekil 4.31 2000 km Senaryo-2 Hava Savunma Füzesi Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği.....	74
Şekil 4.32 2000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı- Çarpışma Hızı Grafiği.....	75
Şekil 4.33: 4000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları.....	76
Şekil 4.34. 4000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği.....	78
Şekil 4.35 4000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği.....	78
Şekil 4.36. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği.....	79
Şekil 4.37. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Hedefi Önleme İrtifası Grafiği.....	79
Şekil 4.38. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği.....	80
Şekil 4.39. 4000 km Senaryo-1 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği.....	80
Şekil 4.40 4000 km Senaryo-2 Ardışık Benzetim Sonuçları.....	81
Şekil 4.41. 4000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği.....	83
Şekil 4.42. 4000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği.....	84
Şekil 4.43 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği.....	84
Şekil 4.44 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği.....	85
Şekil 4.45 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği.....	86

Şekil 4.46 4000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği	86
Şekil 4.47. 8000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları	88
Şekil 4.48. 8000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği	89
Şekil 4.49. 8000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği.....	90
Şekil 4.50. 8000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği.....	90
Şekil 4.51. 8000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği	91
Şekil 4.52: 8000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı Önleme Zamanı Grafiği	92
Şekil 4.53: 8000 km Senaryo-1 Fırlatma Zamanı-Çarpışma Hızı Grafiği	93
Şekil 4.54. 8000 km Senaryo-2 Ardışık Benzetimler.....	94
Şekil 4.55. 8000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği	96
Şekil 4.56. 8000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği.....	96
Şekil 4.57. 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği	97
Şekil 4.58. 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı-Önleme İrtifası Grafiği.....	97
Şekil 4.59 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği	98
Şekil 4.60 8000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ülkelerin Sahip Olduğu Balistik Füzeler [1, 17]	9
Çizelge 3.1. Bazı Ülkelerde Bulunan Anti Balistik Sistemler [27]	30
Çizelge 3.3. SM 3 Füzesi Özellikleri	34
Çizelge 4.1. 500 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler	52
Çizelge 4.2. 500 km Senaryo 2'ye İlişkin Veriler	59
Çizelge 4.3. 2000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler	65
Çizelge 4.4. 2000 km Senaryo-2'ye İlişkin Veriler	71
Çizelge 4.5. 4000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler	77
Çizelge 4.6. 4000 km Senaryo-2'ye İlişkin Bilgiler	82
Çizelge 4.7. 8000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler	88
Çizelge 4.8. 8000 km Senaryo-2'ye İlişkin Veriler	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a_x	x yönündeki ivme
a_y	y yönündeki ivme
F_x	x yönündeki kuvvet
F_y	y yönündeki kuvvet
g	Yer çekimi kuvveti
V_x	x yönündeki hız
V_y	y yönündeki hız
β	Hedef uçuş yolu açısı
γ	Füze uçuş yolu açısı
λ	Görüş Hattı Açısı

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANS	Ataletsel Navigasyon Sistemi
BF	Balistik Füze
HSF	Hava Savunma Füzesi
HSS	Hava Savunma Sistemi
KKS	Küresel Konumlama Sistemi
km	Kilometre
m	Metre
NATO Organization)	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty
SM 3	Standard Missile 3 (Standart Füze 3)
THAAD Hava Savunması)	Terminal High Altitude Area Defense (Bölgesel Yüksek İrtifa

1. GİRİŞ

Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi Güdümü üzerine yazılan bu tezin ilk bölümünde gerçekleştirilen çalışmalar ve tezin yapısı hakkında kısa bir bilgi verilerek, kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Tez çalışması, balistik yörünge izleyen bir hedefin atmosfer dışında önlenmesine yönelik güdüm çalışması üzerine kurgulanmıştır. Bu çalışmada zamana bağlı atış kontrol problemine yönelik MATLAB-Simulink kullanılarak Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi'nin balistik bir hedefi önleme bölgesi, önleme zamanı ve çarpışma hızı bulunarak sunulmuştur.

Tezin ikinci bölümünde Balistik Füzesi üzerinde durulmuştur. Balistik Füzesi, koordinatları önceden belirlenmiş bir hedefi yok etmek amacıyla eliptik yörünge izleyen sistemlerdir [1]. Balistik Füzesi 2. Dünya Savaşından bu yana caydırıcı güç olarak ülkeler tarafından kullanılmakta olup itki sistemi, güdüm ve kontrol bölümü ile harp başlığı bölümlerinden oluşmaktadır. Balistik Füzesinin itki sistemleri katı, sıvı ve hibrit yakıtlı olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma aynı zamanda Balistik Füzesinin sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır.

İtki sistemi yardımıyla ilk hareketi alan füze fırlatma, arayol ve terminal fazlardan oluşan bir yörünge izleyerek hedefine varmaktadır [2]. Fırlatma fazında Balistik Füze üzerine uygulanan itki kuvvetinin etkisiyle kinetik enerjisini potansiyel enerjiye çevirerek yükselecek ve alınan enerjinin tükenmesiyle yeniden hızlanarak alçalmaya başlayacak en nihayetinde belirtilen koordinata düşmektedir. Balistik Füzesi menzillerine göre kısa, orta, ara ve kıtalararası olarak 4 farklı kategoride sınıflandırılmaktadır [1]. Bu sınıflandırma Balistik Füzenin gerektirdiği enerji ve buna bağlı olarak yakıt miktarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. [3]'de yer aldığı üzere Balistik Füze hareket denklemleri kullanılarak Balistik füzenin izleyeceği yörünge, belirlenen hedefe varmak için gereken hız ve hedefe ulaşma süresi hesaplanabilmektedir. Ayrıca, menzillerine göre

sınıflandırılan balistik füzelerin hava savunma sistemleri tarafından tespit edilmesiyle Balistik Füze'ye göre Hava Savunma Füzesi tayin edilebilecektir.

Üçüncü bölümde, Hava Savunma Sistemi tanımı yapılarak katmanlı HSS'lerden kısaca bahsedilmiştir. Katmanlı Hava Savunma Sistemi, farklı türdeki hedeflere karşı farklı Hava Savunma Füzelere kullanılmalarını amaçlayan bir yaklaşımdır [4]. Bu yaklaşımın değerlendirilebilmesi için hava savunma radarlarının hız ve konum bilgilerini tayin ederek sistemde işlendiği ve bunu yaparken 2 ya da 3 eksenli radarların kullanılabilmesi aktarılmıştır. [5]'e göre Anti-Balistik Füze kavramlarından; art arda atışı tanımlayan salvo atış kavramının, tepki süresi ve zamana bağlı olarak geliştirilen öğretilerin önemi vurgulanmıştır. Buna göre "Vur", "Vur-Vur", "Vur-Bekle-Vur" gibi öldürücülük değerlendirilmesinin yapılarak tekli ya da salvo kararının verilerek imha olasılığının artırılması için kullanıcıya bilgi vermektedir. Bunlara ek olarak üçüncü bölümde, ülkelerin sahip olduğu Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzelere örnekler verilerek, tez çalışmasında referans olarak alınacak THAAD ve SM3 gibi sistemlerin özellikleri detaylandırılmıştır.

Anti Balistik Füzelere Oransal Seyir Güdümü yöntemi kullanılabilmesi [6]'da belirtilen çalışmalar incelenerek değerlendirilmiştir. Oransal Seyir Güdüm yönteminde kullanılan birden fazla metod bulunmakta olup sisteme uygulanabilirlik ve gerçeklik bağlamında incelendiğinde Yalın Oransal Seyir Güdümü yönteminin kullanılmasının daha gerçekçi olduğu değerlendirilmiştir [7]. Bu bilgilerden yola çıkarak denklemler oluşturulmuş ve matematiksel modelleme oluşturulmuştur.

Dördüncü bölüm içerisinde; Balistik Füzenin önlenmesine yönelik bir ateş kontrol problemi oluşturulmuştur. Ateş kontrol problemine göre, tespit işlemi yapılan Balistik Füzenin oluşturulan benzetimler sonucu, hız ve konum bilgileri hesaplanmıştır. Hesaplanan bilgiler kullanılarak Anti Balistik Füzenin yetenekleri içerisinde zamana bağlı olarak önleme menzili, irtifasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Zamana göre çizdirilen grafikler ile Anti Balistik Füze kullanıcısının balistik hedefi nerde ve ne zaman imha edebileceğine ve bu doğrultuda öğretiler oluşturularak ateşleme senaryolarının önceden belirlenmesi sağlanmıştır.

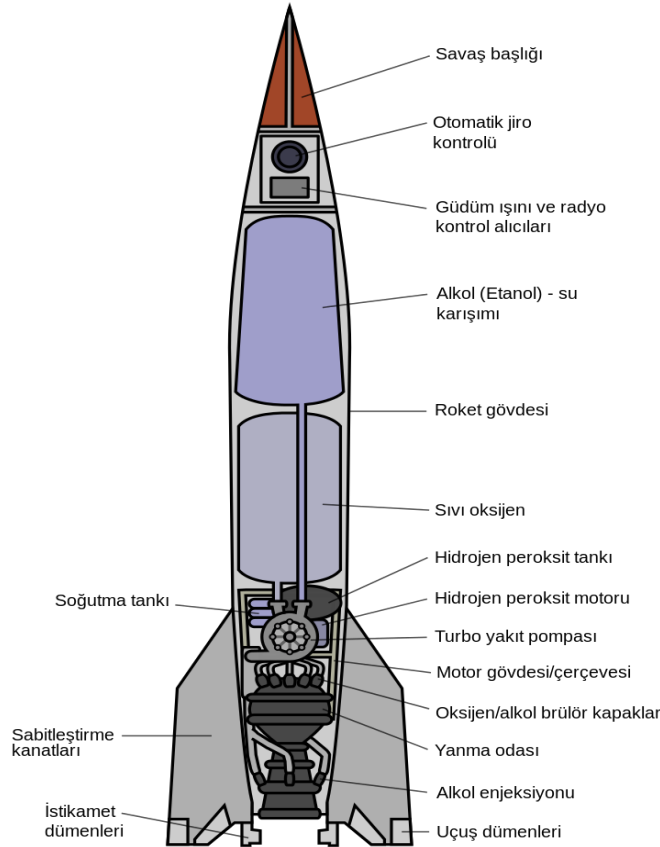
Beşinci bölüm olan Sonuçlar bölümünde ise elde edilen benzetim sonuçlarından çıkarımlar yer almakta olup gerçekleştirilen çalışmanın iyileştirme alanları ile muhtemel kullanım alanları üzerinde durulmuştur.

2. BALİSTİK FÜZE TEKNOLOJİSİ

2.1. Balistik Füze Nedir?

Balistik Füze, koordinatları belirli bir kara hedefini kullanışsız hale getirmek ya da yok etmek amacıyla savaş başlığı adı verilen faydalı yük taşıyan ve roket motoru tarafından sağlanan itkiyle belli bir yörüngede hareket eden sistemlerdir [8]. Balistik Füzeler, özel fırlatma araçlarından fırlatılabileceği gibi yer üstü veya yer altı, su üstü veya su altı gibi platformlardan da atılabilirler [1].

BF'lerin çalışma prensibi ok, sapan gibi ilkel silahlar ile aynı temel mantığa sahip olup başlangıçta elde edilen bir itiş gücü ve buna bağlı olarak uçuşun geri kalanının yer çekimi kuvveti ile gerçekleştirilmesi prensibine dayanır. Ancak, günümüz balistik füzelerinin ortaya çıkması Almanya'nın tasarladığı V2 füzeleri ile başlar. Bu füzeler 1930-1940 yılları arasında geliştirme çalışmaları W. V. Braun ve ekibi tarafından tamamlanmış olup ilk başarılı denemesini 1942 yılında gerçekleştirmiştir [9]. İlk olarak 2. Dünya Savaşı sırasında Paris'e düzenlenen harekâta kullanılan V2, savaşın bitimine kadar yaklaşık 3000 adet kullanıldığı tahmin edilmektedir [9].



Şekil 2.1: Alman V2 Füzesi [9]

Şekil 2.1’den görülebileceği gibi bir balistik füze temelde 3 bölümden oluşur. Bunlar; itki sistemi, güdüm ve kontrol bölümü ile savaş başlığı bölümüdür.

2.1.1. İtki Sistemi

Balistik Füzelere itiş gücü için katı, sıvı veya hibrit yakıtlı sistemler tarafından sağlanabilmektedir [10]. Katı Yakıtlı İtki Sistemi en eski yöntemlerden olduğu için tasarlanması diğer sistemlere kıyasla daha kolaydır [10]. Hem yakıtının hem de oksitleyicisinin katı fazda olduğu bu sistemler, yakıt ve oksitleyicinin reaksiyona girmesinden sonra ortaya çıkan itki kuvvetiyle füzeye ivme kazandırır. Yakıt yanma işlemi tamamlanana kadar hız kazanan füzeler tüm yakıt bittiğinde en yüksek hıza ulaşır ve öngörülen hedefe doğru serbest uçuş gerçekleştirir. “Katı Yakıtlı sistemlerde hız kontrolü yapılamamaktadır çünkü yanma reaksiyonu bu tip sistemlerde kontrol dışı gerçekleşmektedir [10]. Katı Yakıtlar; uzun süre depolanabilmesi ve kararlı bir yapıya sahip olması nedenleriyle tercih edilebilirler.

Sıvı Yakıtlı İtki Sistemleri, yakıt ve oksitleyicinin muhafaza edilebilmesine yönelik olarak birbirinden ayrı 2 adet tank kullanırlar. Sistem tarafından arzu edilen itkinin üretilmesi için pompa ve vana gibi yardımcı elemanlar kullanılarak yanma olayının gerçekleşmesi ve itkinin meydana gelmesi gerekmektedir. Sıvı Yakıtlı sistemler; depolama şartları, hassas pompa ve yardımcı elemanlar ile sürecin zorluğu sebepleriyle dezavantajlı sistemlerdir. Ancak; itki kuvvetinin ayarlanabilmesi, sistemin tekrar başlatılabilmesi ve yüksek özgül darbeli olmaları sebepleriyle tercih edilebilirler [10].

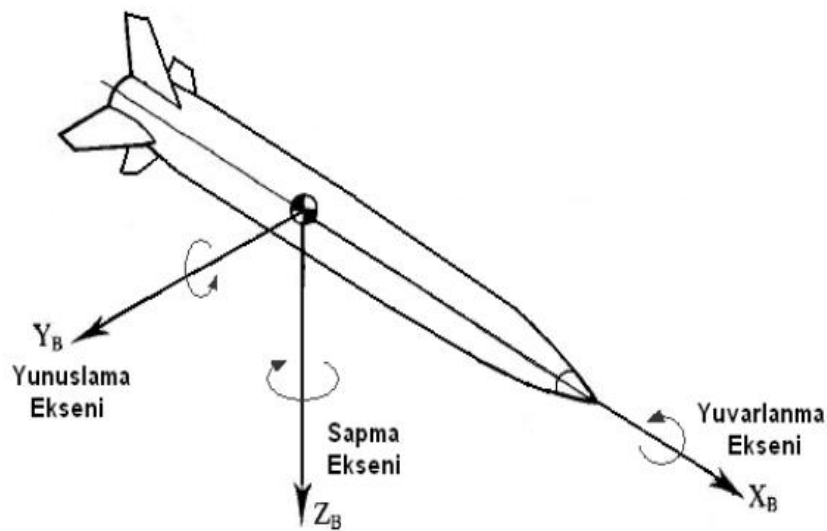
Hibrit Yakıtlı İtki Sistemlerinde yakıt ve yanıcı için katı sıvı ayrımı bulunmamaktadır. Katı ve Sıvı Yakıtlı Sistemlerin istenmeyen özelliklerini telafi eden Hibrit Yakıtlı Sistemler böylelikle her iki yakıt formunun da sisteme fayda sağlayacak özelliklerini kullanabilmektedir [4,5]. Katı yakıtlı sistemlerin aksine durdurulabilir veya tekrar başlatılabilir olan sistem, aynı zamanda katı yakıtlı sistemlere göre daha fazla itki üretebilir.

2.1.2. Güdüm ve Kontrol Bölümü

Balistik Füzenin önceden belirlenen hedefe yüksek doğrulukla uçabilmesi, hareketi boyunca alınan konum ve hız bilgilerine doğrudan bağlıdır. Bu bağlamda, konum ve hız bilgilerine ulaşmasını sağlamak güdüm ve kontrol bölümü tarafından gerçekleştirilir.

Uçuş süresince, füzede bulunan ANS, füzenin ivmesini algılaması beklenmektedir. Güdüm ve Kontrol bölümünde, algılanan ivmeler füzenin hız, konum ve yön bilgilerini saptamak için kullanılır [12]. Saptanan veriler sürekli kontrol edilerek düzeltme mesajı gönderilir ve füzede bulunan kanatlar yardımıyla konum sürekli güncellenerek füzenin doğru konumda kalmasını sağlar.

Füze'nin belirlenen yörüngede kararlı bir şekilde uçuşmasını sağlayan kontrol birimi, yuvarlanma (roll), yunuslama (pitch) ve sapma (yaw) eksenlerinde hataları en aza indirir. Füzeler, burun ucundan arkada kanatlara kadar simetrik bir eksene sahiptir ve bu yuvarlanma eksenine, hareketi ise dönme ya da yuvarlanma hareketi olarak adlandırılır. Füzenin ağırlık merkezi boyunca dönme eksenine dik bir şekilde eksen çizildiğinde bize sapma eksenini ve bu eksenindeki hareketi ise sapma hareketini tanımlar. Yunuslama eksenine, yuvarlanma ve sapma eksenlerine dik olan eksenlerdir ve bu eksenindeki hareketi yunuslama hareketi olarak adlandırılır. Buradan anlaşılacağı gibi bahsedilen 3 eksenin kesiştiği nokta bize aynı zamanda füzenin ağırlık merkezini verir. Füze hareketinin uçuş yolunu etkileyen ve bu hareketinde herhangi bir sapma olması durumunda füze kararlılığına en büyük etkisi olan eksenler yunuslama ve sapma eksenleridir [13]. Yunuslama eksenindeki hareket füzelerin burnunun yukarı aşağı doğru hareketini tanımlarken, sapma eksenindeki hareket füzelerin burnunun yatayda sağa sola hareket etmesine neden olur.



Şekil 2.2: Füze Eksenleri ve Hareket Tanımları [13]

Temelde Balistik Füzenin güdüm ve kontrol bölümü içerisinde; seyrüsefer sistemleri, güdüm algoritmaları ile otopilot tasarım ve yazılımları bulunurken bu sistemlere ek olarak GPS gibi yardımcı navigasyon uygulamaları ve donanımlar da bu bölüm içerisinde yer alabilir. Seyrüsefer sistemleri ivmeölçer, dönüölçer yardımıyla füzenin uçtuğu süre zarfında hız ve konum bilgisini işleyerek güdüm sistemine iletir. Güdüm sisteminde bu veriler ve belirlenen güdüm algoritması kullanılarak sistemin 3 ekseninde hareketini belirleyerek sistemin hedefe yönlendirilebilmesi için gereken ivme bilgileri otopilota gönderilecektir. Otopilotun görevi ise, bu bilgiler ışığında füzeye rota düzeltme talimatı vererek füzenin kararlı bir şekilde yol almasını sağlamaktır [14].

2.1.3. Savaş Başlığı

Füzenin en önemli alt bileşenlerinden olan Savaş Başlığı, füzenin hedefi tahrip etme ya da yok etme kabiliyetini sağlayan bölümdür. Balistik Füzelere, kimyasal veya biyolojik savaş başlıklarının kullanılması, izlenen yörünge ve ulaşılan hız düşünüldüğünde beklenmemektedir.

Nükleer savaş başlıkları, fiziksel olarak taşıma zorluluklarına sahip olmalarına rağmen, hedefte bıraktığı tahribat ve yıkıcı etki düşünüldüğünde Balistik Füzelere sık kullanılmaktadır. Nükleer başlıklı füzelere, bir şehrin ya da bölgenin tamamının yok olmasına yetecek güce sahip olduğundan çok hassas bir güdüm ve kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar [15].

Konvansiyonel savaş başlıklarına sahip füzelere hedef üzerinde beklenen tahribatı bırakabilmek adına daha hassas güdüm ve kontrol mekanizmasına sahip olmalıdırlar. Konvansiyonel savaş başlıkları parça tesirli, patlama tesirli, çukur imlâli ve özel amaçlı (termobarik, anti-radyasyon vb.) savaş başlıkları olarak sınıflandırılabilir [16]. Bu tip sistemlerin kullanımında düşük savaş başlığı etkisi ve hassas bir şekilde hedefe varma durumu düşünüldüğünde hedef tipi analizinin yapılarak savaş başlığı seçiminin yapılması önemli bir hâl almaktadır.

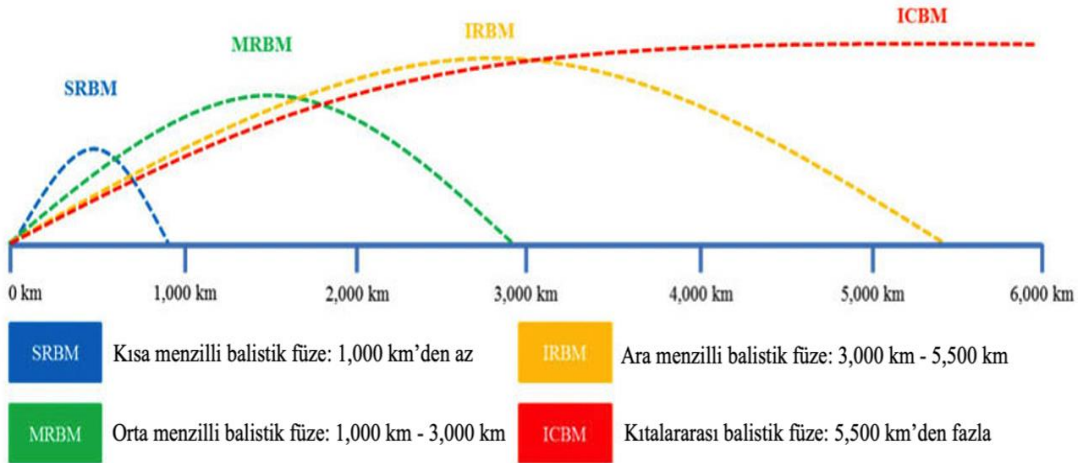
2.2. BALİSTİK FÜZELERİN SINIFLANDIRILMASI

Balistik Füzeler, yakıt tiplerine, güdüm tiplerine, savaş başlığı tiplerine ve fırlatma platformlarına göre sınıflandırılabilceği gibi temel olarak menzillerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmaya ABD ve Rusya'ya göre 2 farklı bakış açısıyla ele alınmaktadır.

ABD bakış açısına göre, Balistik Füzelerin menzile göre sınıflandırılmasında 4 kategori vardır [1,17]. Bunlar;

- i.Kısa Menzilli Balistik Füzeler: <1000 km (SRBM)
- ii.Orta Menzilli Balistik Füzeler :1000 km-3000 km aralığındaki füzeler (MRBM)
- iii.Ara Menzilli Balistik Füzeler: 3000 km-5500 km aralığındaki füzeler (IRBM)
- iv.Kıtalararası Balistik Füzeler: >5500 km (ICBM) [17]

Kısa ve Orta Menzilli Balistik Füzeler harekât alanı balistik füzeleri olarak adlandırılırken, Ara Menzilli ve Kıtalararası Balistik Füzeler Stratejik balistik füzeler olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.3: Balistik Füzelerin Sınıflandırılması [18]

Rusya bakış açısına göre Balistik Füzeler 5 farklı menzil sınıfında ele alınırlar [1,17].

- i.Taktik Balistik Füzeler <50 km,
- ii.Operasyonel Taktik Balistik Füzeler: 50 km -300 km aralığındaki füzeler,
- iii.Operasyonel Balistik Füzeler: 300 – 500 km aralığındaki füzeler,
- iv.Operasyonel Stratejik Füzeler: 500-1000 km aralığındaki füzeler
- v.Stratejik Füzeler: >1000 km [17]

Çizelge-2.1’de bazı ülkelerin sahip oldukları veya geliştirme çalışmaları devam eden balistik füzeler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ülkelerin Sahip Olduğu Balistik Füzeler [1, 17]

Ülke	Sistem Adı	Menzil	İtki Sistemi
Afganistan	Scud-B	300 km	Sıvı
Ermenistan	Scud-B	300 km	Sıvı
	Iskandar E	280 km	Katı
Çin Halk Cumhuriyeti	B611	250 km	Katı
	M-7	190-250 km	Sıvı
	DF-4	>5500 km	Sıvı
	DF-5	12000 km	Sıvı
	DF-11	280 km	Katı
	DF-15A	900km	Katı
	DF-16	800-1000 km	Katı
	DF-21	1750 km	Katı
	DF-21C	2500km	Katı
	DF-26	4000 km	Katı
	DF-31A	11000 km	Katı
	DF-41	15000 km	Katı
	Julang (JL) 1 (SLBM)	1000 km	Katı
	Julang (JL) 2 (SLBM)	7000 km	Katı
Mısır	Scud-B	300 km	Sıvı
	Scud-C	550 km	Sıvı

	Sakr-80	80 km	Katı
Fransa	M45 (SLBM)	4000-6000 km	Katı
	M51.1	6000 km	Katı
	Prithvi-III	350 km	Katı
	Sagarika/K-15 (SLBM)	700 km	Katı
	Agni-I	1200 km	Katı
	Agni-III	3200 km	Katı
	Agni-V	5200 km	Katı
	Agni-VI	10000 km	Katı
	K5 (SLBM)	6000 km	Katı
İran	Mushak-120	130 km	Katı
	Qiam-1	1000 km	Sıvı
	Fateh-313	500 km	Katı
	Shahab	300 km	Sıvı
	Shahab-3 (Zelzal-3)	1000 km	Sıvı
	Ghadr 1/Modified Shahab-3/Kadr Ghadr 110	2000 km	Sıvı
	Ashura/Sejjil/Sejjil-2	2500 km	Katı
	Khoramshahr	2000 km	Sıvı
	İsrail	LORA	280 km
Jericho-2		3500 km	Katı
Jericho-3		6500 km	Katı

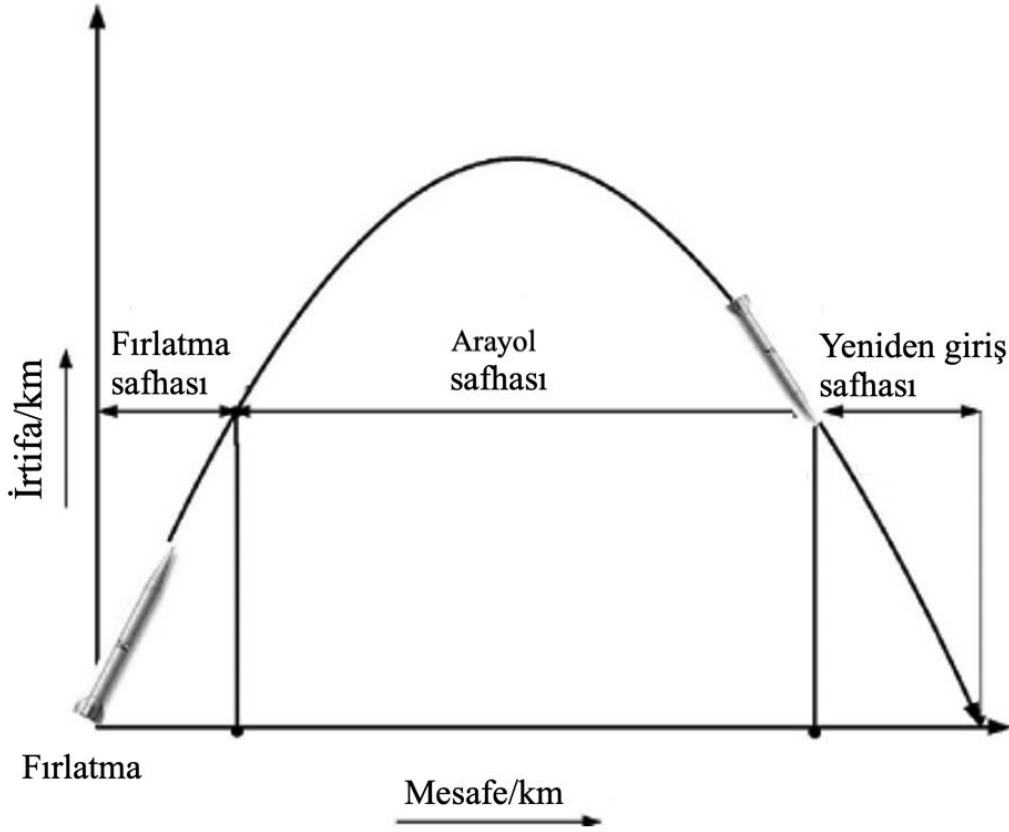
Kuzey Kore	KN-02	170 km	Katı
	Hwasong 6	500 km	Sıvı
	Hwasong 7	1000 km	Sıvı
	Taepo Dong-1	5000 km	Sıvı
	Taepo Dong -2	10000 km	Sıvı
	Hwasong 12	4500 km	Sıvı
	Hwasong 13	11500 km	Sıvı
	Hatf-3 (Ghaznavi)	290 km	Katı
	Shaheen-1A (Hatf-4)	900 km	Katı
	Ghauri-1 (Hatf-5)	1500 km	Sıvı
	Shaheen-2 (Hatf-6)	2500 km	Katı
	Ghauri-3 [12]	3000 km	Sıvı
	Rusya	RS-20V	16000 km
RS-18		10000 km	Sıvı
SS-21		120 km	Katı
SS-24		10000 km	Katı
Iskander		500 km	Katı
SS-N-8 (SLBM)		8000 km	Sıvı
Sturgeon (SLBM)		8300 km	Katı
Suudi Arabistan	DF-3	2600 km	Sıvı
	SS-21	120 km	Katı
Güney Kore	NHK-1	180 km	Katı
	NHK-2	250 km	Katı
	NHK-2B	800 km	Katı

	ATACAMS Blok-1	165 km	Katı
Türkiye	ATACAMS Blok-1	165 km	Katı
	Yıldırım	150 km	Katı
	BORA	280 km	Katı
Birleşik Krallık	D-5 Trident-II	12000 km	Katı
ABD	ATACAMS Blok-1	165 km	Katı
	ATACAMS Blok-1A	300 km	Katı
	Minuteman III	13000 km	Katı
	D-5 Trident-II	12000 km	Katı

Çizelge 2.1’den anlaşılacağı üzere Kıtalararası Balistik Füzelere sahip ülke sayısı oldukça az olup bunlar ABD, Rusya Çin, Kuzey Kore, Birleşik Krallık ve Fransa olarak gözlemlenmektedir. Diğer ülkelerin ise daha çok taktik balistik sınıf olarak adlandırılan füze sınıfında mühimmatlarının olduğu dikkat çekmektedir. Tüm sistemler incelendiğinde benzer menzile gitmekte olan füzelerin farklı yakıt tipine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, çizelgede verilen sistemlerin bir kısmı satıhtan atılabildiği gibi bir kısmı da denizaltı platformlardan atılabilmektedir.

2.3. BALİSTİK FÜZE UÇUŞ SAFHALARI

Parabolik yörüngeye sahip Balistik Füzelere hedefe varmak için 3 aşamadan oluşan bir uçuş safhasından geçerler. Bunlar; fırlatma safhası (boost phase), arayol safhası (midcourse) ve sonlanma (terminal) safhasıdır [2].



Şekil 2.4: Balistik Füze Uçuş Fazları [2]

Fırlatma/İtki Safhası (Boost Phase): Üzerindeki faydalı yük ile, belli bir açıyla ateşlenen füzenin hedefe varması için gerekli olan hızı elde ettiği aşamadır. Yer çekimi kuvvetine ters yönde gerçekleştirilen tırmanma hareketi atmosferin bitiş noktasına kadar sürer. Bu safhanın sonunda, balistik füze atmosfer dışına erişmiş ve görevi gerçekleştirmesi için ihtiyaç duyduğu hıza erişmiştir [2,19].

Balistik bir füzenin menzili, motor gücü ve toplam ağırlığına bağlı olduğu gibi ateşleme açısına da bağlıdır. Azami menzile gönderilmek istenen balistik füzenin ateşleme açısının 45 derece olması gerekmektedir. Bu şekilde ateşlenen balistik füze, enerjisinin yarısını irtifaya diğer yarısını da yatayda aldığı yola harcar. Bu çerçevede incelendiğinde, aynı balistik füzenin daha yüksek açıyla fırlatılması durumunda irtifa olarak daha yükseğe çıkacağı, menzil olarak ise daha yakına düşeceği yorumu çıkartılabilir. Buna bağlı olarak da uçuş fazları arasında süreler değişebilmektedir.

Bu safha, itkiyi sağlayan motorun tükmesiyle sonlanır. Yeterli hıza ulaşan füze, kendi momentumu ile yer çekimi etkisiyle bir sonraki safhaya geçer.

Arayol Safhası (Midcourse Phase): Motor yanma işlemi bittikten sonra başlayan uçuşun bu fazı, füze uçuşu boyunca en çok zaman harcanan fazdır. Atmosferin dışına ulaşan füze, bir önceki safha sonunda elde ettiği momentumundan faydalanarak balistik yörüngede hedefe doğru ilerler. Kıtalararası Balistik Füzelere için uçuşun bu fazı 20 dk'ya kadar sürebilmektedir. Füze, uçuş süresince en yüksek irtifaya bu faz sırasında ulaşır. Balistik Füzelerin en yüksek noktaya ulaşması "Apogee" olarak adlandırılmaktadır [19, 20].

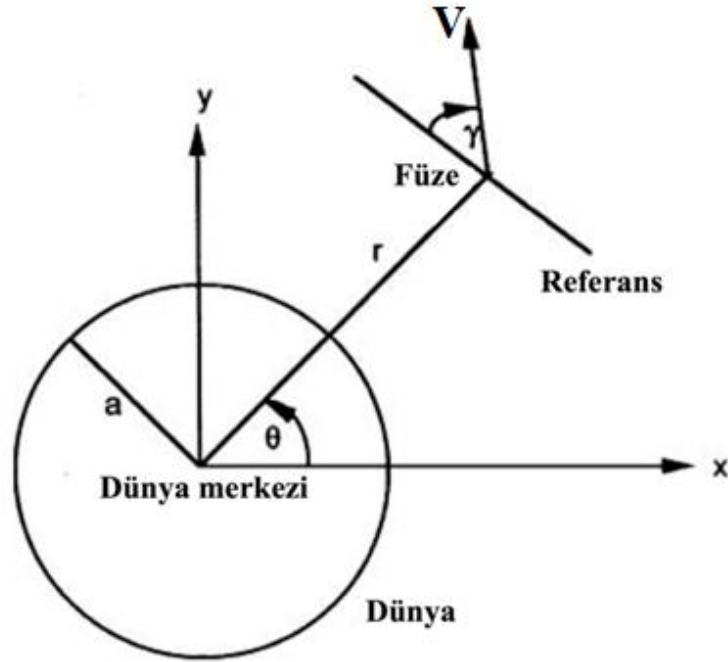
Terminal Safha (Terminal Phase): Uçuşun son safhası olan bu aşamada, füzelerin potansiyel enerjisinin tükmesiyle birlikte alçalması ve atmosfere girmesiyle başlar ve hedefe ulaşarak uçuşun tamamlandığı aşama olarak adlandırılır. Serbest düşme hareketi ile yere doğru hızla hareket eden füze en yüksek hızına atmosfere yeniden girmeden önce ulaşacaktır. Terminal Faz, Balistik Füze uçuşunun en kısa sürdüğü fazdır [20].

Balistik Füzelere, terminal safhada manevra hareketi için itki sistemi bulunmaz [19]. Bu sebeple, fırlatma aşamasında, motorun yanma süresi, hızı ve fırlatma açısı ile yönünün doğru tayin edilmesi, füzelerin hedefi vurması açısından büyük önem taşımaktadır. Motor yanma süresinin fazla olması, beklenenden daha yüksek bir hıza ulaşarak hedefin ilerisine düşmesine, az olması ise füzelerin daha yavaş hareket etmesi sebebiyle hedefin gerisine düşmesine yol açacaktır.

2.4. Balistik Yörüngenin Hesaplanması

Bir balistik füzelerin uçuşunu gerçekleştireceği yörüngeyi hesap etmek için 2 boyutlu dünya modeli üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yer çekimi etkisinde balistik bir yörünge hesaplanırken, diğer etkenler; dünyanın dönüş hızı ve atmosfer etkileri gibi etkenler hesaplamaya katılmamıştır.

Kütlesi m , hızı V ve fırlatma açısı γ olan bir füzenin 2 boyutlu x, y kartezyen düzleminde, merkezi $(0,0)$ noktasında, kütlesi M olan Dünya üzerinde hareketine ilişkin koordinat sistemi üzerinde gösterimi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5: Polar Koordinat Düzleminde Füze Hareketi Gösterimi

Bileşke hızı V olan füzenin x ve y yönlerindeki hızının V_x ve V_y olduğu varsayılarak denklemler açıklanacaktır. Bilindiği üzere, matematiksel olarak konum vektörünün türevi o yöndeki hız vektörünü, hız vektörünün türevi ise o yöndeki ivmeyi vermektedir. O halde bu ifade,

$$\dot{x} = V_x \quad (2.1)$$

$$\dot{y} = V_y \quad (2.2)$$

$$\dot{V}_x = a_x \quad (2.3)$$

$$\dot{V}_y = a_y \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Dünyanın kütlesi M olarak gösterilirse, füzeye etkiyen kuvvet dünyanın merkezine doğru α açısı ile olacaktır ve

$$F = \frac{GMm}{(x^2 + y^2)} \quad (2.5)$$

ile ifade edilir. Bilindiği üzere bir cisme etki eden kuvvet; cismin kütlesi ve ivmesinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. O halde;

$$a_x = \frac{F_x}{m} \quad \text{ve} \quad a_y = \frac{F_y}{m} \quad (2.6)$$

olacaktır. Ayrıca x ve y yönündeki kuvvetler temel olarak (2.7) ve (2.8)'de tanımlanmıştır.

$$F_x = -F \sin \alpha \quad (2.7)$$

$$F_y = -F \cos \alpha \quad (2.8)$$

Buradan yola çıkarak, x ve y yönünde füzeye etki eden kuvvetler

$$F_x = \frac{-GMm}{(x^2 + y^2)} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.9)$$

$$F_y = \frac{-GMm}{(x^2 + y^2)} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.10)$$

olarak ifade edilir. Bu denklem setinde G evrensel çekim sabitini tanımlamakta olup $GM = 3.986 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ olarak alınmıştır.

Tüm denklemler birleştirilerek 2.3 ve 2.4'te verilen denklem yeniden yazıldığında;

$$\dot{V}_x = \frac{-GMx}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}} \quad (2.11)$$

$$\dot{V}_y = \frac{-GMy}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}} \quad (2.12)$$

Böylelikle (2.1), (2.2), (2.11) ve (2.12) ile balistik uçuş denklemleri elde edilir.

Bu bölümde, temel olarak bir balistik füzenin uçuşuna ilişkin izlediği yörüngenin hesaplanması ve bunun formüle edilmesi işlemi aktarılmıştır. Bu denklemlerin sonucunda, füzenin bulunduğu yer ile hız bilgisinin bilinmesi durumunda, uçuşun izleyeceği yol çıkartılır.

Benzer şekilde, bu hesaplamalar polar koordinat sisteminde hesaplanarak aşağıdaki denklemler çıkartılmıştır.

Şekil 2.5'e göre füzenin dünya merkezine olan uzaklığı r olarak tanımlanmış olup, bu uzaklık vektörünün x eksenine yaptığı açı θ olarak verilmiştir.

Buradan x ve y eksenlerindeki konumları şu şekilde bulunur:

$$x = r \cos \theta \quad (2.13)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2.14)$$

(2.1) ve (2.2) de yer alan denklemler yeniden yazılırsa;

$$\dot{x} = V_x = \dot{r} \cos \theta - r \sin \theta \cdot \dot{\theta} \quad (2.15)$$

$$\dot{y} = V_y = \dot{r} \sin \theta + r \cos \theta \cdot \dot{\theta} \quad (2.16)$$

denklemleri elde edilir.

Bu denklemler kullanılarak m kütleli füzeye ait kinetik ve potansiyel enerji denklemleri şu şekilde olacaktır.

$$K = \frac{1}{2} m (V_x^2 + V_y^2) = \frac{1}{2} m (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2) \quad (2.17)$$

$$P = (-gMm/r) \quad (2.18)$$

Toplam Enerji = K + P formülüyle elde edildiğine göre;

$$TE = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) - (gMm/r) \quad (2.19)$$

Füzenin açısal momentumu;

$$p = r^2\dot{\theta} \quad (2.20)$$

olarak tanımlanır. Bu bilgiler ışığında, sisteme ilişkin kinetik ve potansiyel enerjilerin bilinmesi ya da bulunması durumunda sistemin dinamik analizi yapılabilir.

Böylece, (2.15) ve (2.16) kullanılarak polar düzlem üzerinde hareket denklemleri elde edilir.

$$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 + g\frac{M}{r^2} = 0 \quad (2.21)$$

$$2r\dot{r}\dot{\theta} + r^2\ddot{\theta} = 0 \quad (2.22)$$

Bu hareket denklemleri (2.11) ve (2.12)'de verilen balistik uçuş denklemleri ile eşdeğerdir. Balistik bir füzenin uçuşu boyunca açısal momentumun korunduğu gözlemlenir. Dolayısıyla füzenin başlangıçtaki açısal momentumu ve toplam enerjisi tüm uçuş boyunca korunacak ve bu değer kullanılabilir. Öyleyse;

$$p = r^2\dot{\theta} = r_0V_0\cos\gamma_0 \quad (2.23)$$

$$E_0 = \frac{1}{2}mV_0^2 - \frac{gMm}{r_0} \quad (2.24)$$

eşitlikleri elde edilir. r_0 başlangıç anındaki uzaklığı, V_0 başlangıç hızını γ_0 başlangıçtaki fırlatma açısı olarak ifade edilir. Balistik bir füzenin yörüngesini tanımlayabilmek için eşitlik 2.20'de verilen denklemin çözülmesi gerekir.

$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 + g\frac{M}{r^2} = 0$ Denklemine $1/r$ ifadesine u şeklinde ifade edilebilir. O halde u 'nun zamana göre değişimi

$$\frac{du}{dt} = \frac{du}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{d\theta} \cdot \frac{p}{r^2} \quad (2.25)$$

olarak elde edilir. Burada

$$\frac{du}{dt} = \frac{du}{dr} \cdot \frac{dr}{dt} \quad (2.26)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{-1}{r^2} \cdot \frac{dr}{dt} \quad (2.27)$$

ifadeleri yazılır.

Eşitlik (2.25) ve Eşitlik (2.27)'de verilen iki denklemde u parametresinin zamana göre değişimi vermektedir ve doğal olarak birbirlerine eşittir. O halde;

$$\frac{-1}{r^2} \cdot \frac{dr}{dt} = \frac{du}{d\theta} \cdot \frac{p}{r^2} = -p \cdot \frac{dr}{dt} \quad (2.28)$$

eşitliği bulunur.

Değişken değiştirme metodu kullanılarak $\frac{dr}{dt} = z$ olarak tanımlanırsa;

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{d\theta} \cdot \left(\frac{dr}{dt}\right) \cdot \left(\frac{p}{r^2}\right) \quad (2.29)$$

(2.29) eşitliği düzenlenerek

$$\frac{-p^2}{r^2} \cdot \frac{d^2u}{d\theta^2} = \frac{d^2r}{dt^2} \quad (2.30)$$

Elde edilen eşitlikler 2.21'de yerine yazılarak;

$$\frac{-p^2}{r^2} \cdot \frac{d^2u}{d\theta^2} - r \left(\frac{p}{r^2}\right)^2 + g \frac{M}{r^2} = 0 \quad (2.31)$$

sabit ifadeye sahip eşitlik elde edilir.

Açısal Momentumun korunumundan 2.21'de verilen formül p yerine yazılarak 2.31'de verilen denklem çözümlenebilir [3].

Elden edilen yeni denklem setleri (2.32) ve (2.33)'te verilmiştir [3].

$$(\theta) = \frac{gM}{p^2} \cdot (1 + e \cos(\theta + \emptyset)) \quad (2.32)$$

$$e = \sqrt{\left(1 + \left(\frac{TE}{gM}\right) \cdot \left(\frac{p}{gM}\right)^2\right)} \quad (2.33)$$

e eksantriklik, \emptyset ise dünya yüzeyinde füzenin atış noktası ile vuruş noktası arasındaki açı olarak tanımlanır. Eksantriklik değerine göre balistik yörünge izleyen bir cismin yörünge tipinin ne olduğu belirlenmektedir.

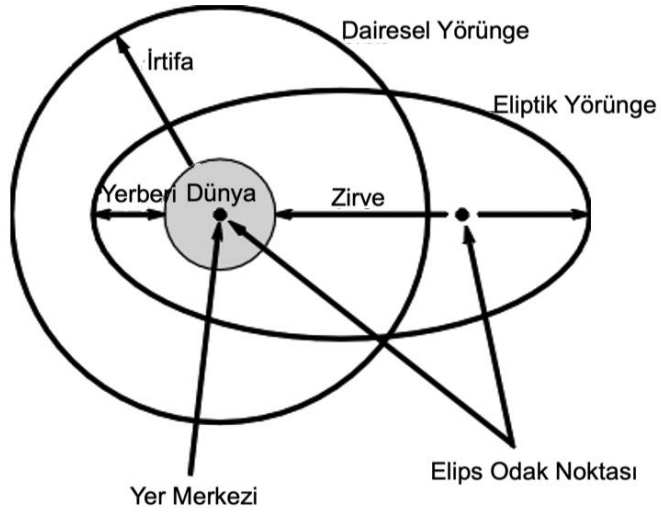
Buradan hareketle,

$e = 0$ ise cismin dairesel yörünge izlediği,

$e < 1$ ise cismin eliptik bir yörünge izlediği ve cismin Potansiyel enerjisinin Kinetik enerjisinden büyük olduğu,

$e > 0$ ise cismin hiperbolik bir yörüngede seyir ettiği ve cismin Kinetik enerjisinin Potansiyel enerjisinden büyük olduğu,

$e = 1$ ise cismin parabolik bir yörünge izlediği ve Toplam enerjisinin 0 (sıfır)'a eşit olduğu bilgisini vermektedir [7].



Şekil 2.6: Dairesel ve Eliptik Yörünge Gösterimi [21]

Bu denklem kümeleri; hem balistik füzelerin yörünge hesabında hem de uydu gibi sistemlerin yörünge belirlemelerinde kullanılabilir.

Dünya yüzeyinden atılan bir cismin kaçış hızı parabolik bir yörüngeyi yani Toplam enerjisinin sıfıra eşit olması durumunda bulunur. O halde;

TE = 0 ise (2.19)'da verilen denklem sıfıra eşitlenerek;

$$\frac{1}{2}(r^2 + r^2\dot{\theta}^2) = \frac{gM}{r} \quad (2.34)$$

ifadesi yazılabilir.

Burada $\dot{\theta} = 0$ ve $\dot{r} = v$ olarak alınır,

$$V_k = \sqrt{\frac{2gM}{r_0}}, \quad (2.35)$$

Dünyadan kaçış hızı olarak bulunur. r_0 başlangıç anında füzenin dünya merkezine uzaklığı olarak tanımlanır. Bu durumda dünya yüzeyinden atıldığı varsayılırsa bu değer Dünya'nın yarıçapı yani 6378 km alınır. Böylelikle, dünya yüzeyinden atılan cismin

dünyadan kaçabilmesi için gereken hız değeri dünyanın kütlesi ve dünyanın yarıçapıyla ilişkili olup 10.9 km/sn'dir.

Dünya yüzeyinden atılan ve yine dünya üzerinde bir noktadaki hedefi vuracak bir balistik füzenin vuruş denklemi (2.36)'da verildiği şekliyle hesaplanır.

$$\frac{1}{r(\theta)} = \frac{gM}{p^2} \cdot (1 + \text{ecos}(\theta)) \quad (2.36)$$

Burada θ açısı füzenin atıldığı konum ile vurduğu konumun x ekseninde açısal farkını ifade etmektedir. O halde, başlangıç ve bitiş konumu dünya yüzeyinde olduğu için r olarak tanımlanan uzaklık dünyanın yarı çapı olup her iki nokta için de birbirine eşit olup $r = a$ alınabilir. Bu durumda eşitliğin yeniden yazılmış hali (2.37)'de gösterilmektedir.

$$\frac{1}{a} = \frac{gM}{p^2} (1 + \text{ecos}(\theta)) \quad (2.37)$$

(2.37)'de verilen denklem açısal momentum ve enerjinin korunumunda faydalanılarak başlangıç koşullarına göre hesaplanabilir.

$$\frac{1}{a} = \frac{gM}{(aV_0 \cos \gamma_0)^2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2} V_0^2 - \frac{gM}{a} \right) \left(\frac{aV_0 \cos \theta_0}{gM} \right)^2} \cos \theta \right) \quad (2.38)$$

Denklemden verilen γ_0 füzenin atış açısını, V_0 ise fırlatma hızını ifade etmektedir.

(2.38)'de elde edilen denklem incelendiğinde başlangıç hızı ve füzenin atış açısı değeri bilinmemektedir. Bir başka değişle atış açısı belirlendiği takdirde füzenin dünya üzerinde istenilen noktaya gitmesi için gereken hız değeri bulunabilecektir. İlgili denklem üzerinde gerekli düzenleme işlemleri yapılarak hız formülü elde edilir.

$$V = \sqrt{\frac{gM(1 - \cos \theta)}{r_0 \cos \gamma_0 \left(\frac{r_0 \cos \gamma_0}{a} - \cos(\theta + \gamma_0) \right)}} \quad (2.39)$$

Balistik Füzenin uçuşunda önemli diğer bir parametre ise zaman yani füzenin uçuş süresidir. (2.23)'de tanımlanan eşitlikten yola çıkarak balistik füzenin verilen hedefi vurması için gereken süre hesabı yapılır [3,7] .

[3]'de verilen ifadeler doğrultusunda Balistik Füze için uçuş zamanı

$$t_f = \frac{r_0}{V \cos \gamma} \left[\frac{\tan \gamma (1 - \cos \emptyset) + (1 - \lambda) \sin \emptyset}{(2 - \lambda) \left(\frac{1 - \cos \emptyset}{\lambda \cos^2 \gamma} + \frac{\cos(\gamma + \emptyset)}{\cos \gamma} \right)} + \frac{2 \cos \gamma}{\lambda \left(\frac{2}{\lambda} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{\frac{2}{\lambda} - 1}}{\cos \gamma \cot \frac{\emptyset}{2} - \sin \gamma} \right) \right] \quad (2.40)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Böylelikle eliptik bir yörünge için balistik füzenin hedefe ne kadar sürede varacağı hesaplanabilir.

Bu bölümde verilen denklemler ışığında balistik füzeler için;

- Eliptik bir yörüngeye sahip olduğu,
- Daha uzun mesafelere gönderilen füzeler için uçuş süresinin arttığı,
- Atış açısının arttırılmasının uçuş süresini arttıracığı,
- Balistik füzenin daha küçük açıyla atılmasının, enerjisini irtifa için değil alacağı yol için harcadığından daha uzun mesafelere gideceği çıkarımları kolaylıkla yapılabilir.

3. HAVA VE FÜZE SAVUNMA SİSTEMLERİ

Balistik Füzelere İkinci Dünya Savaşında etkin bir şekilde kullanımıyla birlikte, bu tip sistemlere karşı önlem alınmasının önemi anlaşıldı. İlk Balistik Füze olarak kabul edilen V2 füzelerinin kullanılmaya başlandığı sırada balistik hedeflerin savunulması ve durdurulabilmesi adına herhangi bir mühimmat bulunmamaktaydı [3]. Bu ihtiyacın görülmesinden sonra Balistik Füzeleri engelleyebilmek adına Hava Savunma Sistemleri ve Anti Balistik Füzelere geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur [11].

Sürekli gelişen teknoloji, ülkelerin balistik sistemlere yaptığı yatırımlar ve küreselleşen dünya ülkelerinin birbiriyle olan ilişkileri göz önüne alındığında; balistik füze sistemleri var olduğu ve geliştirildiği sürece hava ve füze savunma sistemlerine ihtiyaç olacağı anlaşılmaktadır.

3.1. Hava Savunma Nedir?

NATO tarafından Hava Savunma; dost olmayan tüm birliklerin hava etkinlik ve hareketlerini bertaraf etmek amacıyla oluşturulan önlemler bütünü olarak ifade edilmektedir [22]. Bir Hava Savunma Sisteminin en önemli kavramları tespit, konum ve zaman olarak düşünülebilir.

Hava ve Füze Savunma Sistemi, gelen bir füzeyi yok etmek amacıyla 4 ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar keşif ve gözetleme, algılama, silah kontrolü ve angajmandır [5]. Hava ve Füze savunma sistemi gelen füzenin türüne göre değişiklik göstermektedir. Balistik Füze Savunması ile Seyir Füzeleri Savunması iki farklı anlayışı içermektedir. Balistik Füze Savunması, balistik hedefin izlediği yola göre yani; tırmanma, ara yol ve terminal safhada gerçekleştirilebilir [22]. Seyir Füzeleri Savunması ise daha çok alan savunması esasına göre kurgulanmaktadır. Bu doğrultuda, bu bölümde Balistik Füze Savunması üzerinde durulacaktır.

3.2. Katmanlı Hava Savunma Sistemi

Hava ve Füze Savunma Sistemleri, irtifa ve menzile göre farklı tabakalara ayrılırlar ve hava güvenliğini sağlamak için; Alçak, Orta ve Yüksek İrtifa HSS olarak 3 katmanda değerlendirilebilirler [4, 22].

3.2.1. Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Alçak İrtifa HSS, menzilce 15-20 km aralıkta, 10 km irtifaya kadar önleme yeteneği olan sistemlerdir. Roketler, taktik sınıf füze ve insansız hava araçları ile helikopterler bu sistemin hedefleri arasında yer almaktadır. Alçak irtifada savunma yapmanın en büyük dezavantajı, düşmanın zarar verme olasılığının yüksek olmasıdır. Bu tip sistemlerin, terör unsurlarının elinde bulunan mühimmatlara karşı da kullanılması sebebiyle nizami olmayan savaşlarda oldukça etkili sistemlerdir [4, 23].

3.2.2. Orta İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Orta İrtifa HSS, 20 km irtifa ve 50 km menzile kadar savunma yapabilme yeteneğine sahip sistemlerdir. Kısa menzilli, satıhtan satıha balistik füze ve roketler ile stratejik insansız hava araçlarına karşı kullanılan sistemlerdir [4, 23].

3.2.3. Yüksek İrtifa Hava Savunma Sistemleri

Yüksek İrtifa HSS, çok uzun menzillerde ve çok yüksek irtifalarda, atmosfer dışı çalışabilen sistemlerdir.

Özellikle, kısa, orta, ara ve kıtalararası balistik füzelere karşı etkili olan sistemler bu tip hedeflere karşı kullanılacak yegâne yeteneğe sahip olduklarından oldukça gelişmiş sistemlerdir [4, 23]. Etkili alanında bulunan sistemlerin hızı, konumu ve manevra kabiliyeti düşünüldüğünde, Yüksek İrtifa HSS'lerin yardımcı unsurlarının oldukça gelişmiş olması, silah kontrolü ve zaman kontrolünün önceden planlanmış öğretiler ve kavramlar ile yapılması başarı oranını arttıracaktır.

3.3. Balistik Füze Savunması

Balistik Füzelerin önlenmesi genel olarak orta ve yüksek irtifa hava savunma sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu tip sistemlerde, Anti balistik füzeler kullanılarak, hedefin imha edilmesi hedeflenmektedir. Balistik Füze Savunması, balistik hedefin menziline göre çeşitlendirilmektedir.

3.3.1. Taktik Anti Balistik Füzeler

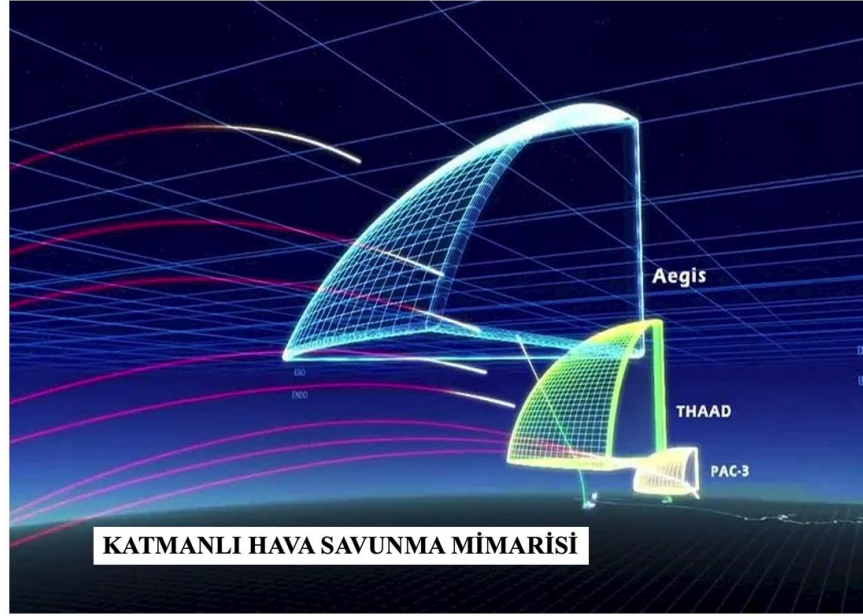
Kısa menzilli, görece daha düşük hızlı balistik füzelere karşı kullanılırlar. 80 km menzile kadar görev yapabilen ve orta irtifa hava savunma sistemlerinde kullanılan anti balistik füzelerdir. ABD Patriot (PAC 3) ve Rus S300 sistemleri örnek olarak verilebilir [25].

3.3.2. Bölgesel Anti Balistik Füzeler

Orta ve Ara menzilli Balistik Füzelere karşı kullanılan füzelerdir. Böylelikle, Yüksek İrtifa HSS'lerde kullanılabilir olup 200 km yarıçapa kadar etkili bir alanda ve atmosfer dışında başarılı bir şekilde görev yapabilmektedirler. Örnek olarak ABD THAAD ve Rus S400 füzeleri bu sınıfa girmektedir.

3.3.3. Stratejik Anti Balistik Füzeler

Ara menzilli ve kıtalararası BF'lere karşı kullanılan anti balistik füzelerdir. Hedeflerin yüksek hızı ve karmaşıklığı düşünüldüğünde benzer şekilde yüksek hıza sahip olması beklenen önleme füzeleridir. Oldukça gelişmiş radarlar ve yardımcı unsurlar ile 1000 km yarıçaptan daha fazla alanda özellikle atmosfer dışında etkili olurlar. ABD'ye ait Aegis silah sisteminde kullanılan SM3 Blok-1 ve Blok-2 Füzeleri bu sınıfa girmektedir [4,22,23]



Şekil 3.1: Katmanlı Hava Savunma Yapısı ve Anti Balistik Füzelere [25]

3.4. Anti Balistik Füze Kavramları

Anti Balistik Füzelere etkili bir şekilde angajman yapabilmesi için, yardımcı unsurlar olarak adlandırılabilir hava savunma radarları ile anti balistik füzenin çalışma prensibinin bilinmesi önemli olup bu bölümde bu konulara değinilecektir.

3.4.1. Hava Savunma Radarları

Hava Savunma Radarları, çok geniş bir alanda çalışan radarlardır. Balistik bir hedefin hız ve konum bilgilerini tayin ederek atış kontrol sistemine ileterek Hava Savunma Füzelerinin angajman için gerekli verileri almasını sağlar. Hava Savunma Radarlarının yer şekillerinden etkilendiği göz önünde bulundurulursa bu etkinin en aza indirilerek çalıştırılması Hava Savunma Füzeleri önleme kabiliyetine doğrudan etki edecektir.

Sadece uzaklık ve açı bilgisi veren radarlar 2 eksenli radarlar olarak adlandırılırken, bunların yanı sıra irtifa bilgisini de veren radarlar 3 eksenli radarlar olarak bilinmektedir [26]. Bu radarlar erken uyarı ihbar sistemleri ile düşman unsuru çok önceden tespit etmesi hedefin başarıyla imha edilmesine olanak sağlar. Tespit edilen balistik füzelerin, hız,

konum ve izlediği yol bilgisi anti balistik füze sistemi ateş idare birimine aktarılarak zamanında ve doğru bölgede angajman gerçekleştirilmesi sağlanır.

3.4.2. Tepki Süresi

Hava Savunma Radarları tarafından algılanan balistik füzenin hız ve konum bilgileri atış kontrol sistemine iletdikten sonra, anti balistik füzenin fırlatılarak angajman gerçekleştirilmesi beklenmektedir.

Tepki süresi, angajman gerçekleştirilmesi sırasında füze ile ilgili tüm operasyonların gerçekleştirilmesini sağlayarak savunma stratejisinin başarılı bir şekilde yürütülmesini ifade eder. Bu kavram hedefin tipine göre değişiklik gösterecek ve angajman zamanlamasının nasıl olacağını tayin edecektir. Açıklık getirmek gerekirse, kısa menzilli balistik füze, orta ve uzun menzilli balistik füzelere göre daha önce tepe noktasına ulaşacak ve hedefe daha önce yönelecektir. Bu kapsamda düşünüldüğünde, tespit edilen balistik füzenin kısa menzilli olduğunun anlaşılması durumunda anti balistik füzenin daha erken fırlatılarak angajmanın bir an önce gerçekleşmesi sağlanmalıdır [5].

Anti balistik füzenin fırlatılmasına kadar geçen süre içerisinde, tespit sonrası konum ve hız tayini, konum ve hız verilerinin sisteme aktarımı, algılanan hedefe yönelik doğru anti balistik füzenin seçimi ve füzenin ilklendirilmesi için gerekli işlemlerin yapılması beklenmektedir.

Füze ilklendirilmesi temel olarak, piroteknik ekipmanların ve bataryaların çalıştırılması, harp başlığının aktive edilmesi ile anti balistik füze sisteminin konumu ile ilgili bilgileri saptayabilmesi adına ataletsel ölçüm birimi gibi sistemlerin hazır olması anlamına gelmektedir [5].

Fırlatma komutunun verilmesi ile tüm bu işlemlerin yapılarak anti balistik füzenin ilk hareketine kadar geçen süre tepki süresi olarak tanımlanabilir. Tepki süresi, her sisteme göre farklılık gösterebileceği için tepki süresinin anti balistik füze sistemi kullanıcısı tarafından bilinmesi oluşturulacak öğretiler, angajman yeri ve zamanı için önemlidir.

3.4.3. Hava Savunma Füze Sistemi Öğretileri

Öğretilerin önceden hazırlanmış olması ve ihtiyaca göre güncellenmesi beklenmektedir. En temel ifadeyle, hedefin tipi ve özelliğine göre hava savunma füzesi seçimi bir öğretilerdir. Yine aynı şekilde ifade etmek gerekirse, tespit edilen balistik füze için önleme

yapılacak irtifa ve menzile göre silah seçimi ve bu aralığın belirlenmesi bir öğreti olarak sunulabilir. Anti Balistik Füze öğretisi füze sayısı olarak incelendiğinde angajman için gerekli füze miktarı ve bunların yetenekleri bakımından türünü ifade eder. Zaman kavramı açısından incelendiğinde ise, doğru zamanda angajmanın gerçekleşmesini ifade eder. Bu durumda, her iki öğretinin de anlaşılabilirliği ve doğru öğretilerin inşa edilebilmesi için “salvo süresi” kavramının bilinmesi gerekecektir.

Füzelerin, her bir ateşleme sonrası birbirini takip edecek şekilde fırlatılması arasında geçen zamana salvo süresi denilmektedir. Füzelerin tekli ve/veya salvo olarak fırlatılması anti balistik füze öğretilerinde önemli bir rol oynamaktadır. Füzelerin salvo olarak atılmasıyla hedefin imha oranı artabilecektir. Ancak salvo olarak planlanan ateşlemelerin “kardeş katli” denen bir dezavantajı bulunmaktadır. Kardeş katli, salvo olarak atılan füzelerden ikincisinin hedef füze yerine aynı silahtan ateşlenen ilk füzeye yönelmesi durumuna denir [5]. Bu durumun önüne geçilebilmesi için salvo süresinin yeterli ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Tüm bu bilgiler ışığında ateş idare öğretisi oluşturulabilir.

Ateş gücü; yeterli sayıda, doğru zaman ve doğru yerde hedefe füze göndermek olarak bilinir [5]. Ateş idare öğretisinin belirlenebilmesi/sağlanabilmesi için hedef füze ile savunulan bölge arasındaki mesafenin angajman yapabilecek yeterlilikte olması gerekmektedir. Ayrıca, anti balistik füzenin hedefi öldürme olasılığını arttırabilmek için kaçırma mesafesinin oldukça az olması beklenmektedir. Bu durumda, hedefin özelliğine göre seçilen doğru ve yeterli sayıda anti balistik füze ile hedefi yok etme ateş gücü öğretisini oluşturmaktadır.

Temelde, “Vur”, “Vur-Vur”, “Vur-Vur-Vur”, “Vur-Bak-Vur” ve “Vur-Vur-Bak-Vur” öğretileri anti balistik füzeler için ateş idare öğretisini oluşturmaktadır [5]. Bahsedilen öğretiler incelendiğinde, tekli atış, 2’li salvo ve 3’lü salvo atışlarının yanı sıra iki atış arası hedefi izleme ve öldürücülük değerlendirmesi bulunmaktadır. Burada seçilecek öğretilere göre hedef izleme ve öldürücülük değerlendirilmesi yapılması angajman zamanı için kritik öneme sahip olup, zaman çizelgesi belirlenmesinde bu husus göz önünde bulundurulmalıdır.

Böylece, anti balistik füze öğretisinin belirlenmesinde, ateşleme zamanı, salvo süresi, füze seçimi, öldürücülük olasılığı etkenlerinin rol oynadığı görülmüş olup doğru ve etkili öğretinin bu bilgileri içermesi gerekmektedir.

3.5. Ülkelerin Anti Balistik Füze Sistemleri

Aşağıdaki Çizelge 3.1’de bazı ülkelerin sahip olduğu ve/veya geliştirme çalışmaları devam eden orta ve yüksek irtifa anti balistik füzelerine ilişkin özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı Ülkelerde Bulunan Anti Balistik Sistemler [27]

Ülke	Sistem Adı	Menzil (km)	İrtifa (km)	Hız (Mach)
Çin	HQ-9	200	30	4.2
Rusya	9M38	30	14	3
Rusya	9M317	50	25	4
Rusya	S500*	600	200	15-20
Fransa/İtalya	Aster 15	30	13	3
Fransa/İtalya	Aster 30	120	20	4.5
Hindistan	Prithvi Programı	2000	80	5
ABD/İsrail	Arrow-3*	2400	100-120	?
ABD	THAAD	150-200	150-200	8
ABD	SM3 Blok1	900	510	10
ABD	SM3 Blok-2	1200	1500	15
Türkiye	Hisar-O	25	15	2
Türkiye	Siper*	150	20	?
Tayvan	Sky Bow-3	200	~100	7

*: Geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Çizelge 3.1 detaylı incelendiğinde atmosfer dışı önleme kabiliyetine sahip yüksek irtifa anti balistik füzelerin sayısı az olmakta olup, yeni geliştirme çalışmaları da bu alanda devam etmektedir. Bu nedenle, ABD tarafından geliştirilmiş anti balistik füzelerden THAAD ve SM3 sistemlerinin çalışma prensibi ve özelliklerini daha detaylı inceleyerek sistemlerle ilgili kapsamlı bilgi Bölüm 3.6’da verilmiştir.

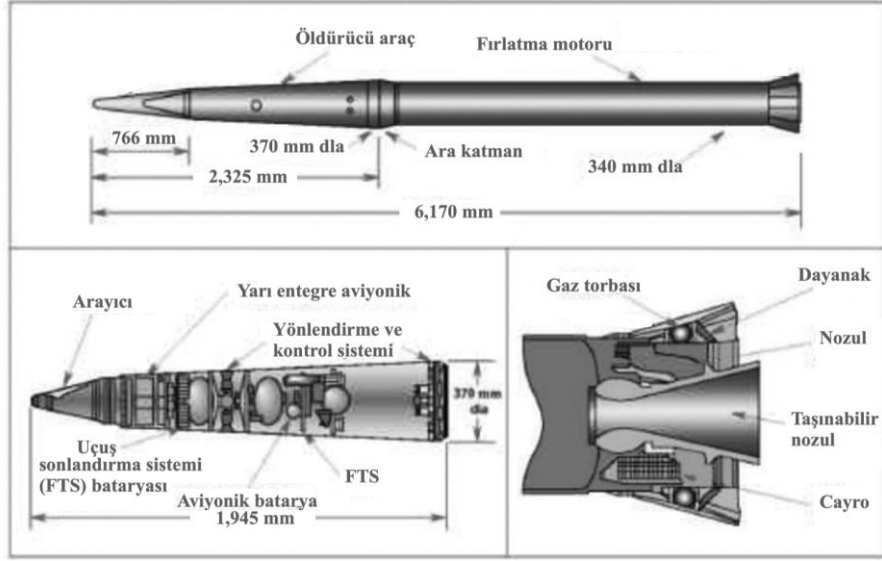
3.6.Yüksek İrtifa Anti Balistik Füzelere

Balistik Füzelere önlenebilmesinin en kolay yolu fırlatma evresinde önleme yapmaktır. Ancak, bu safhada önleme yapabilmek için istihbarı bilgilerin yanı sıra, çok uzun menzilli radarlar gibi yüksek yetenekli yardımcı unsurlara da sahip olunması gerekmektedir. Bu yüzden, Balistik Füzelere orta yol fazında ya da terminal fazda önlenmesi daha etkin bir çözüm olarak görülmektedir. Terminal fazda, balistik füzenin uçuş süresi oldukça kısaldığı göz önünde bulundurulursa angajman için zaman kısıtı olacak ve stratejik öneme sahip bölgelerin korunması tehlikeye girebilecektir. Bu sebeple, Balistik Füzenin orta yol fazında engellenmesine yönelik atmosfer dışı önleme yapabilen Yüksek İrtifa HSF'lerden örnekler sunulacaktır.

3.6.1.THAAD Anti Balistik Füze Sistemi

“Terminal High Altitude Area Defense” sistemi olarak bilinen THAAD Füzesi, ABD tarafından kısa ve orta menzilli Balistik Füzelere savunulmasına karşı geliştirilen anti balistik füze sistemidir. Yüksek İrtifada, atmosfer dışı önleme yapabilen sistem, balistik füzenin ara safhada ya da terminal safhada çarparak imha (hit to kill) yaklaşımıyla angajman gerçekleştirebilir [28].

Bu yaklaşıma sahip sistemler harp başlığı taşımayan sistemlerdir. Bu tip sistemlerde hedefi tam isabet vurarak kendi kinetik enerjisiyle hedefin imha edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sistemde, harp başlığı olmadan, sıfıra yakın kaçırma mesafesi ile önleme stratejisi izlendiği için radar menzilleri de, hedef tespitini etkili yaparak, süreyi verimli kullanmak adına fazladır. 1000 km'yi bulan radar menzili ile THAAD Füzesi önleme yapabileceği alanın çok daha ötesinde hedef tespiti ve takibi yapabilmektedir. 150-200 km aralığındaki mesafede ve irtifadaki sistemler THAAD tarafından imha edilebilirler. Böylelikle savunulan alanın çok ötesinde, atmosferin dışında angajman gerçekleştirilerek konvansiyonel harp başlığı taşıyan sistemlerin savunulan alana zarar vermesi engellenir [28, 29].



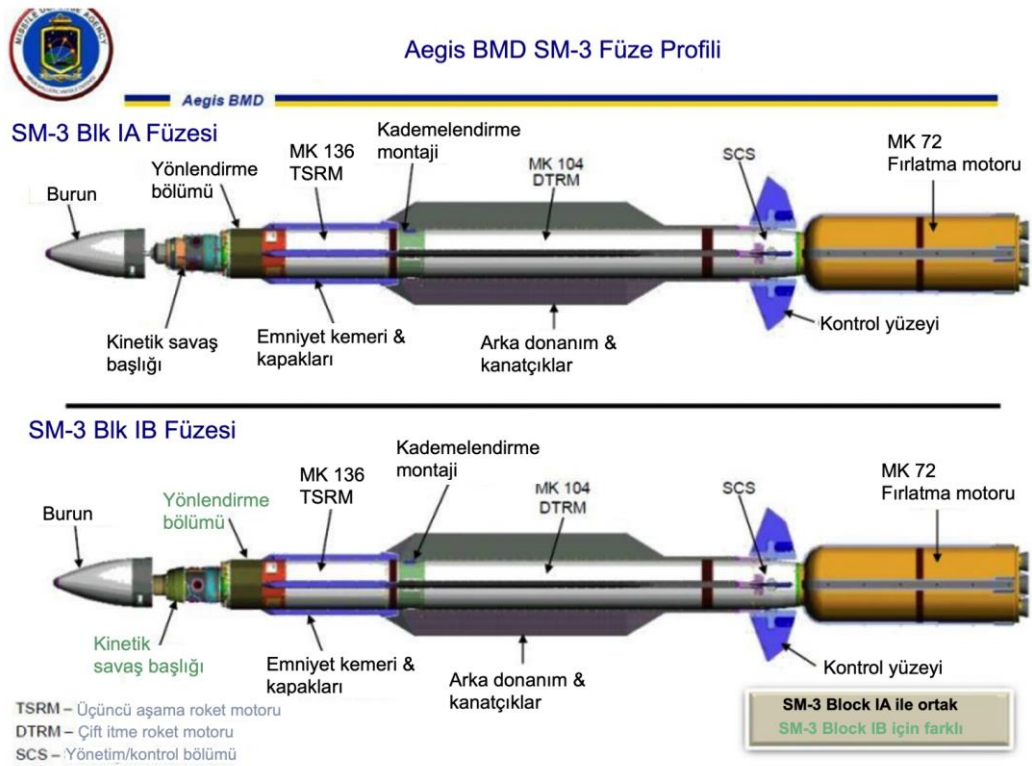
Şekil 3.2. THAAD Füze Mimarisi [29]

Çizelge 3.2. THAAD Füzesi Özellikleri

Boy	6170 mm
Çap	340 mm
Ağırlık	~900 kg
İtki	Tek kademe Katı Yakıtlı
Menzil	200 km
İrtifa	150 km
Hız	8.24 Mach
Hedef Kaçırma Mesafesi	Tam İsabet

3.6.2. SM 3 Füzeleri

ABD tarafından BF'lerin önlenmesi amacıyla su üstü deniz platformlarından fırlatılabilecek şekilde geliştirilen SM3 füzeleri karadan da kullanılabilme özelliğine sahiptir. Daha sonra geliştirilen versiyonları ile sadece BF'lere karşı değil aynı zamanda Alçak Dünya Yörüngesindeki uydulara karşı da kullanılabilme özelliği kazandırılmıştır. SM2 füzeleri baz alınarak tasarlanan SM3 füzelerinde yüksek irtifada önleme yapabilmek amacıyla 3 adet roket motoru ile itki sağlanmakta olup SM3 Füzeleri de THAAD'a benzer şekilde çarparak imha yaklaşımıyla çalışmaktadır [30].

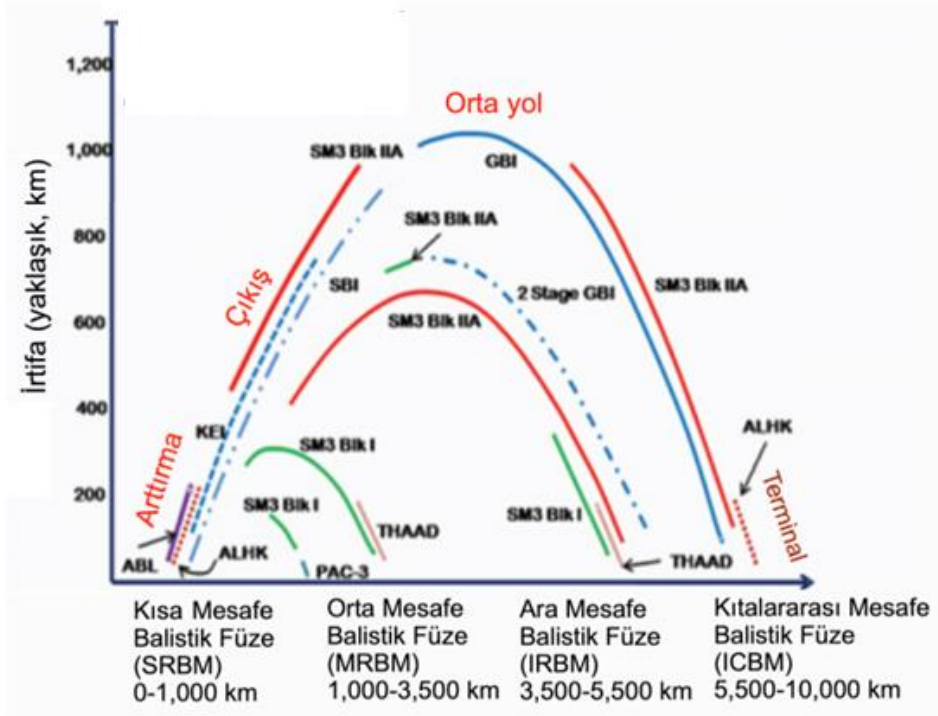


Şekil 3.3. SM 3 Füzelerine Ait Temel Mimari

Çizelge 3.3. SM 3 Füzesi Özellikleri

Boy	6550 mm
Çap	343 mm (Blok-1) 533 mm (Blok-2)
Ağırlık	~1500 kg
İtki	3 Kademe Katı Yakıtlı
Menzil	900 km (Blok-1) 1200 (Blok-2)
İrtifa	500 km (Blok-1) 1500 km (Blok-2)
Hız	10.2 Mach (Blok-1) 15.25 Mach (Blok-2)
Hedef Kaçırma Mesafesi	Çarparak İmha

Bölüm 3.6’da özellikleri verilen Yüksek İrtifa HSF olan THAAD, SM 3 Blok-1 ve SM 3 Blok-2 Füzesinin önleme yapabilecek menzil ve irtifa değerleri ile hız bilgileri Bölüm 4’te gerçekleştirilecek benzetimlerde referans olarak alınacaktır.

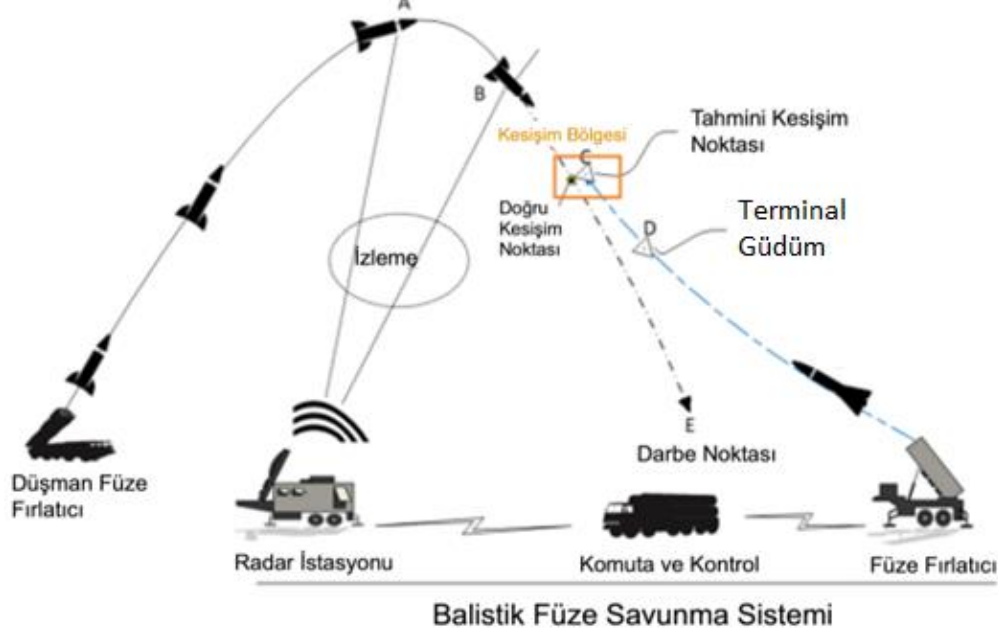


Şekil 3.4. Bazı Sistemlerin Önleme Yapabileceği Menzil ve İrtifa Bilgileri [31]

3.6.3. Yüksek İrtifa Anti Balistik Füzelelerinin Temel Çalışma Prensibi

- Sistemlerin yardımcı unsuru radarlar tarafından balistik füzenin tespiti gerçekleştirilir.
- Tespiti gerçekleştirilen sistem izlenerek tanımlaması yapılır ve rotası tahmin edilir.
- Önceden belirlenmiş ateş idare öğretisine göre anti balistik füze ateşlenir.
- Ateşlemesi yapılan balistik füze roket motorunun verdiği itki ile harekete geçer ve bu sırada sahip olduğu güdüm yöntemi, ataletsel sensörler ve KKS gibi diğer yardımcı unsurlar vasıtasıyla ile bulunduğu konumu sürekli olarak günceller.
- Güdümden elde edilen verilerle füze atmosfer dışına doğru harekete geçer.
- Atmosfer dışına çıkan sistem sürekli güncellenen verilerle hedefe hassas bir şekilde yönelmeye devam eder. (Eğer sistemde “öldürücü araç” var ise (Thaad ve SM3 sistemlerinde olduğu gibi) hedefe yönelmeyi bu araç yapar.)

- İstenen kaçırma mesafesi sağlandığında ya da çarparak imha yaklaşımı için hedef füze ile aralarındaki mesafe 0 (sıfır) metre olduğunda angajman sonlanır.



Şekil 3.5. Yüksek İrtifa HSF Çalışma Prensibi [32]

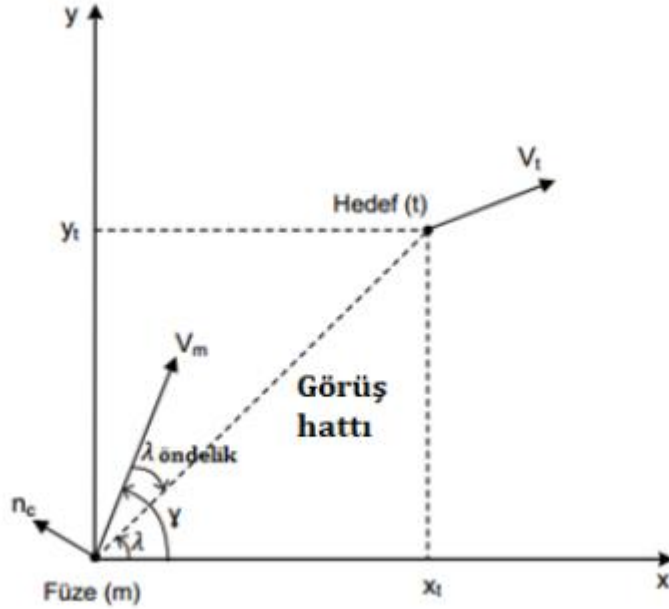
3.7. Güdüm Yöntemleri

Bu bölümde terminal safha için tanımlanmış güdüm yöntemleri sunulmuştur.

3.7.1. Takip Güdümü

Takip Güdümü yönteminde, füzenin ivmesi, füzenin hız vektörü ile görüş hattı arasındaki açı olarak tanımlanan öndelik açısı ($\lambda_{\text{öndelik}}$) ile doğru orantılıdır [7]. Yani Füze, görüş hattı boyunca tazi-tavşan kovalamacasına benzer şekilde hedefi takip edecek ve hız vektörü sürekli olarak hedefi gösterecektir [6]. Bu güdüm yönteminin hareketli hedeflere karşı kullanımı anlamlı olmamakla beraber, kullanılacağı füzenin hızının hedef hızından çok daha büyük olması gerekmektedir. Ayrıca, füze uçuşun son aşamasında hedefi hassas bulabilmek için zorlayıcı manevralar yapacağından dolayı Anti Balistik Füze itki sistemi olmaması ve daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağı için kaçırma mesafesi artacaktır.

Takip güdümü, lazer güdümlü bombaların ilk versiyonlarında kullanılmaya başlanmış olup en yaygın uygulamaları düşük hızda seyreden uçaklar ile kendine doğru gelen uçak, helikopter gibi sistemlere karşı kullanılmasıdır [6, 7].



Şekil 3.6. 2 Boyutlu Füze- Hedef Angajmanı Gösterimi

Bu güdümlü yöntemine ilişkin füze tarafından üretilen yanal ivme (3.1)'de tanımlanmıştır.

$$n_c = K \cdot \lambda_{\text{öndelik}} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de verilen K sabit bir sayı olup navigasyon kazancı olarak tanımlanır.

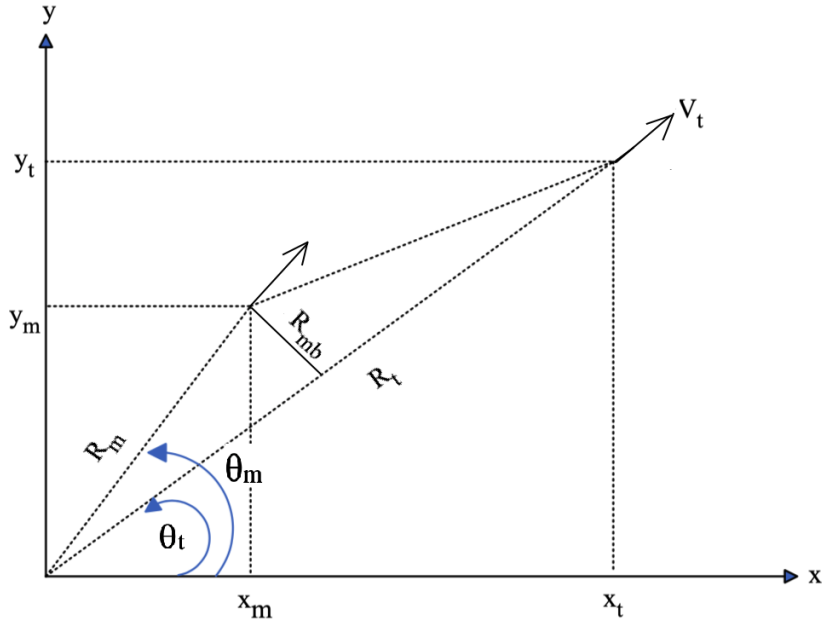
Hareketli hedeflere karşı vuruş performansının çok düşük olması nedeniyle anti-balistik füzelerde takip güdümünün uygulanması uygun değildir.

3.7.2. Görüş Hattı Güdümü

3.7.2.1. Hüzme (Beam Riding) Güdümü

Bu güdümlü yönteminde hedef; füze izleme istasyonunda bulunan radar ya da lazer işaretleme sistemi ile elektromanyetik ışın ile takip edilir. Füzedeki, yerden gelecek olan sinyalin algılanarak füzenin yönlendirilebilmesi adına arka tarafta yerleşik olarak alıcı

görevi gören bir anten bulunmaktadır [6]. Işın modülasyonu kullanılarak konum güncellemesi için gerekli komutlar füzeye verilerek hedef takibi gerçekleştirilir. Burada hedef, Hava Savunma Füzelerinin devamlı olarak radar tarama merkezinde ya da izleme ışını merkezinde tutulmasıdır [6].



Şekil 3.7. 2 Boyutlu Huzme Güdümü Angajman Gösterimi

Hüzme Güdümü yönteminde kumanda ivmesi

$$n_c = K_1 \cdot R_{mb} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır.

Hüzme Güdümü yöntemi çok yaygın olarak kullanılmamakla birlikte bazı satıhtan havaya atılan füzelerde kullanımı görülmektedir [6]. Bu yöntemi anti-balistik füze güdümü açısından uygun değildir.

3.7.2.2. Görüş Hattı Kontrol (CLOS) Güdümü

Bu güdüm yönteminde füze; izleme istasyonu ile hedef arasındaki görüş hattında bulunur ve sürekli olarak komuta edilmesi gerekir. Daha çok kısa menzilli hava savunma füzeleri ile anti tank füzelerinde kullanılan bu yöntem aslında hüzme güdüm yönteminde füze ile yer istasyonu arasında veri bağı kullanılarak konum güncellemesi yapılır [6]. Komuta Görüş Hattı Güdümü, aslında Hüzme Güdümünde elde edilen ivme performansı üzerinden hesaplanarak elde edilebilir.

Şekil 3.7'den yola çıkarak bu güdüm yöntemi için yanal kontrol ivmesine ilişkin denklem (3.3)' te verilmiştir.

$$n_c = K_2 \cdot \sin(\theta_T - \theta_M) \quad (3.3)$$

CLOS güdümü anti-balistik füze güdümünün gerektirdiği hassasiyeti sağlayamaz [14,17].

3.7.3. Oransal Seyir Güdümü

Oransal Seyir Güdümü (Proportional Navigation Guidance) yönteminde, ivme komutu görüş hattı açısı ve yaklaşma hızı ile doğru orantılı olarak verilir. Füze görüş hattı açısının dönüş hızını ölçerek bununla orantılı bir hızda dönme hareketini gerçekleştirir [6].

Radar arayıcı başlık çıktısı olan yaklaşma hızı ve görüş hattı açısı doğrudan kullanıldığı için oransal seyir güdümü yönteminin füzeye uygulanması, diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Bu yüzden, füze sistemlerinde kullanılan ilk yöntem olmuş ve yaygın olarak da kullanımına devam edilmektedir [16, 17].

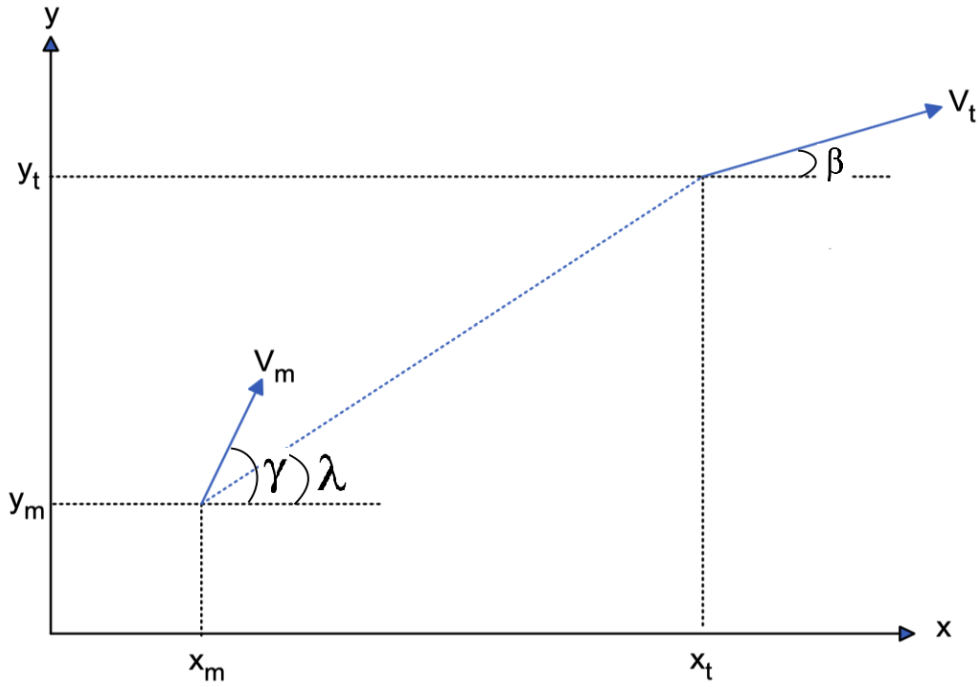
Oransal Seyir Güdümü yönteminde, dönüş hızı ile görüş hattı açısının değişimi arasında N sabiti olarak adlandırılacak olan bir navigasyon kazancı bulunmaktadır. Füze yörüngesi, bu kazançtan önemli ölçüde etkilenir. Genel olarak uygulamalarda bu kazancın (3-5) arasında alınması önerilir ve matematiksel olarak füzenin ivme komutu ile görüş hattı açısının değişimi ve yaklaşma hızının çarpımı arasında korunmaktadır [16, 33].

Bu ifadeden yola çıkarak oransal seyir güdümü yönteminde füze tarafından üretilen yanal ivme;

$$n_c = N \cdot V_c \cdot \dot{\lambda} \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır. 3.4'te ifade edilen denklemde yer alan V_c yaklaşma hızını, $\dot{\lambda}$ görüş hattı açısı değişimini ifade etmektedir.

Oransal Seyir Güdümünün matematiksel olarak daha açık bir şekilde ifade edilebilmesi için 2 boyutlu angajman gösterimi Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. 2 Boyutlu Angajman Gösterimi ve Tanımlamaları

Şekil 3.8'den yararlanılarak aşağıda verilen eşitlikler oluşturulur.

$$V_m = \sqrt{V_{mx}^2 + V_{my}^2}, \quad V_t = \sqrt{V_{tx}^2 + V_{ty}^2} \quad (3.5)$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{V_{my}}{V_{mx}}\right), \quad \beta = \tan^{-1}\left(\frac{V_{ty}}{V_{tx}}\right) \quad (3.6)$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{y_t - y_m}{x_t - x_m}\right) \quad (3.7)$$

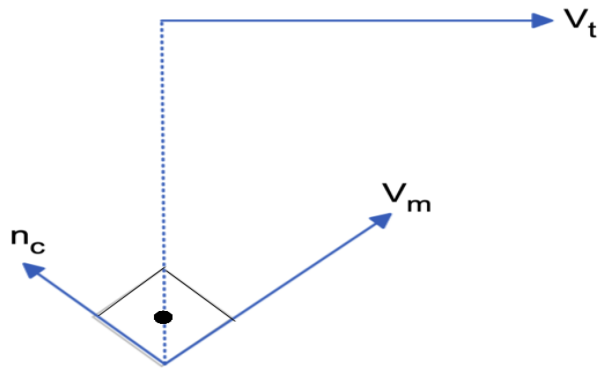
$$R = \sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \quad (3.8)$$

Füzeye uygulanan ve n_c olarak ifade edilen ivmenin büyüklüğü 2 boyutlu analizler için x ve y yönündeki ivmelerin karelerinin toplamının kareköküdür ve (3.8)'de verilen haliyle uygulamalarda kullanılacaktır.

$$n_c = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2} \quad (3.9)$$

Oransal Seyir Güdümü Yönteminde birden fazla uygulama vardır. Bu bölümde bu uygulamalardan Gerçek Oransal Seyir Güdümü (True PN) ve Yalın Oransal Seyir Güdümü (Pure-PN) uygulamaları incelenecektir.

Yalın Oransal Seyir Güdümünde, ivme vektörü, hız vektörüne dik bir şekilde uygulanır ve büyüklüğü füze uçuş yolu açısı ile doğru orantılıdır [33].

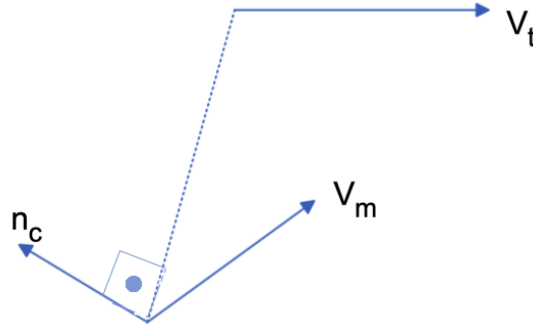


Şekil 3.9. Yalın Oransal Seyir Güdüm Gösterimi

O halde Yalın Oransal Seyir Güdüm için ivme vektörleri x ve y yönünde tanımlanırsa,

$$a_{mx} = -n_c \sin \gamma, \quad a_{my} = n_c \cos \gamma \quad (3.10)$$

eşitlikleri elde edilir. Gerçek Oransal Seyir Güdüm uygulamasında, ivme vektörü, görüş hattına dik olarak uygulanır ve görüş hattı açısının değişimiyle doğru orantılıdır [34].



Şekil 3.10. Gerçek Oransal Seyir Güdüm Yöntemi

Gerçek Oransal Seyir Güdüm için ivme vektörleri şu şekilde tanımlanır

$$a_{mx} = -n_c \sin \lambda, \quad a_{my} = n_c \cos \lambda \quad (3.11)$$

Son olarak yaklaşma hızı, füze ile hedef arasındaki mesafenin negatif değişim oranı olarak tanımlanır. Yaklaşma hızı

$$V_c = -\dot{R} \quad (3.12)$$

eşitliği ile tanımlanır.

Denklem (3.8) kullanılarak yaklaşma hızı

$$V_c = -\dot{R} = -\frac{\left((x_t - x_m)(V_{xt} - V_{xm}) + (y_t - y_m)(V_{yt} - V_{ym}) \right)}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \quad (3.13)$$

eşitliği ile belirlenir.

Komut ivmesinin matematiksel olarak yazılması için gerekli diğer parametre $\dot{\lambda}$ olarak gösterilen görüş hattı açısının değişimidir. Eşitlik (3.7)'de verilen $\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right)$ görüş hattı açısı ve $\arctan(x)$ şeklinde ifade edilen fonksiyonun türevi kuralı kullanılarak benzetim çalışmalarında kullanılacak nihai eşitlik elde edilir.

$$\dot{\lambda} = \frac{(x_t - x_m)(V_{yt} - V_{ym}) - (y_t - y_m)(V_{xt} - V_{xm})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \quad (3.14)$$

Oransal seyir güdümü yüksek hızlı ve manevra yapan hareketlere karşı yüksek vuruş performansı gösteren bir yöntemdir [14, 17]. Bu güdüm yöntemi anti-balistik füze güdümü için en uygun yöntemdir. Bu çalışmada anti-balistik füzelerin ara yol ve terminal aşamada yalın oransal seyir yöntemi ile güdümlendiği esas alınmıştır. Yalın oransal seyir güdümünde ivme komutunun hız vektörüne dik bir şekilde uygulanması ve bu sebeple hızı sabit tutmasındaki avantajdan faydalanarak tez çalışmasında bu metot kullanılmıştır.

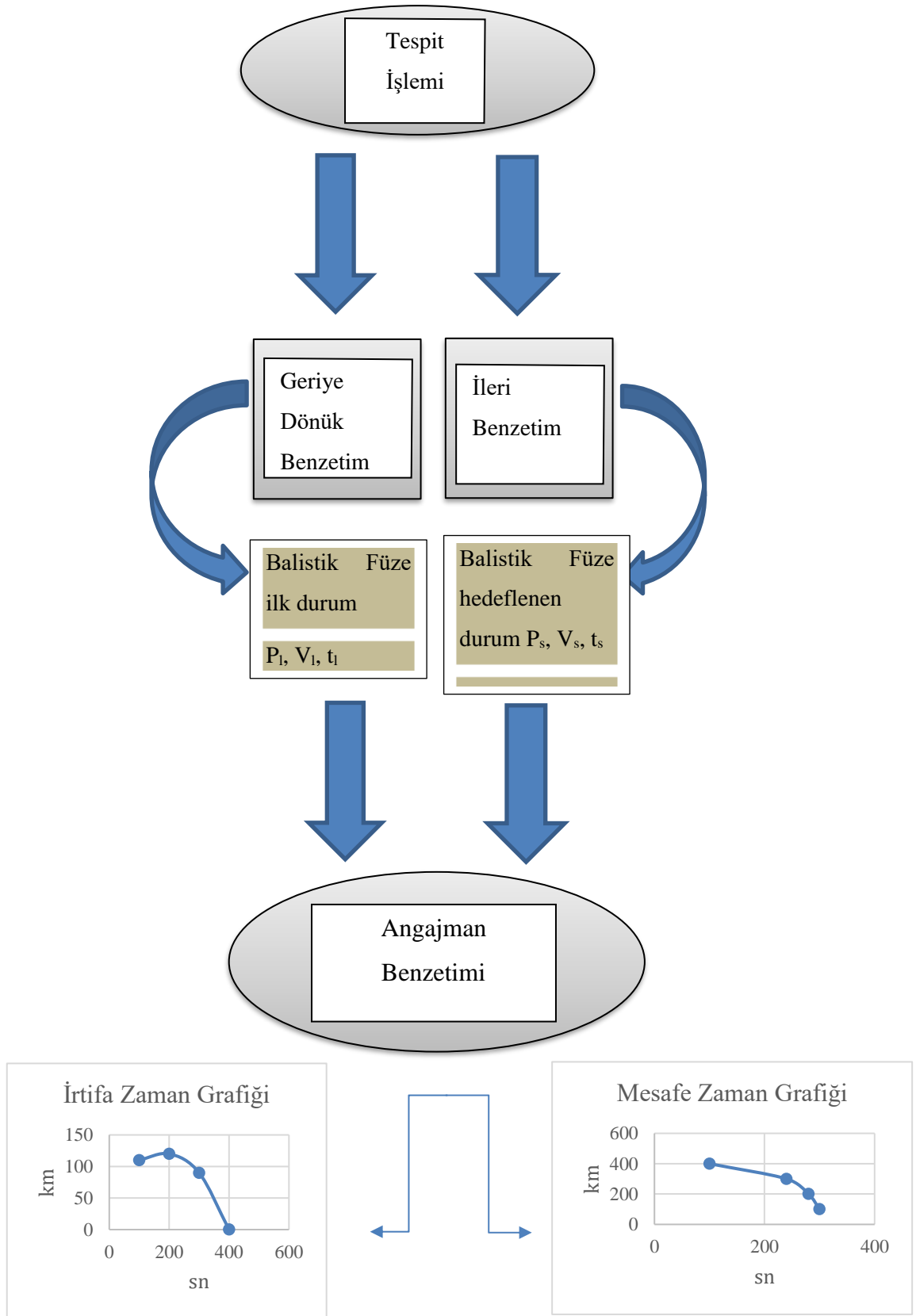
4. ANTI-BALİSTİK FÜZE ATEŞ KONTROLÜ VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1. Hava Savunma Füzesi Ateş Kontrol Problemi

Bu bölümde, balistik yörünge izleyen bir hedefe karşı hava savunma füzesinin önleme yapacağı bölge ve zamana ilişkin benzetim çalışmaları sunulmaktadır. Bölüm 2’de aktarılan Balistik Yörünge denklemleri kullanılarak dünya üzerindeki bir noktadan başka bir noktayı vurması üzerine kurgulanmış ve 4 farklı kategoride benzetimler gerçekleştirilmiştir. 500 km, 2000 km, 4000 km ve 8000 km menzile sahip balistik füzelerin hedef aldığı bölgeyi koruyan yüksek irtifa hava savunma füzesi olduğu varsayılmış ve Bölüm 3’te matematiksel ifadesi anlatılan Yalın Oransal Seyir Güdümü yöntemiyle önleme senaryoları çalışılmıştır

Yüksek İrtifa HSF’ye ilişkin hız, menzil ve irtifa sınırları belirlenebilmesi için Bölüm 3.6’da özellikleri verilen THAAD ve SM3 sistemleri örnek olarak alınmıştır. Her iki sistem de atmosfer dışında önleme yapabildiğinden benzer sistemlere sahip olunması durumunda angajman zaman ve konumu hakkında çıkarım yapılmış ve böylelikle önceden belirlenmesi gereken zaman çizelgesi ile ateş idare kuralları paylaşılmıştır.

Hava Savunma Füzesinin doğru yerde, istenen zamanda ve en az sayıda füze kullanarak önleme yapması karşımıza Ateş Kontrol Problemi olarak çıkmaktadır. Bu problemin çözümü için, hava savunma sisteminin radarları tarafından hedefin hız ve konum bilgilerinin tespit edilmesi, hız ve konum bilgileri tespit edilen hedefin fırlatma yerinin ve fırlatma zamanının belirlenmesi, elde edilen bilgilere göre menzil bilgisinin tahmin edilerek düşme noktasına ilişkin çıkarım yapılması ve Hava Savunma Füzesinin kabiliyetleri çerçevesinde en az kaçırma mesafesiyle önleme yapılması gerekmektedir. O halde, Yüksek İrtifa HSF için atış kontrol problemi Şekil 4.1’de verilen akış şeması ile açıklanabilir.



Şekil 4.1. Ateş Kontrol Sistemi Akış Şeması

Şekil 4.1’de sunulan atış kontrol diyagramına göre ilk olarak hava savunma füze sisteminde yer alan radar ya da erken ihbar radarları vasıtasıyla balistik hedefin tespiti gerçekleştirilir. Hedef tespiti ile balistik hedefin o sırada dünya üzerindeki konumu, hız vektörü bilgisi elde edilir: (p_m, V_m, t_m) Bu bölüm boyunca gerçekleştirilecek benzetimlerde hedef tespitinin yapıldığı varsayımı ele alınmıştır.

Hedef tespitinin gerçekleştirilmesi ile elde edilen veriler balistik yörünge benzetimlerinde geri adımlandırılarak balistik hedefin fırlatma noktası, fırlatma hızı ve fırlatma zamanı bilgilerine ulaşılabilir: (p_l, V_l, t_l) . Oluşturulan model kullanılarak nereden ve hangi mesafeden Balistik Füzenin ateşlendiği tespit edilerek, fırlatma zamanı hesaplanabilir.

Tespit işleminde elde edilen veriler balistik yörünge hesabında ileri adımlandırma yapılarak Balistik Füzenin hedeflediği düşme noktası, düşme zamanı ve vuruş hızı bilgileri de tahmin edilir: (p_s, V_s, t_s) . Geri adımlandırma yapılarak fırlatma noktası bulunan Balistik Füzenin tespit edilen noktasındaki verileri birleştirilerek hedeflediği düşme noktası ve uçuş süresi bilgileri elde edilir. Böylelikle tespite ilişkin zaman ve konum bilgisi çıkarılmıştır.

Tespit işlemi ile Balistik Füzenin zaman ve konumuna ilişkin veriler oluşturulduktan sonra angajman benzetimleri gerçekleştirilerek Hava Savunma Füzesi kabiliyet sınırları içerisinde Balistik Füzeyi önleme zamanına göre irtifa ve mesafe bilgileri elde edilir. Ayrıca, Hava Savunma Füzesinin fırlatma zamanına göre de bu veriler elde edilebilmektedir. Söz konusu benzetim çalışmaları sonucunda, hem Balistik Füze hem de Anti Balistik Füze zamanına göre önleme bölgeleri elde edilir. Bu noktada Hava Savunma Sisteminden beklenen tahmin edilen bölgede ya da o bölgeye yakın bataryalar tarafından hava savunma füzesinin fırlatılarak balistik hedefin imha edilmeye çalışılmasıdır.

Hava Savunma Füzesi üzerine gelen hedefe doğru angajman yapması amacıyla fırlatılır. Burada önemli olan nokta mevcut sistemlerimizin yetenekleri ile belirli zaman aralıklarında, yeterli uzaklık ve irtifada bu angajmanların gerçekleştirilmesidir. Böylelikle, irtifa- zaman ve mesafe-zaman grafikleri elde edilecek olup Bölüm 3’te aktarılan öğretilerin (vur, vur-vur, vur-vur-vur, vur-bak-vur ve vur-vur-bak-vur) belirlenmesi önceden sağlanabilecektir.

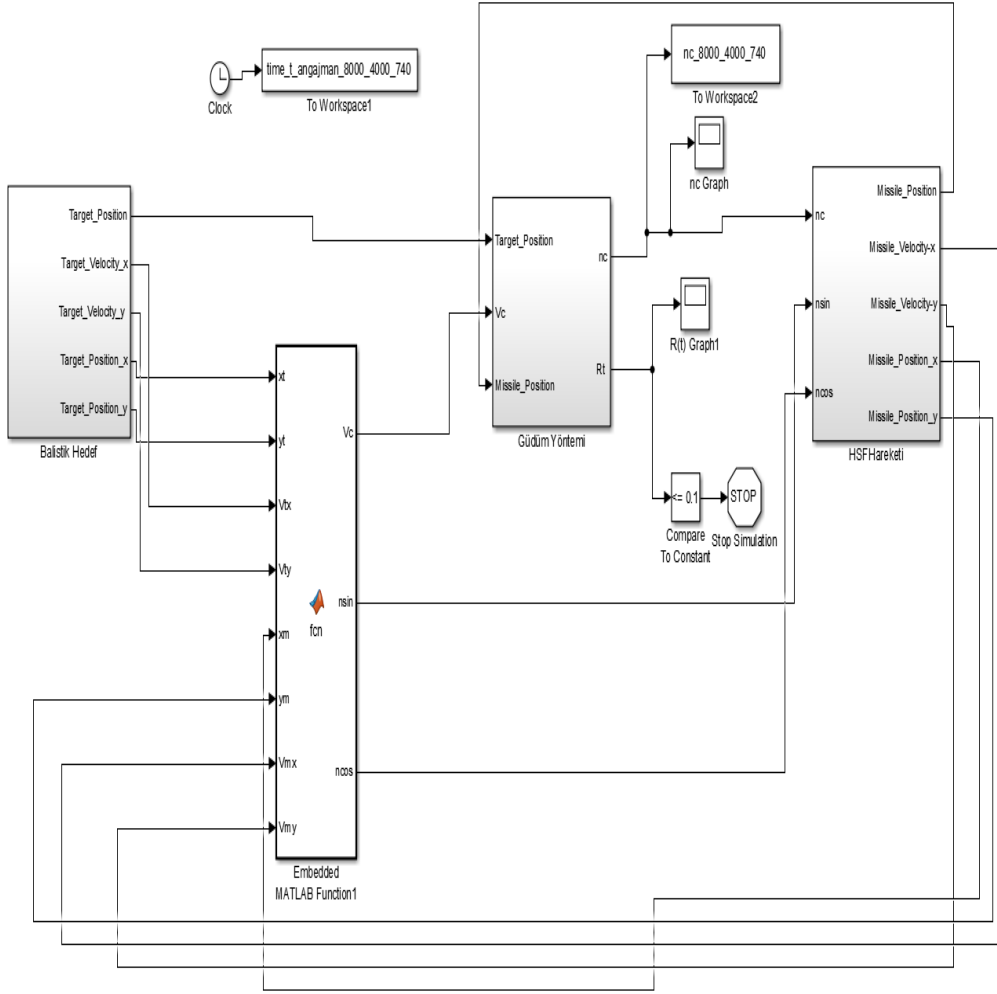
Bu bağlamda benzetim çalışmaları

- Balistik hedefin fırlatılmasından belli süre sonra tespitini varsayarak,
- Balistik yörünge hesaplamasını içerecek şekilde,
- Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi yetenekleri göz önünde bulundurularak,
- Oransal Güdüm Yöntemi kullanılarak,

Önleme zamanına kadar benzetimler gerçekleştirilmiş olup benzetim sonuçları Bölüm 4.2’de paylaşılmıştır.

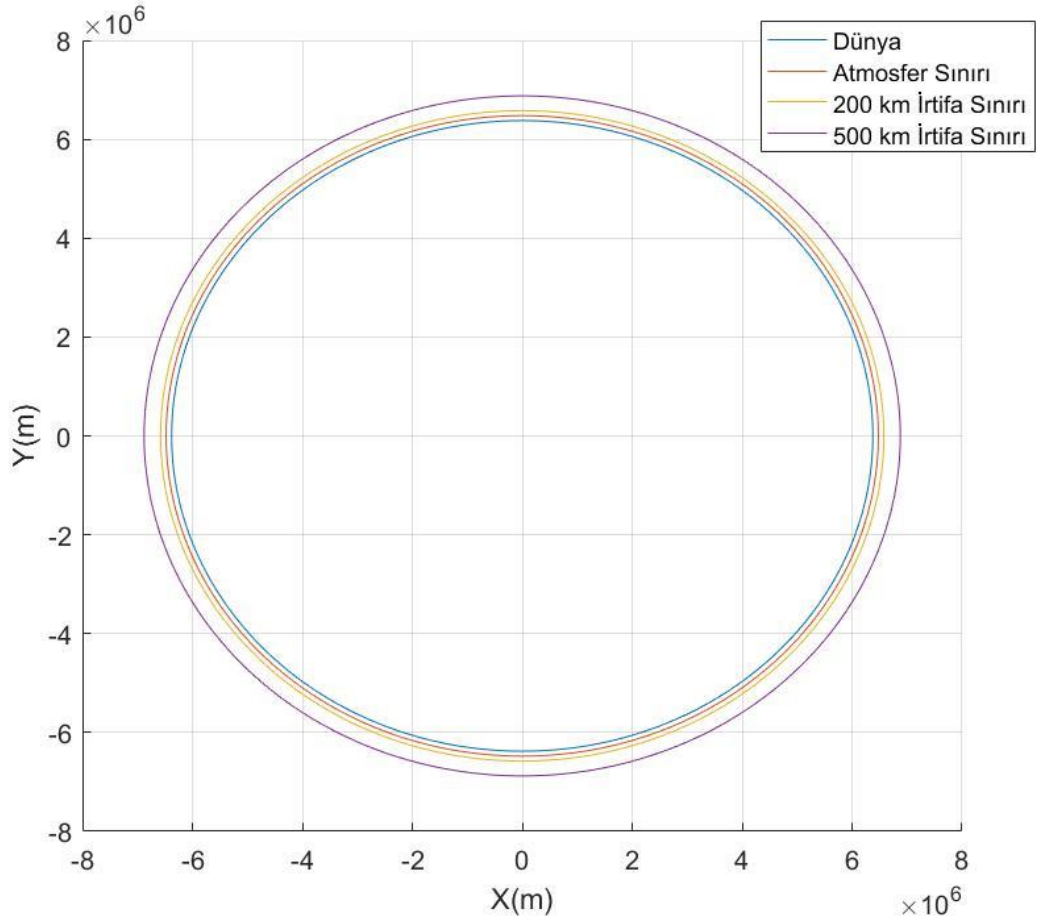
4.2. Benzetim Çalışmaları

Benzetim modeli, x-y kartezyen koordinat düzleminde, dünyanın merkezinin (0,0)’da olması durumuna göre balistik hedef hesaplamalarının gerçekleştirildiği, elde edilen verilerin Oransal Seyir Güdüm yönteminde kullanıldığı ve Hava Savunma Füzisinin hareket denklemlerini içeren toplam 4 bloktan oluşmaktadır. Angajman gerçekleştiği zaman benzetim modelinin durması hedef ile füze arasındaki mesafenin 0.1 m’den (kaçırma mesafesi) küçük olması durumunda gerçekleşmekte olup oluşturulan benzetim modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca, angajman zamanına ilişkin verileri toplayabilmek adına bir adet zaman sayacı modelde bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Benzetim Modeli

Tüm benzetim çalışmaları 2 boyutlu dünya yüzeyi üzerinden hesaplanarak çizdirilmiş olup dünya modeline ilişkin temel bir gösterim Şekil 4.3'te yer almaktadır



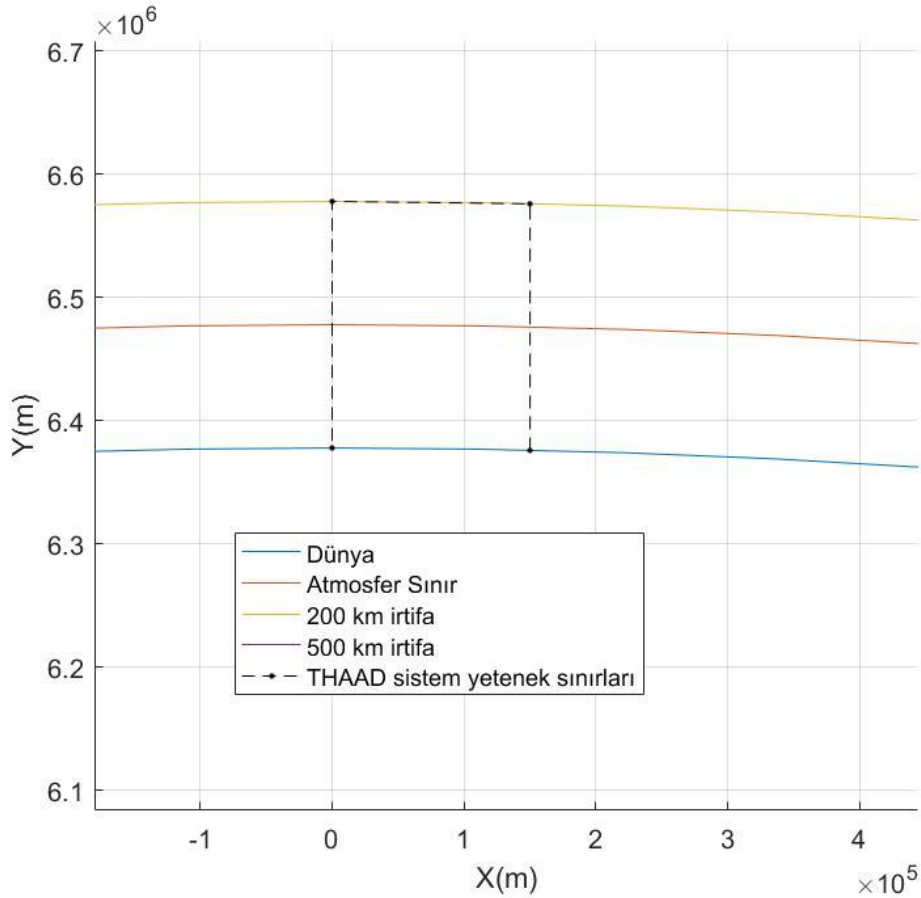
Şekil 4.3. 2 Boyutlu Dünya Modeli ve Sınırların Gösterimi

4.2.1. 500 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı

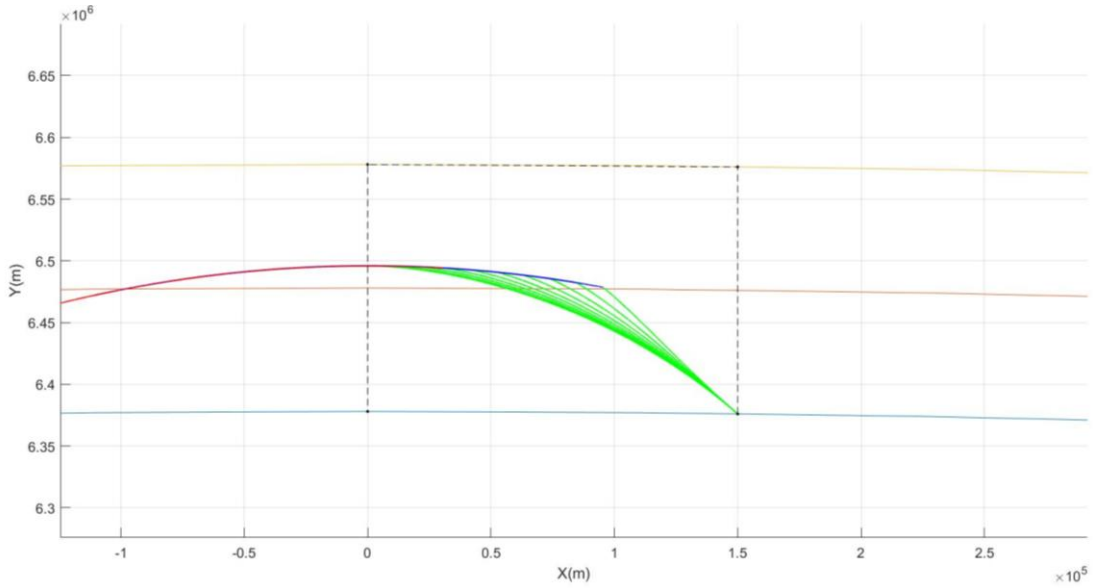
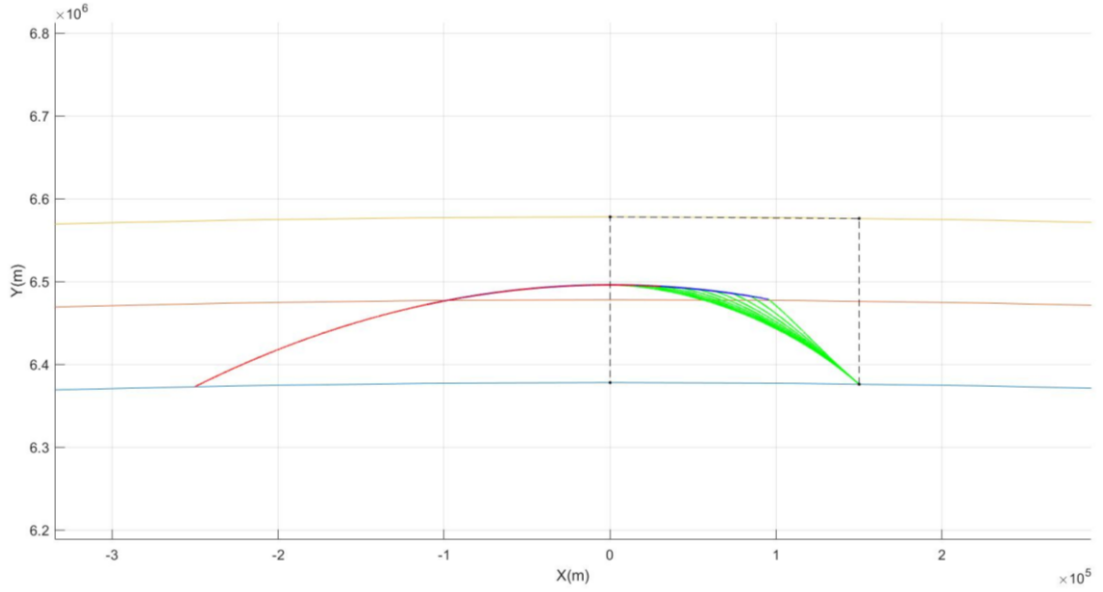
Bu bölümde 500 km menzile sahip balistik bir füzenin tespitinden sonra gerçekleştirilen angajmanlar 2 farklı senaryo ile ele alınmıştır. Senaryolar, hava savunma sisteminin hedeften daha önde olduğu ve hedefin hava savunma sistemi ile aynı noktada olduğu durumlar için oluşturulmuştur. Elde edilen angajman grafiklerinden yola çıkılarak irtifa-zaman grafiği ile hedefe olan mesafe-zaman grafiği verileri paylaşılmıştır.

4.2.1.1. Senaryo 1: HSF'nin Önde Olma Durumu

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -250 km'de bulunan ve hızı 2174 m/s olan balistik bir hedefin 45 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 150 km'de bulunan hızı 2804 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan Anti-Balistik Füzenin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin tespitinden belli süre sonra Anti-Balistik Füze hareket edecek şekilde kurgulanmıştır. Anti-Balistik Füzenin kabiliyetleri THAAD füzesinden esinlenerek belirlenmiştir. Seçilen Anti-Balistik Füze için 150 km menzil (x yönünde) ve 200 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek 10'ar saniye aralıklarla 10 farklı durum ele alınarak angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.4.'te Anti-Balistik Füze olarak kullanılacak sisteme ilişkin yetenek sınırları gösterilmiş olup Senaryo ile ilgili ardışık benzetim sonuçları Şekil 4.5'te paylaşılmıştır.



Şekil 4.4.: THAAD Benzeri Anti Balistik Füze Önleme Kabiliyeti Sınırları



Şekil 4.5.: 500 km Senaryo-1 Ardışık Simülasyon

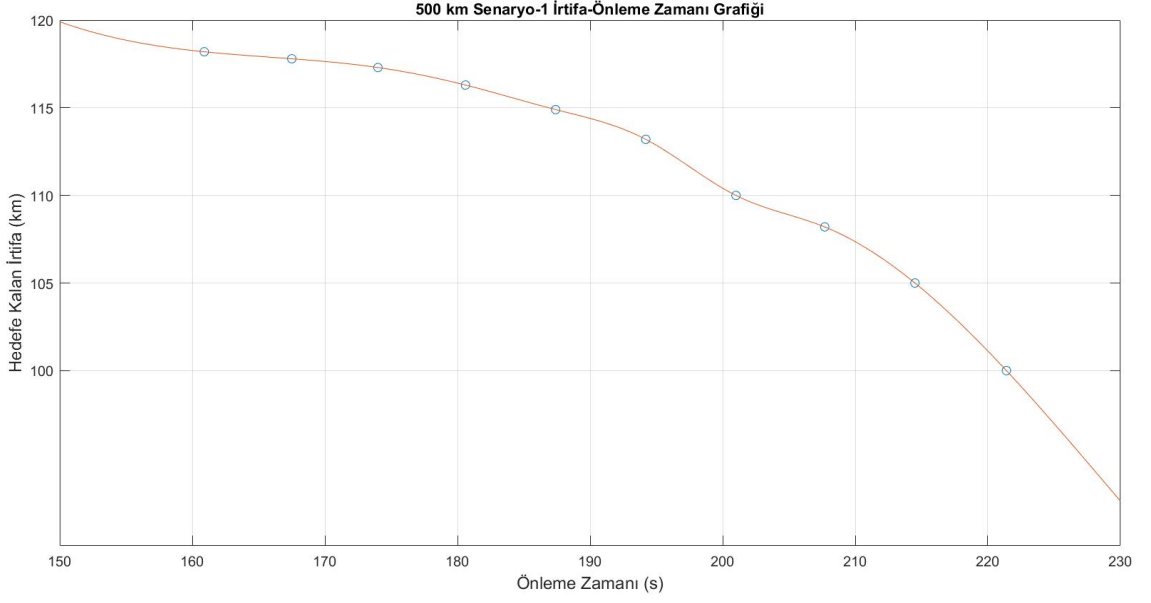
Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 90 saniye sonra HSF'nin fırlatıldığı ve bu füzenin kabiliyetleri içerisindeki ilk angajmanın gerçekleştirilebileceği, son fırlatma zamanının ise 180 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda, Bölüm 4.1'de tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.1. 500 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler

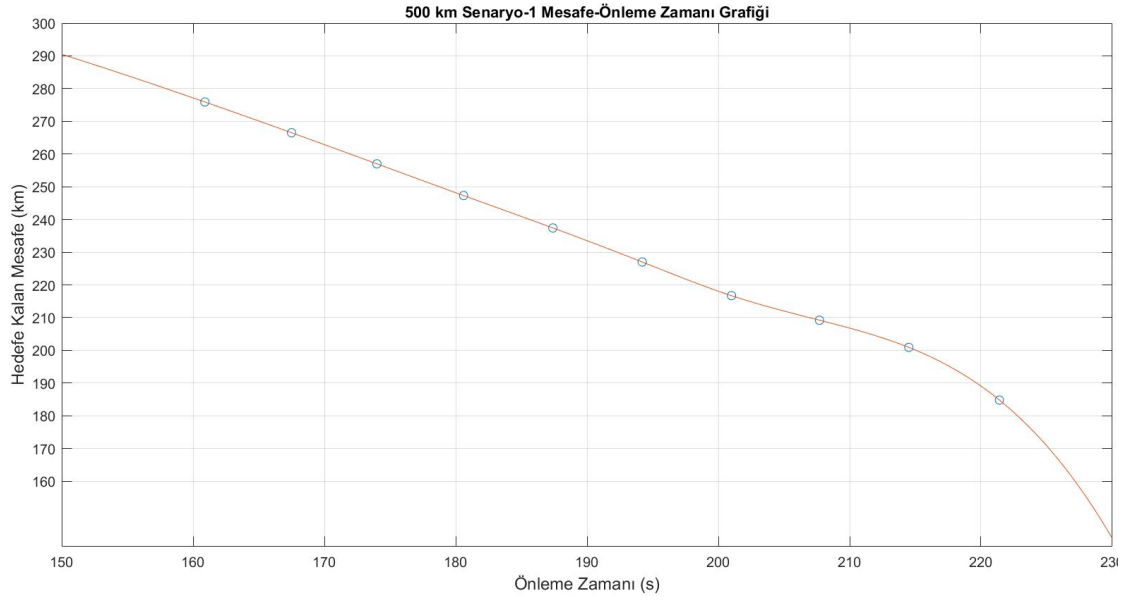
HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te) (sn)
90	118.2	275.9	160.9
100	117.8	266.5	167.5
110	117.3	257	174
120	116.3	247.3	180.6
130	114.9	237.4	187.4
140	113.2	227	194.2
150	110	216.7	200.9
160	108.2	209.2	207.7
170	105	204.9	214.5
180	101	184.8	221.4

Böylelikle $t_l=0$ anında fırlatılan balistik bir füzenin uçuşunun algılandığı andaki hız, konum ve zaman bilgileri kullanılarak önlemenin hangi konum ve zamanda yapılacağı bilgisine ulaşılabilmektedir.

HSF'ye ilişkin zaman çizelgesi ve buna ilişkin oluşturulacak öğretiyi belirleyebilmek adına irtifa-zaman ve mesafe zaman grafikleri çıkartılmıştır. Bu verilerin elde edilmesinde ara değerler interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş olup verilere ilişkin grafiksel gösterim Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.8 ve 4.9'da sunulmuştur.

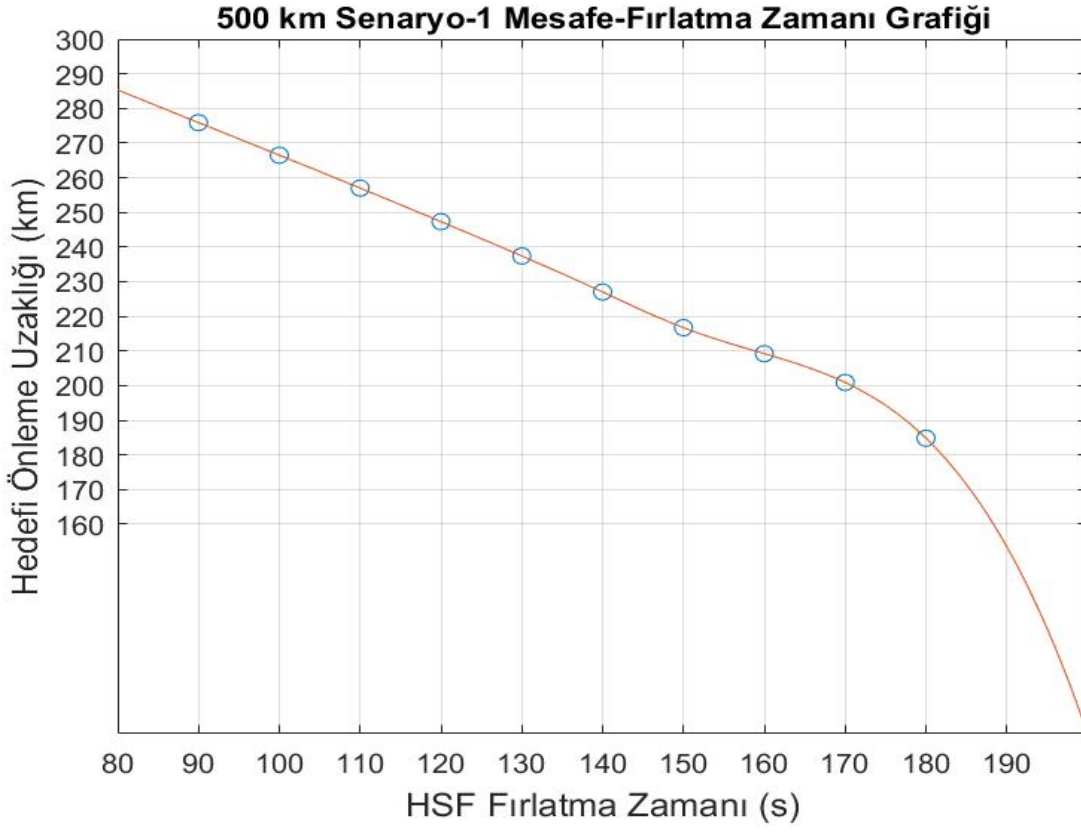


Şekil 4.6. 500 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği

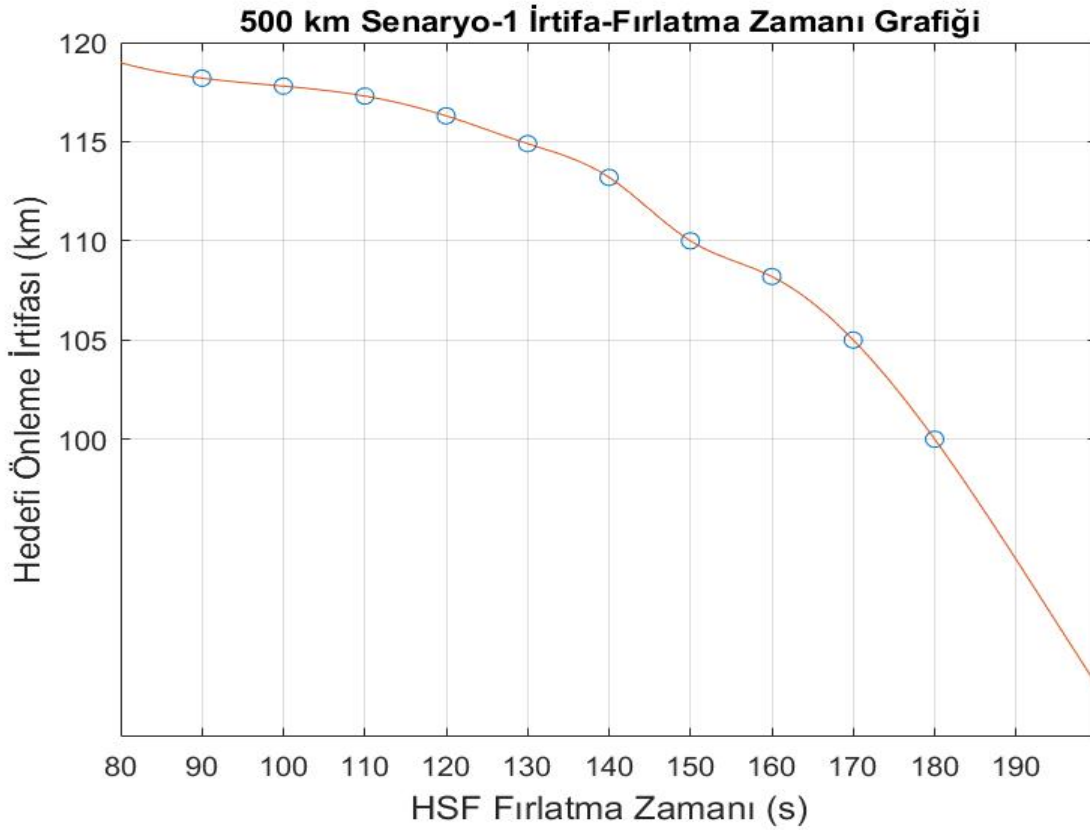


Şekil 4.7. 500 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği

Şekil 4.6 ve 4.7'den yola çıkılarak Anti Balistik Füzenin, Balistik füzeyi yeryüzünden ne kadar yüksekte ve balistik füzenin hedefinden ne kadar uzakta önleme yapabileceği çıkarımı yapılabilmektedir. Bu bölümde bahsedilen kurguya göre, balistik füzenin önlenmesi için en erken 90 saniye sonra en geç ise 180 saniye sonra fırlatmanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. En yüksek önleme irtifası 118 km olarak hesaplanmıştır.



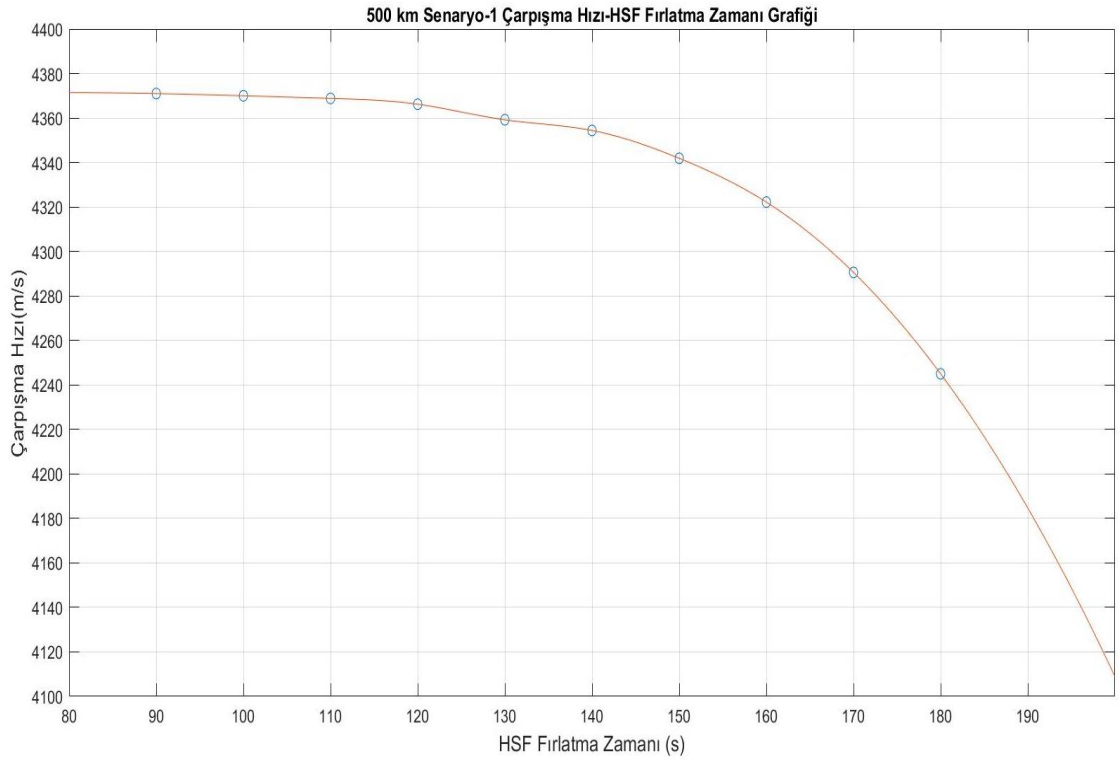
Şekil 4.8. 500 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı-Hedefi Önleme Uzaklığı Grafiği



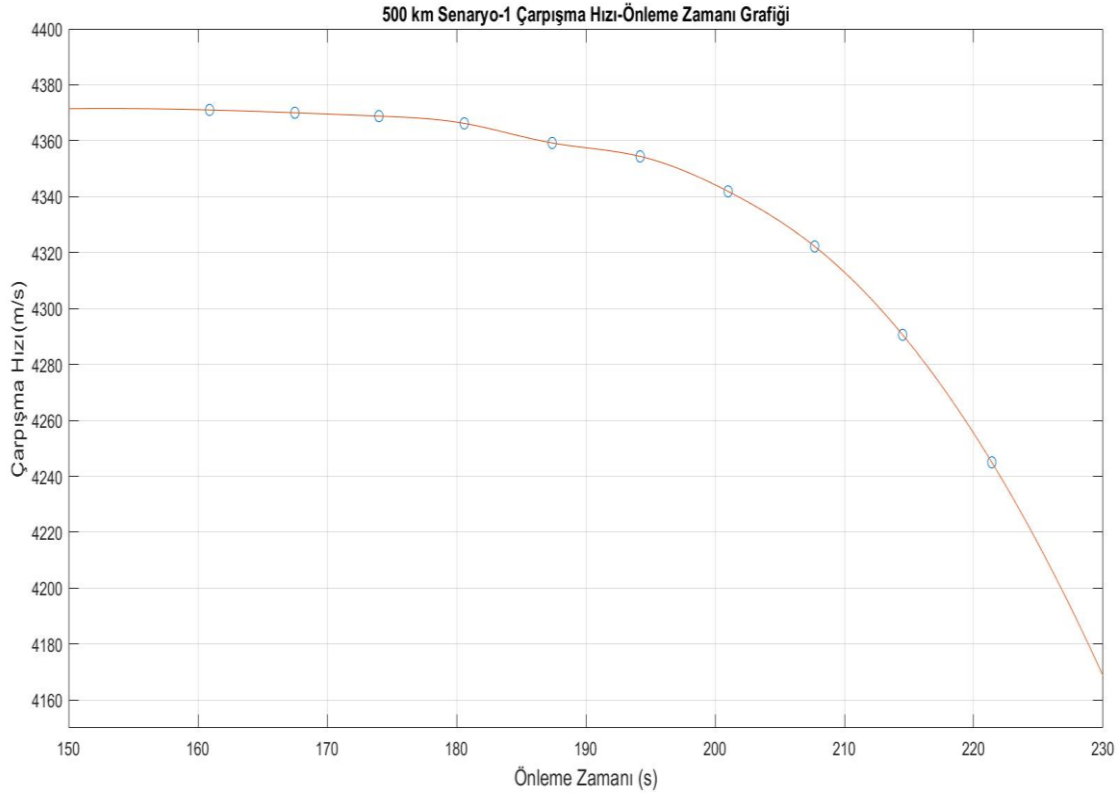
Şekil 4.9. 500 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı- Hedefi Önleme İrtifası Grafiği

Şekil 4.8 ve 4.9 sırasıyla hangi Anti Balistik Füzenin (Örneğin $t_l=90$ 'da fırlatılan 1'inci anti balistik füze, $t_l=100$ 'de fırlatılan 2'nci anti balistik füze vb.) Balistik hedefi nerede önleyeceğine ilişkin bilgi sunmaktadır. Bu grafiklerden yola çıkılarak verilen zaman aralıklarında, farklı taktikler geliştirilerek balistik hedefin yok edilmesi sağlanacaktır.

Örnek alınan sistemler çarparak imha yaklaşımıyla tasarlandığı için hedefi yok etmedeki bir diğer etken ise çarpışma hızı olacaktır. Birbirlerine doğru hareket eden Balistik Füze ile Anti-Balistik Füzenin önleme bölgesinde mevcut hızlarının vektörel değerlendirilmesi yapılarak çarpışma hızına ilişkin veriler elde edilmiştir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de balistik hedef ile anti balistik füzenin fırlatılan zamana ve çarpışma zamanına göre çarpışma hızları verilmektedir.



Şekil 4.10. 500 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı Grafiği

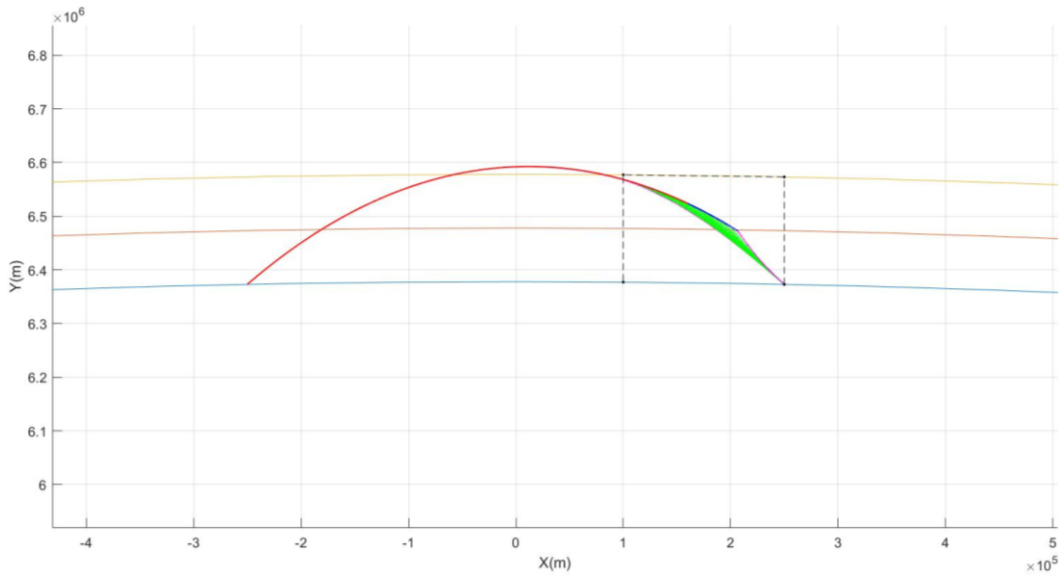


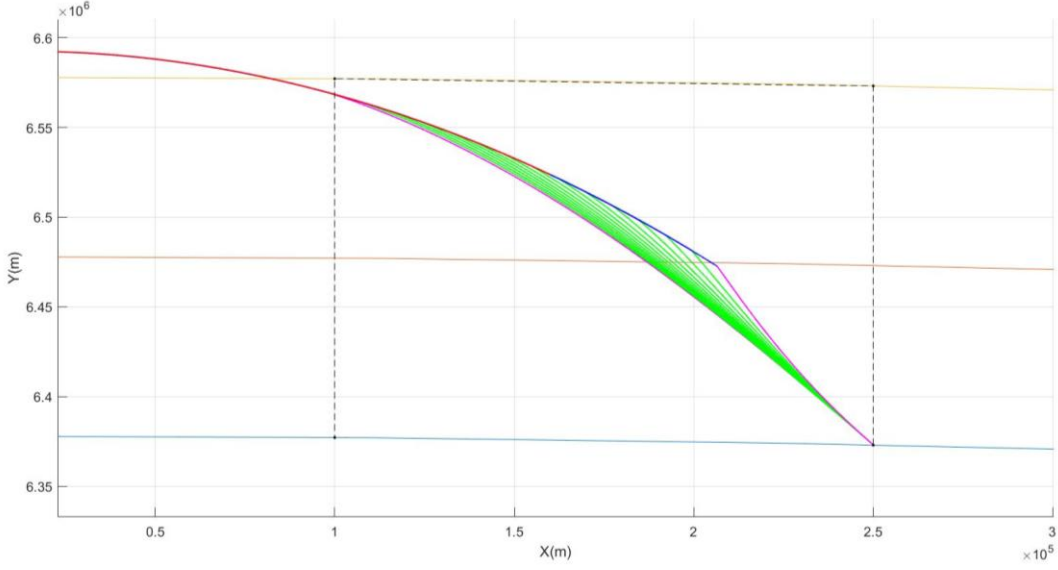
Şekil 4.11. 500 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Çarpışma Zamanı Grafiği

Çarpışma hızı grafikleri incelendiğinde, bahsedilen senaryo altında ve anti balistik füzenin yetenekleri dahilinde en yüksek çarpışma hızına ilk ateşlemelerde ulaşılabildiği, zaman geçtikçe çarpışma hızının azaldığı ve etkinin zayıflayacağı yorumu yapılabilir. Örnek olarak Vur-Bak-Vur öğretisi için ilk atıştan sonra önleme zamanına kadar beklemek gerekmektedir. Öldürücülük değerlendirmesinin anlık yapıldığı varsayılırsa 90'ıncı sn'de yapılan ilk atıştan sonra 160.9'uncu saniyede ikinci bir HSF ateşlemesi yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

4.2.1.2. Senaryo 2: HSF'nin Hedef Bölgesinde Olma Durumu

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -250 km'de bulunan ve hızı 2355 m/s olan balistik bir hedefin 60 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 150 km'de bulunan hızı 2804 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan Anti-Balistik Füzenin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde balistik hedefin 45 derece ile fırlatılması durumunda izlenen yörüngede balistik füze önleme bölgesine girmeden 100 km irtifa sınırının altına düşmektedir. Bu sebeple, Bölüm 4.2.1.2 Senaryo-1'de verilen balistik hedef ile aynı fırlatma açısı kullanılmamış ve fırlatma açısı 60 derece olarak revize edilmiştir. Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin hareketinden belli süre sonra HSF'nin hareket edecek şekilde kurgulanmıştır. HSF'nin kabiliyetleri THAAD füzesinden esinlenerek belirlenmiştir. Seçilen HSF için 150 km menzil (x yönünde) ve 200 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek 10'ar saniye aralıklarla 15 farklı durum ele alınarak angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.12'de sonuçlar paylaşılmıştır.





Şekil 4.12. 500 km Senaryo 2 Ardışık Benzetim Sonuçları

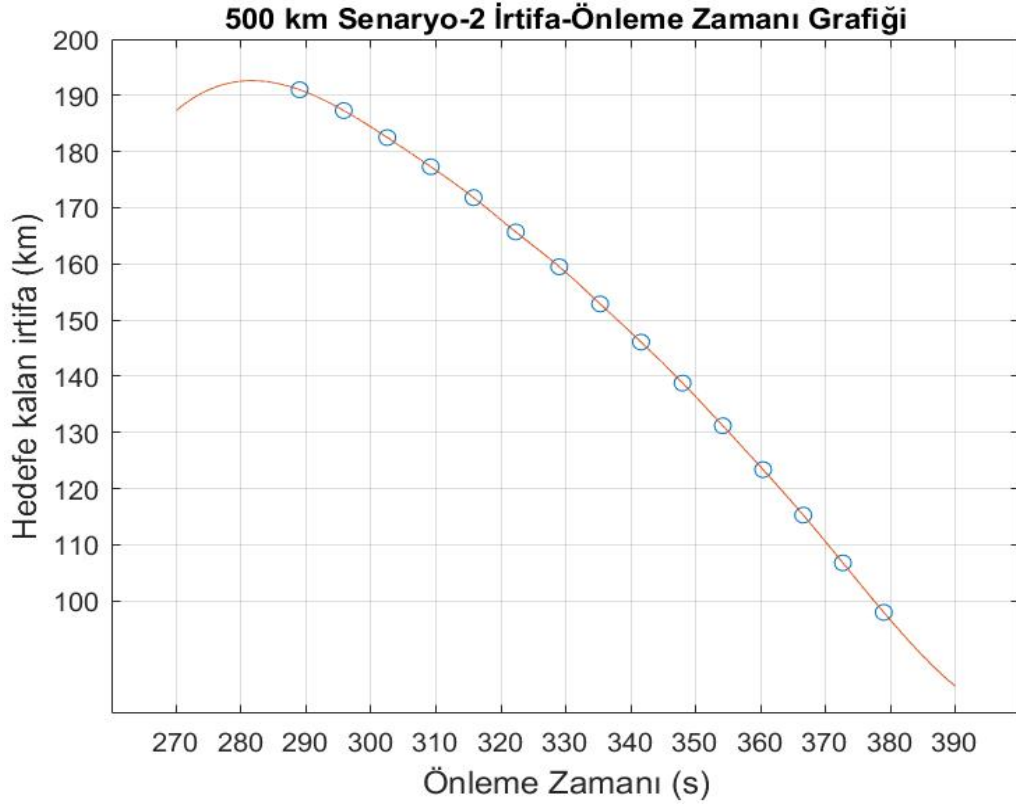
Sonuçlar incelendiğinde balistik füzenin fırlatılmasından 200 saniye sonra HSF'nin fırlatıldığı ve önlemenin gerçekleştirilebildiği görülmekte olup son fırlatma zamanının ise 340 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. 340. saniyede fırlatılan HSF ise angajmanı ancak atmosfere girdikten sonra gerçekleştirebilmekte olup atmosfer dışı bu durum, sistem kabiliyetleri dışında olarak tanımlanır. Öyleyse, başlangıçta tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik füzenin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2. 500 km Senaryo 2'ye İlişkin Veriler

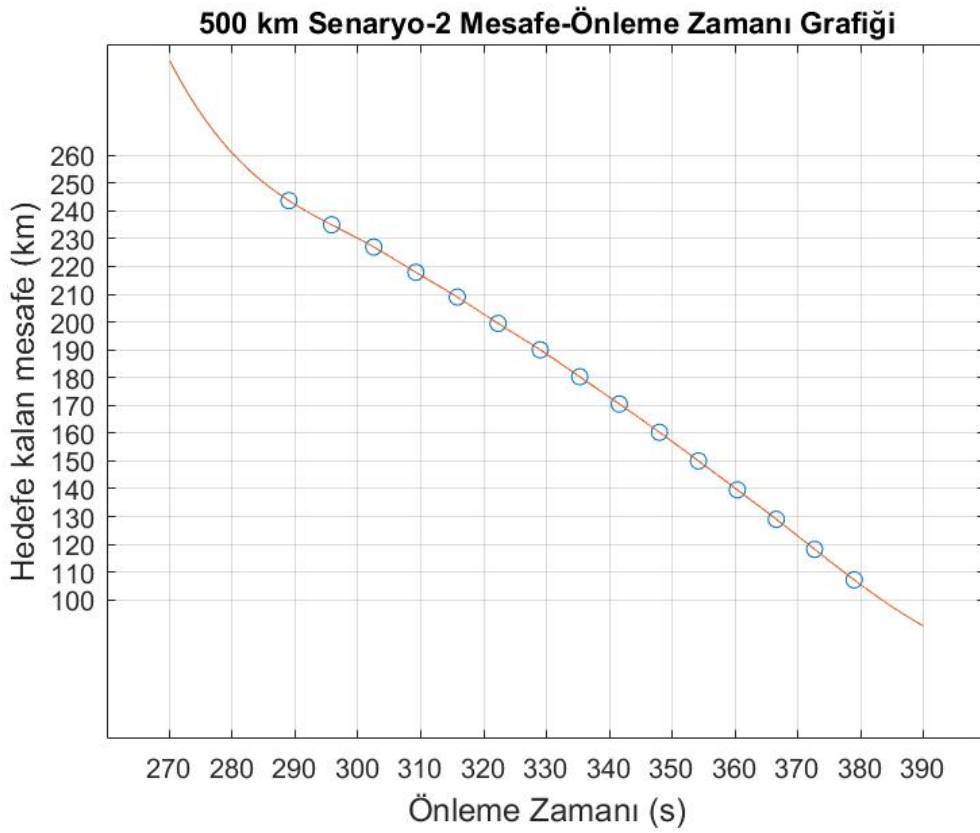
HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te) (sn)
200	191	243.7	289
210	187.3	235.7	295.8
220	182.5	227	302.5
230	177.3	217.9	309.2
240	171.8	209.7	315.8
250	165.7	199.5	322.3
260	159.5	190	329.7
270	152.9	180.3	335.3
280	146.1	170.5	341.6
290	138.8	160.3	348
300	131.2	150	354.2
310	123.4	139.6	360.4
320	115.3	129	366.6
330	106.8	118.2	372.7
340	98	107.3	379

Tablo 4.2'de yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik bir hedefin Bölüm 4.2.1.2'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre ilk fırlatmanın 200 saniye sonra son fırlatmanın ise önlemeyi 100 km irtifada yapabilmek için 340'ıncı saniyeden önce gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.13 ve 4.14'te sunulmuştur. Ayrıca, Hava Savunma Füzesi fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.15 ve 4.16'da yer almaktadır.

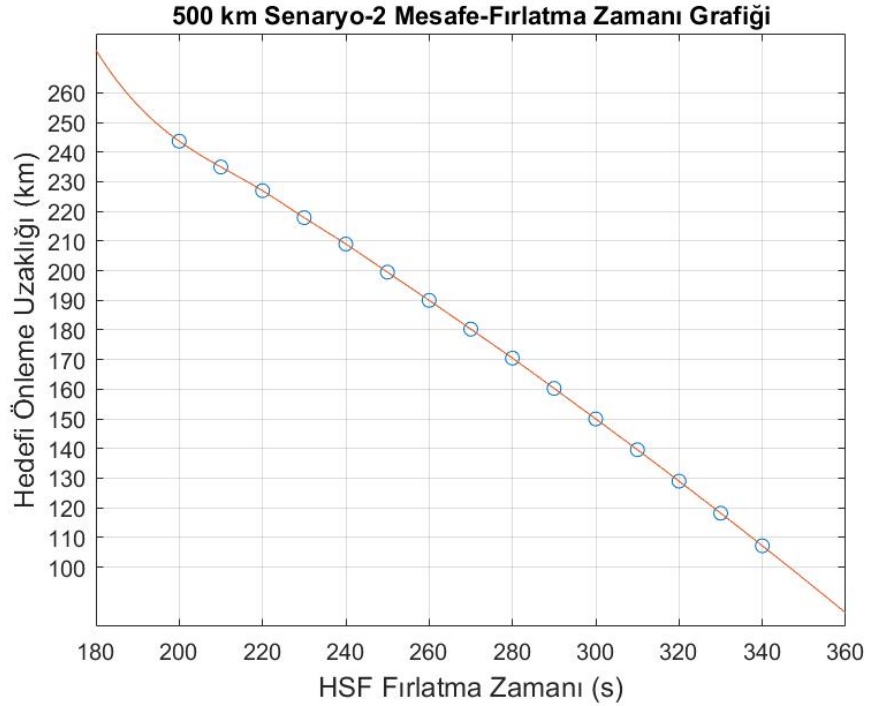


Şekil 4.13. 500 km Senaryo-2 İrtifa-Angajman Zamanı Grafiği

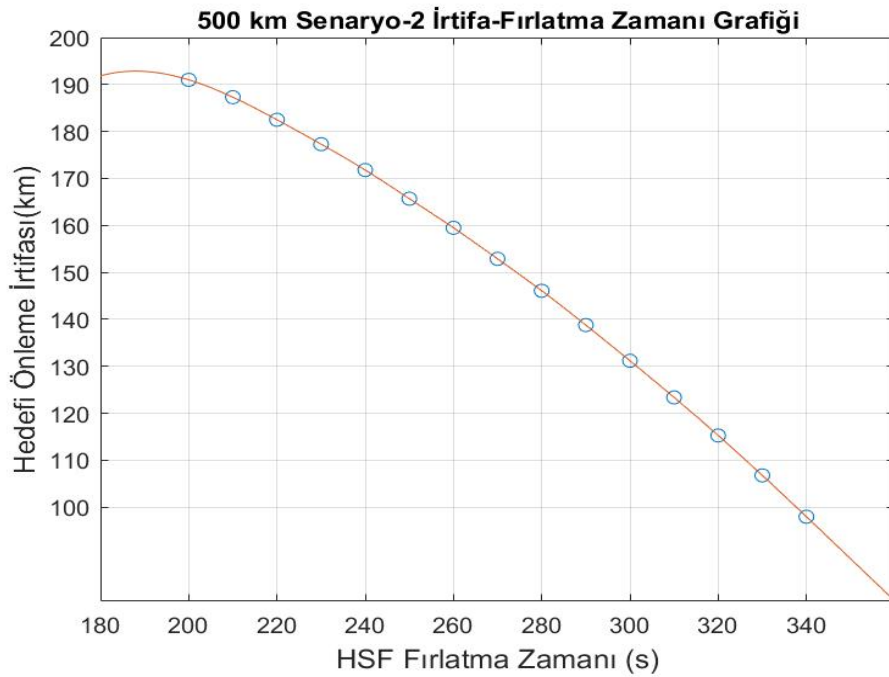


Şekil 4.14. 500 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği

Her iki şekil incelendiğinde, birbirine yaklaşan sistemlerin doğal sonucu olarak zamanla önleme irtifası ve önleme menzili azalmaktadır. Anti balistik füze, balistik hedefi kendi hedefine en erken 250 km kala 190 km irtifa da yok edebilmekte olup en geç 107 km kala yok edebilmektedir. Ancak, 107 km kaldığında sistem irtifa olarak 100 km altına düştüğü için geç kalınmış olacak ve atmosfer dışı önleme yapılamamış olacaktır.

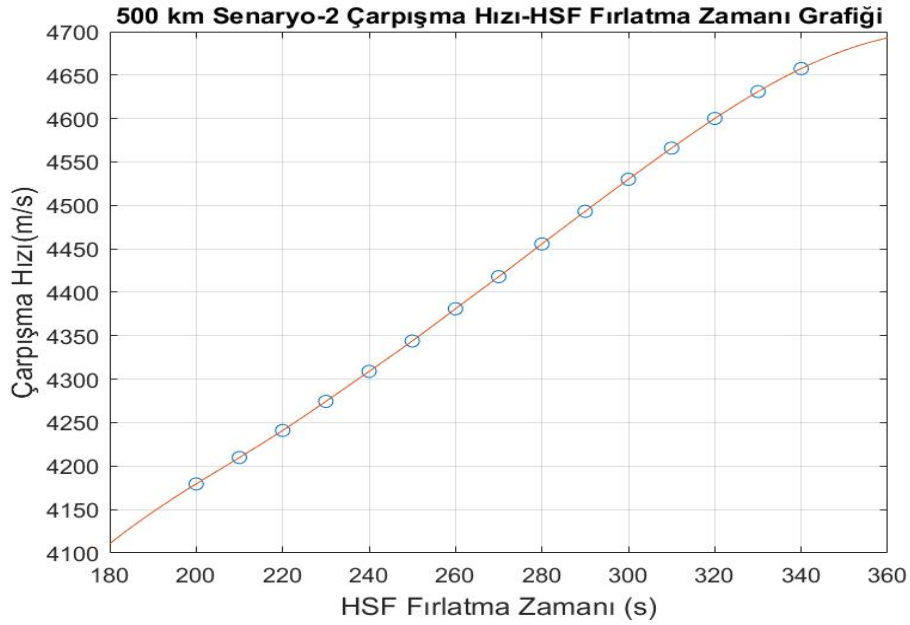


Şekil 4.15 500 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği

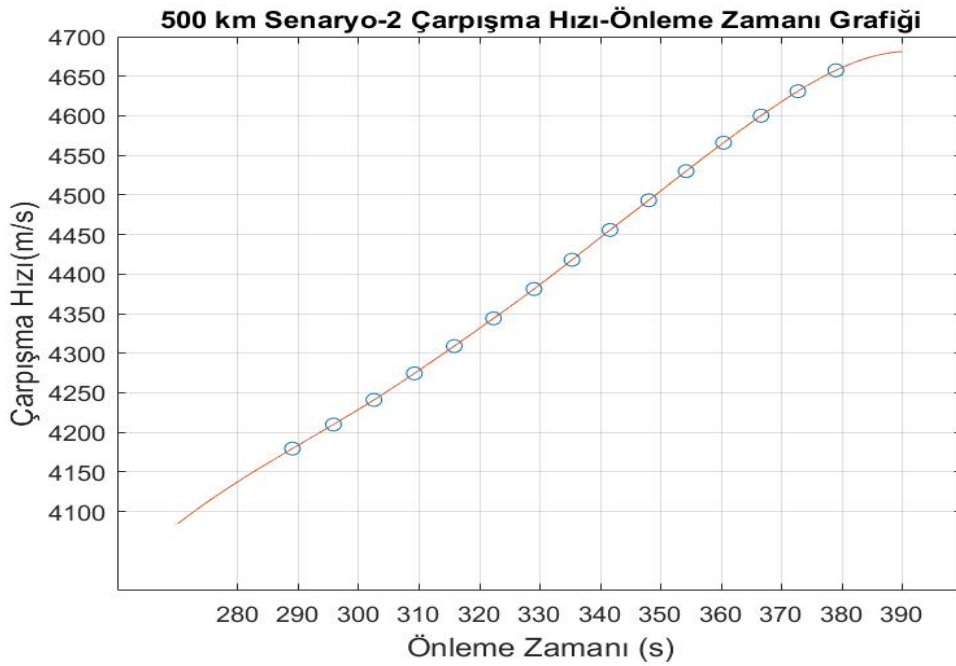


Şekil 4.16 500 km Senaryo-2 Önleme İrtifası-Fırlatma Zamanı Grafiği

Şekil 4.15 ve 4.16’da Fırlatma zamanına göre önleme irtifası ve menzili verilmektedir. Her iki grafik kullanılarak hangi anti balistik füzenin nerde önleme yapabileceği tespit edilebilir ve böylelikle art arda kaç anti balistik füze ateşlenebileceğine ilişkin taktik geliştirilebilir. Tüm grafikler incelendiğinde, 200’üncü saniyede ateşlemesi gerçekleştirilen anti balistik füzenin 290’ıncı saniyede önleme yapabildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17: Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı



Şekil 4.18: Çarpışma Hızı- Önleme Zamanı

Hız zaman grafikleri incelendiğinde maksimum çarpışma hızı ile önleme yapabilmek için atmosfere girmeden hemen önce önleme yapılması gerekmektedir.

Şekil 4.17 ve 4.18’de verilen çarpışma hızı-zaman grafikleri de göz önünde bulundurularak, 500 km menzile sahip balistik bir hedefin hangi irtifa aralıklarında, hangi mesafe aralığında, ne zaman ve hangi hızla çarpışarak önleneceği bilgisi sunulmaktadır.

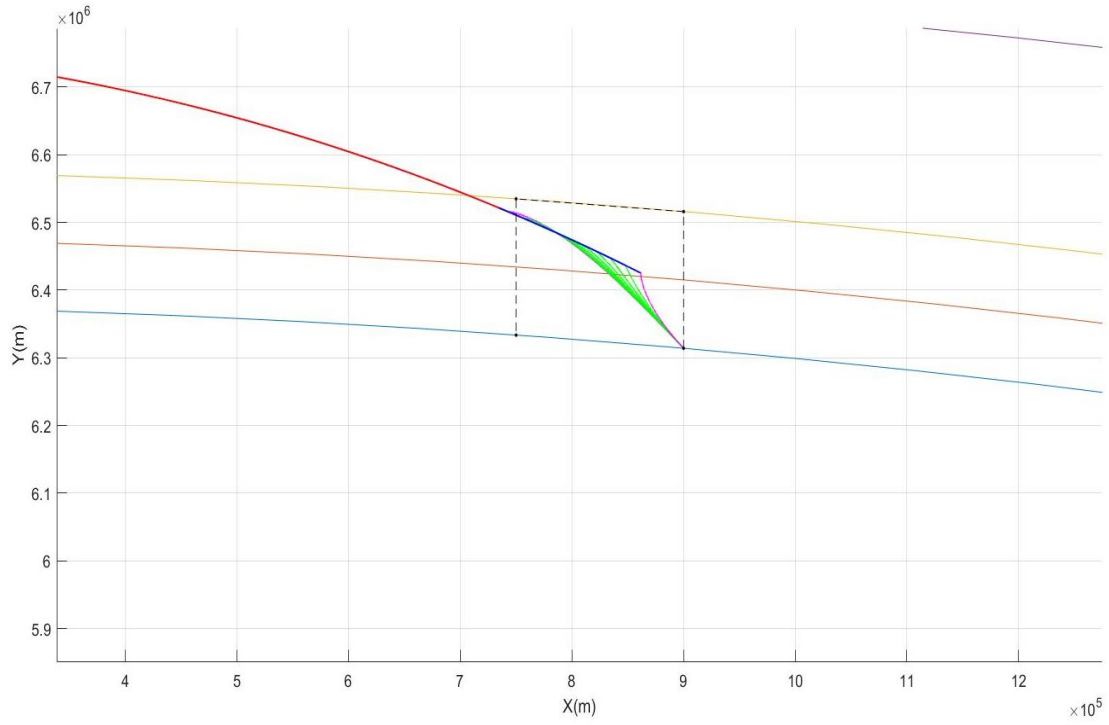
Bu senaryoda salvo atış değerlendirmesi yapıldığında 200’üncü saniyede fırlatılan HSF için önlemenin 289’uncu saniyede gerçekleşebileceği görülmektedir. Öldürücülük değerlendirmesi yapılarak 290’ıncı saniyede başka bir HSF fırlatılması gerekebilir. Bu durumda, 348’inci saniyede önleme gerçekleşebilecektir.

4.2.2. 2000 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı

Bu bölümde 2000 km menzile sahip balistik bir hedefin tespitinden sonra gerçekleştirilen angajmanlar 2 farklı senaryo ile ele alınmıştır. Senaryolar, hava savunma sisteminin hedeften daha önde olduğu ve hava savunma sisteminin hedeften daha ileride olduğu durumlar için oluşturulmuştur. Elde edilen angajman grafiklerinden yola çıkılarak irtifa-zaman grafiği ile hedefe olan mesafe-zaman grafiği verileri paylaşılmıştır.

4.2.2.1. Senaryo 1: HSS’nin Önde Olma Durumu

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -1000 km’de bulunan ve bileşke hızı 4138 m/s olan balistik bir hedefin 45 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 900 km’de bulunan hızı 2804 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan HSF’nin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin hareketinden belli süre sonra HSF’nin hareket edecek şekilde kurgulanmıştır. Ayrıca, HSF’nin kabiliyetleri THAAD füzesinden esinlenerek belirlenmiştir. Seçilen HSF için 150 km menzil (x yönünde) ve 200 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek 10’ar saniye aralıklarla 10 farklı durum ele alınarak angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.19’ta sonuçlar paylaşılmıştır



Şekil 4.19. 2000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 470 saniye sonra HSF'nin fırlatıldığı, son fırlatma zamanının ise 560 saniye sonra atmosfer dışında ve anti balistik füzenin yetenekleri içerisinde olacağı gözlemlenmiştir. Bu durumda, tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

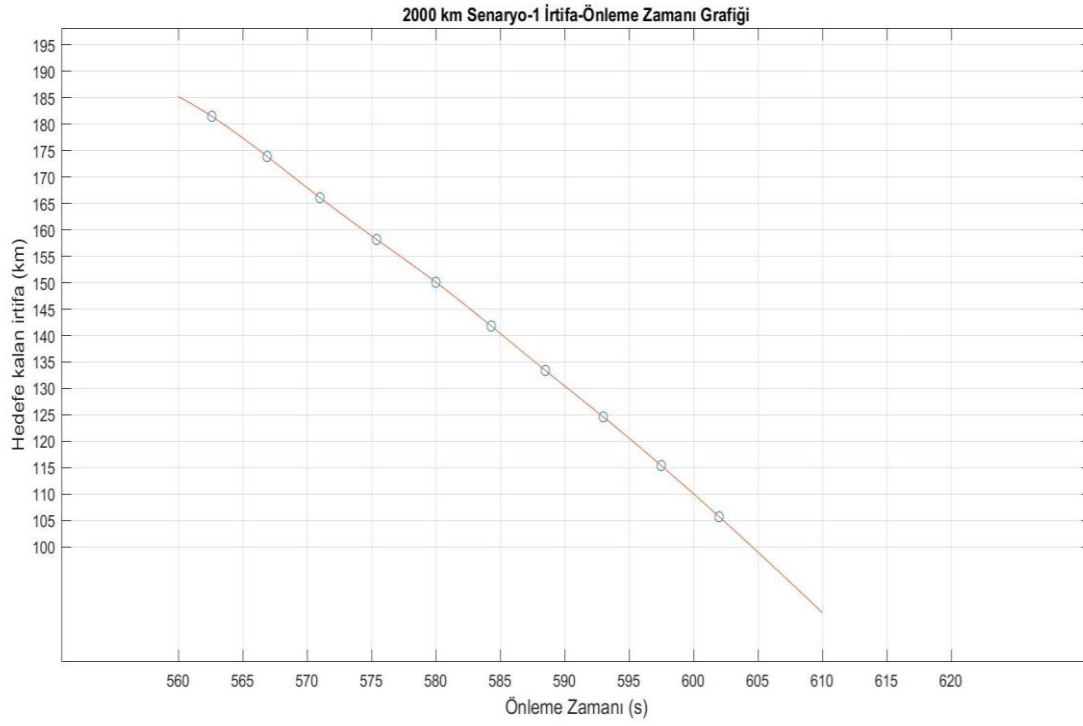
Çizelge 4.3. 2000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler

HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te) (sn)
470	181.5	314.9	562.6
480	173.9	299.9	566.9
490	166.1	284.9	571
500	158.2	269.7	575.4
510	1501.1	254.3	580
520	141.8	239	584.3
530	133.4	223.2	588.5
540	124.6	207.2	593
550	115.4	190.8	597.5
560	105.7	173.9	602

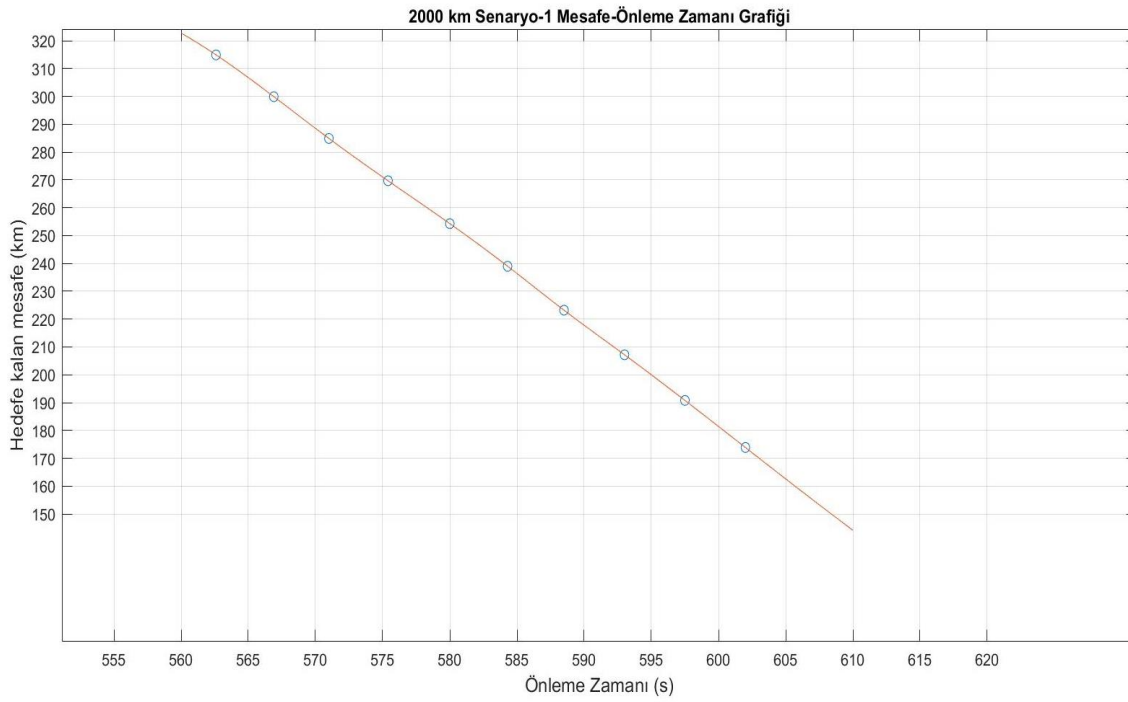
Çizelge 4.3'te yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik bir hedefin Bölüm 4.2.2.1'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre (fırlatma zamanı) 470'inci saniyeden sonra ve en son 560 saniye sonra olacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

Atış sonuçları incelendiğinde füzeyle verilen yanal ivmenin 10 farklı durum için en fazla $7g$ olduğu gözlemlenmiş olup söz konusu değer in füze dinamikleri göz önünde bulundurularak uygun olduğu değerlendirilmiştir.

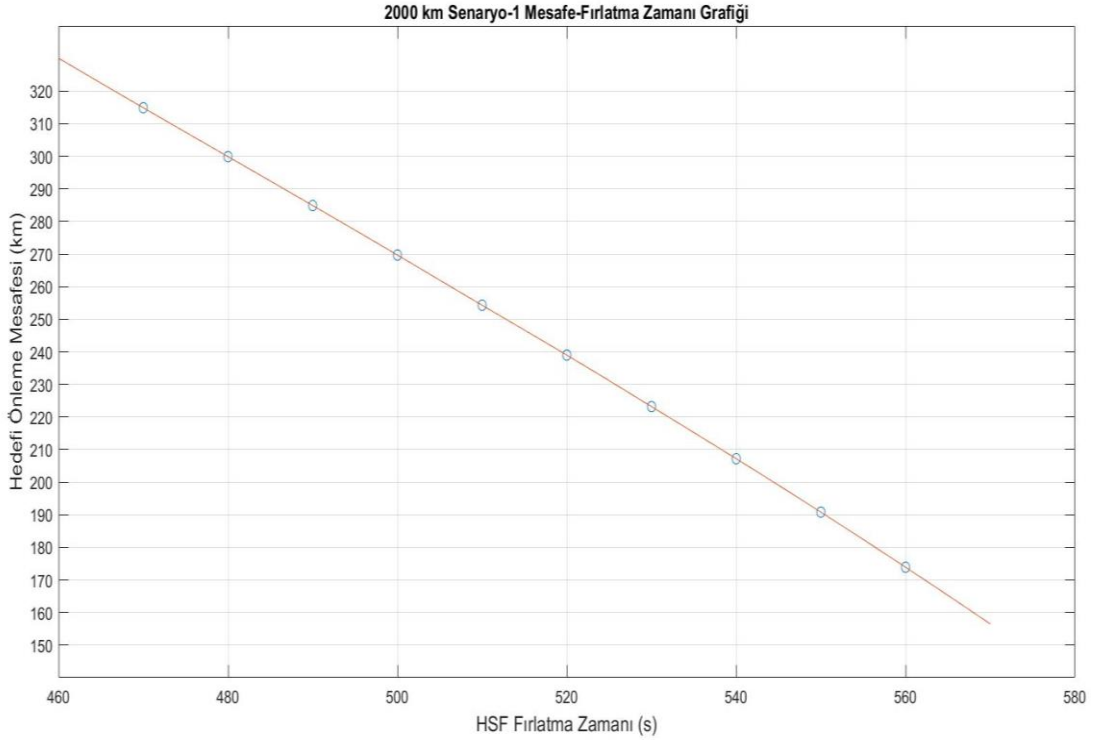
Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.20 ve 4.21'de sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.22 ve 4.23'te sunulmuştur.



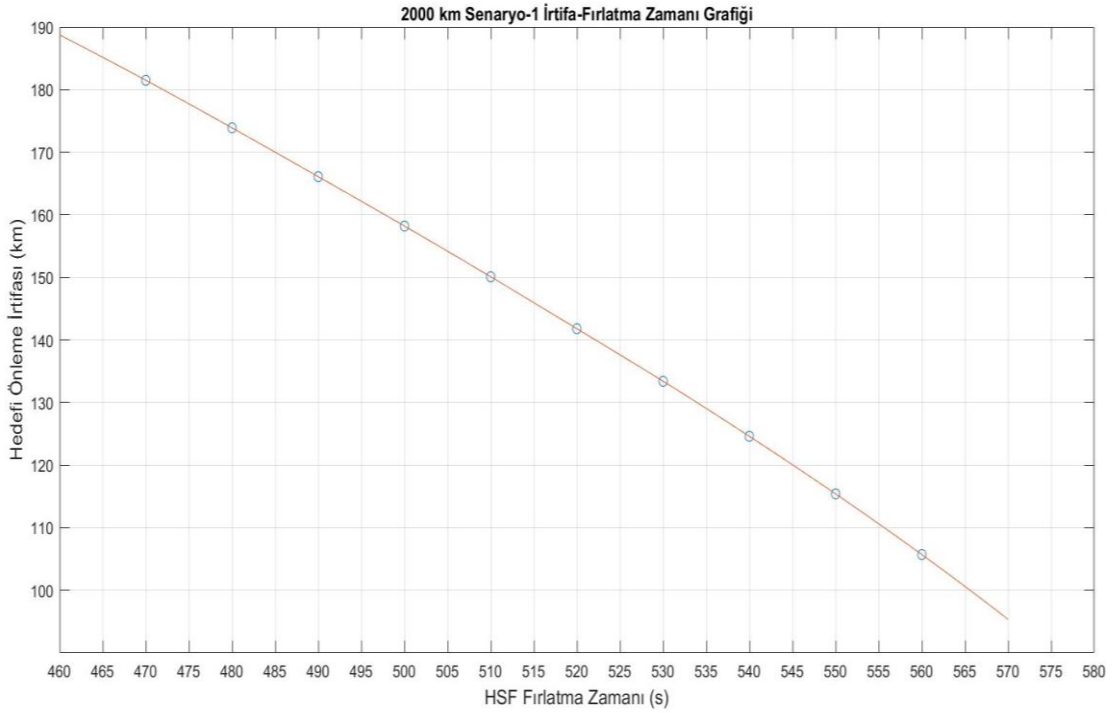
Şekil 4.20. 2000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.21 2000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği



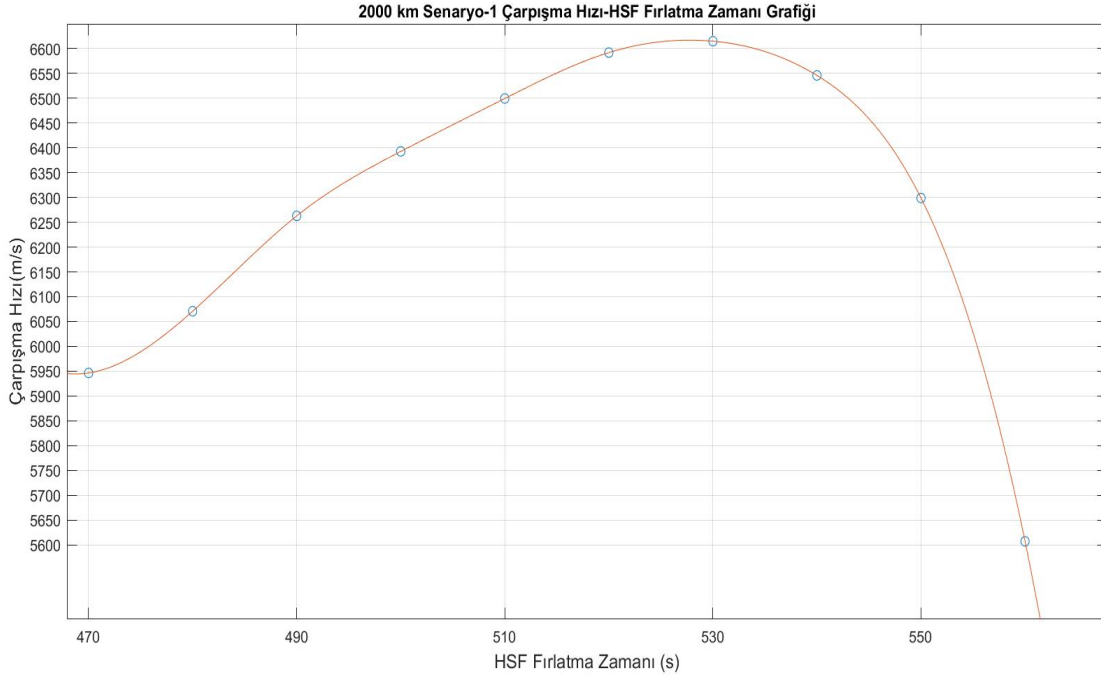
Şekil 4.22. 2000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği



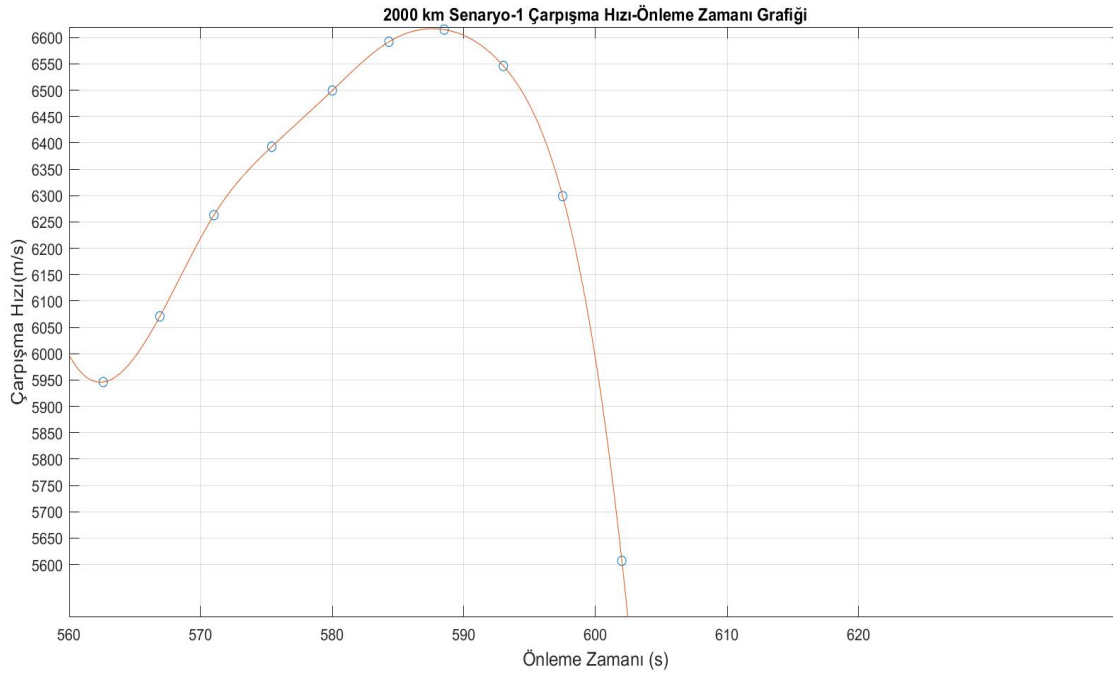
Şekil 4.23. 2000 km Senaryo-1 Önleme İrtifası-Fırlatma Zamanı Yeri Grafiği

Şekiller incelendiğinde, önleme yapabilecek ilk anti balistik füzenin, balistik hedefin hareketinden en az 470 sn sonra ateşlenmesi gerektiği en çok ise 560 sn sonra ateşlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu zaman aralığında ateşlenmesi gerçekleştirilen anti balistik

füzeler balistik hedefi, yaklaşık olarak dünya yüzeyinde 105 km yükseklik ile 182 km yükseklik aralığında hedefin oldukça uzağında önleyebilecektir. Şekil 4.24 ve 4.25'te bu önlemlere ait çarpışma hızları verilmiştir.



Şekil 4.24. 2000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Fırlatma Zamanı Grafiği



Şekil 4.25. 2000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı-Önleme Zamanı Grafiği

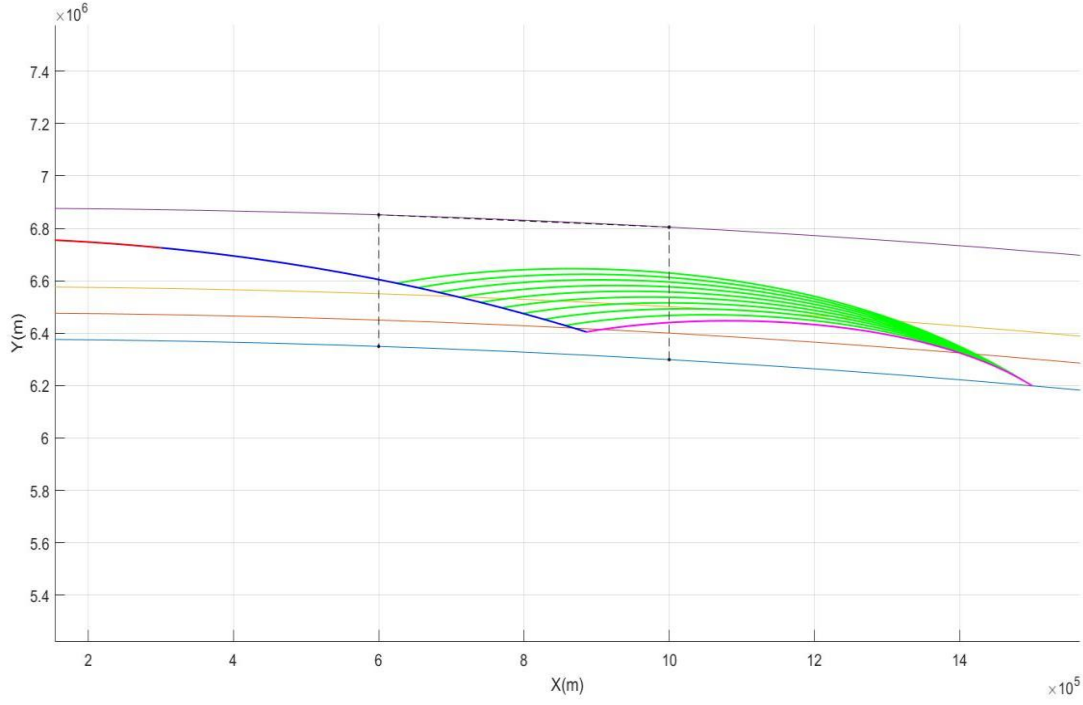
Şekil 4.24 ve 4.25'te yer alan çarpışma hızı grafikleri incelendiğinde maksimum çarpışma hızına; balistik hedefin hareketinden 530 sn sonra ateşlenen anti balistik füzeyle

ulaşılabilirliği ve yaklaşık 60 saniye sonra önlemenin anti balistik füze yetenekleri dahilinde gerçekleştirilebileceği gözlemlenmektedir. 470'inci saniyede atılan HSF'nin 562.6'ncı saniyede öldürücülük değerlendirmesinin yapılabileceği görülmektedir. Bu değerlendirmeden sonra atılacak HSF'nin 100 km üzerinde önleme yapmasının mümkün olmadığı değerlendirilmiştir.

4.2.2.2. 2000 km Senaryo-2: HSF'nin İleride Olması

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -1000 km'de bulunan ve bileşke hızı 4138 m/s olan balistik bir hedefin 45 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 1500 km'de bulunan hızı 3741 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan HSF'nin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir. 2000 km'lik menzile sahip balistik hedefin x yönünde +1000 km'yi hedef alacağı toplanan verilerle gözlemlenmiştir. Bu yüzden 1500 km'de bulunan Hava Savunma Füzesi seçimi bu değerler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda ilk 3 senaryoda seçilen 150 km'lik menzile sahip bir füze ile bu angajmanın gerçekleştirilemeyeceği anlaşılmaktadır. Bu yüzden HSF, SM-3 Blok-1 benzeri bir sistemden yola çıkılarak kurgulanmıştır.

Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin hareketinden belli süre sonra HSF'nin hareket edecek şekilde kurgulanmıştır. Seçilen HSF için 900 km menzil (x yönünde) ve 500 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek 20'şer saniye aralıklarla 10 farklı durum ele alınarak angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.26'da sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 4.26. 2000 km Senaryo-2 Ardışık Benzetim Çalışmaları

Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 240 saniye sonra HSF'nin fırlatıldığı, son fırlatma zamanının ise 420 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. Burada HSF koruduğu bölgeden daha ileride olduğu için daha erken fırlatılması gerektiği, ancak balistik hedefin uçuşunun uzun olması dolayısıyla angajman için daha geniş bir zaman aralığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, başlangıçta tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

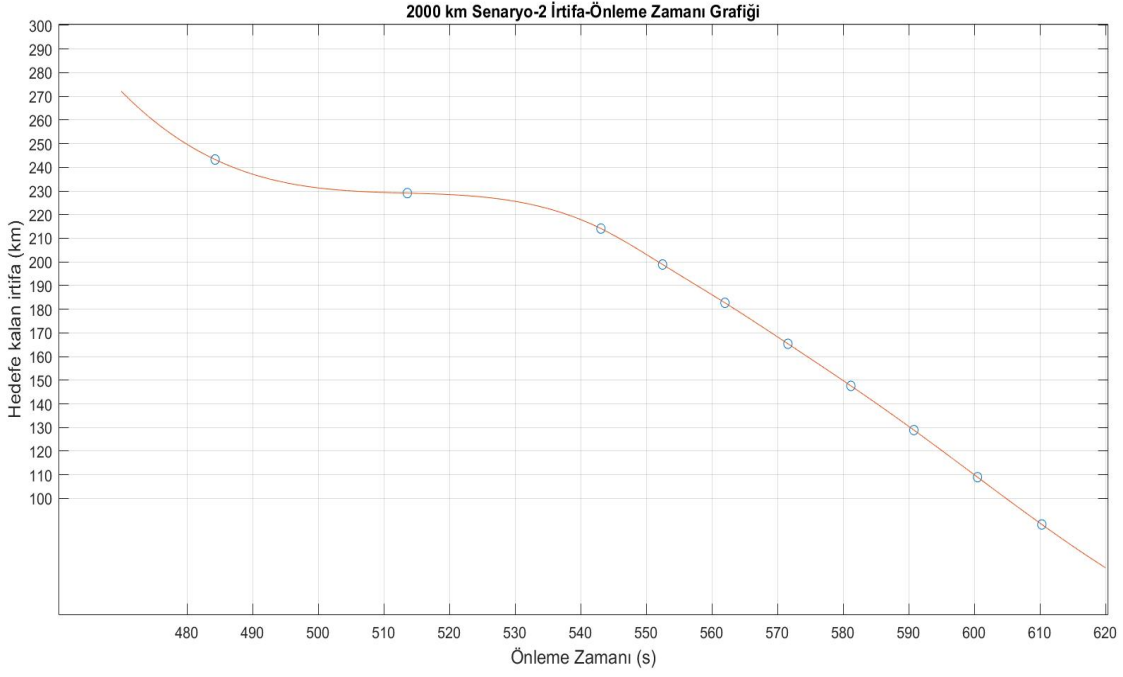
Çizelge 4.4. 2000 km Senaryo-2'ye İlişkin Veriler

HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te) (sn)
240	243.3	446.7	484.3
260	229.1	414.9	513.6
280	214.4	382.8	543.1
300	198.9	350.2	552.5
320	182.7	317.3	562
340	165.4	283.6	571.6
360	147.6	249.6	581.2
280	128.9	205	590.8
400	109	179.8	600.5
420	89	144.2	610.3

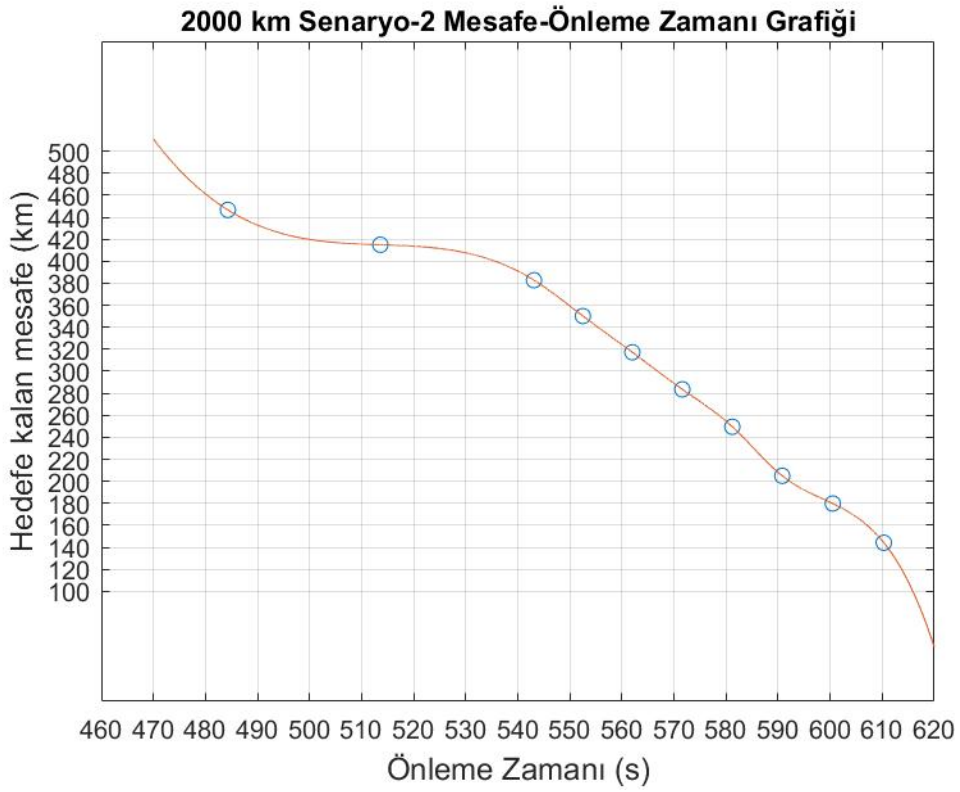
Çizelge 4.3'te yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik bir hedefin Bölüm 4.3.3.2.2'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre (fırlatma zamanı) 240'ıncı saniyeden sonra ve 420'nci saniyeden önce HSF'nin fırlatılması gerekmektedir. 420'nci saniyeden ateşlenen füzenin atmosferin içinde önleme yapılabileceği anlaşılmaktadır.

Atış sonuçları incelendiğinde füzeye verilen yanal ivmenin 10 farklı durum için en fazla 13g olduğu gözlemlenmiş olup söz konusu değerlerin füze dinamikleri göz önünde bulundurularak uygun olduğu değerlendirilmiştir.

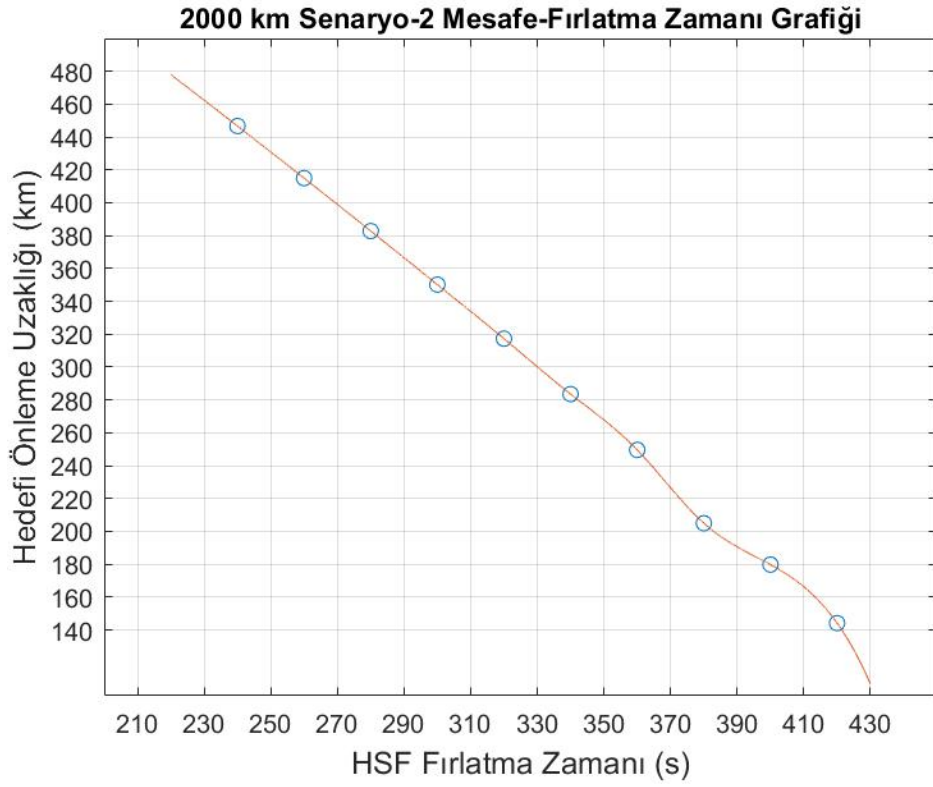
Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.27 ve 4.28'de sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.



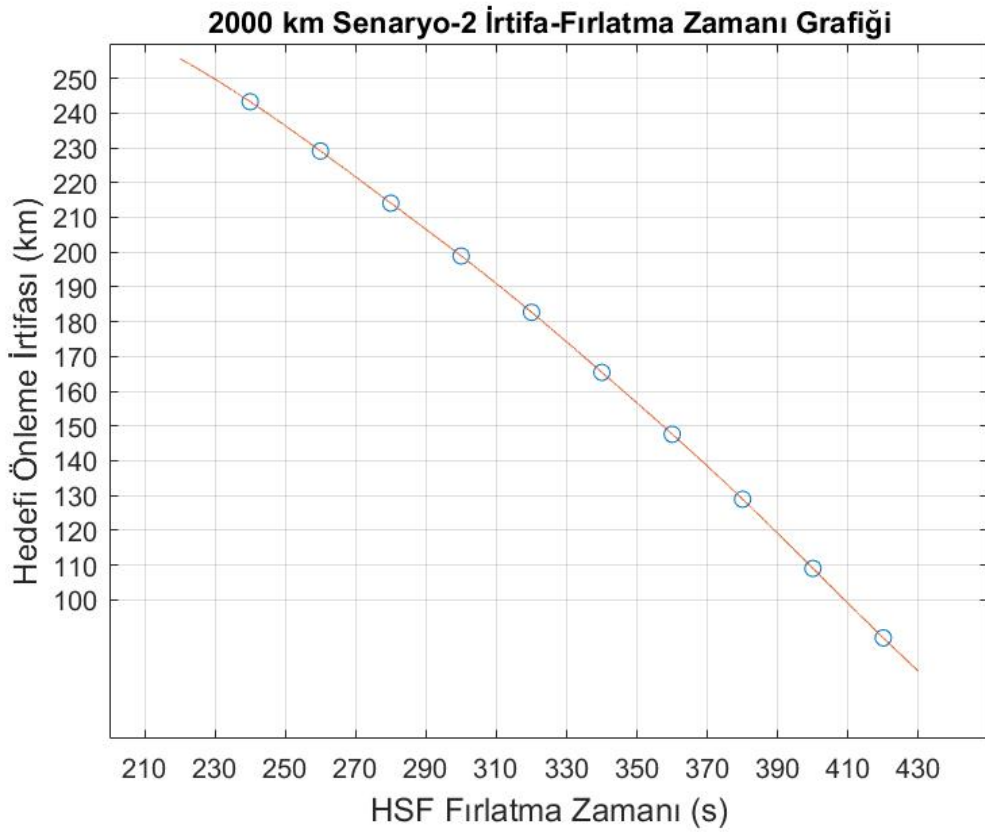
Şekil 4.27. 2000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.28. 2000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği



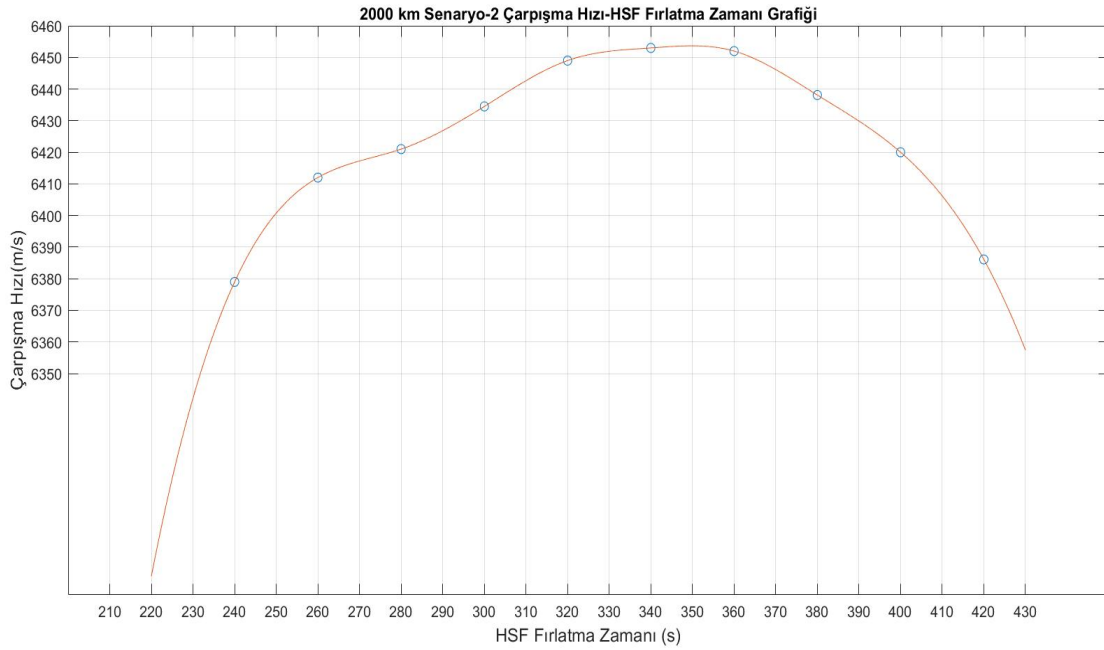
Şekil 4.29. 2000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme Uzaklığı Grafiği



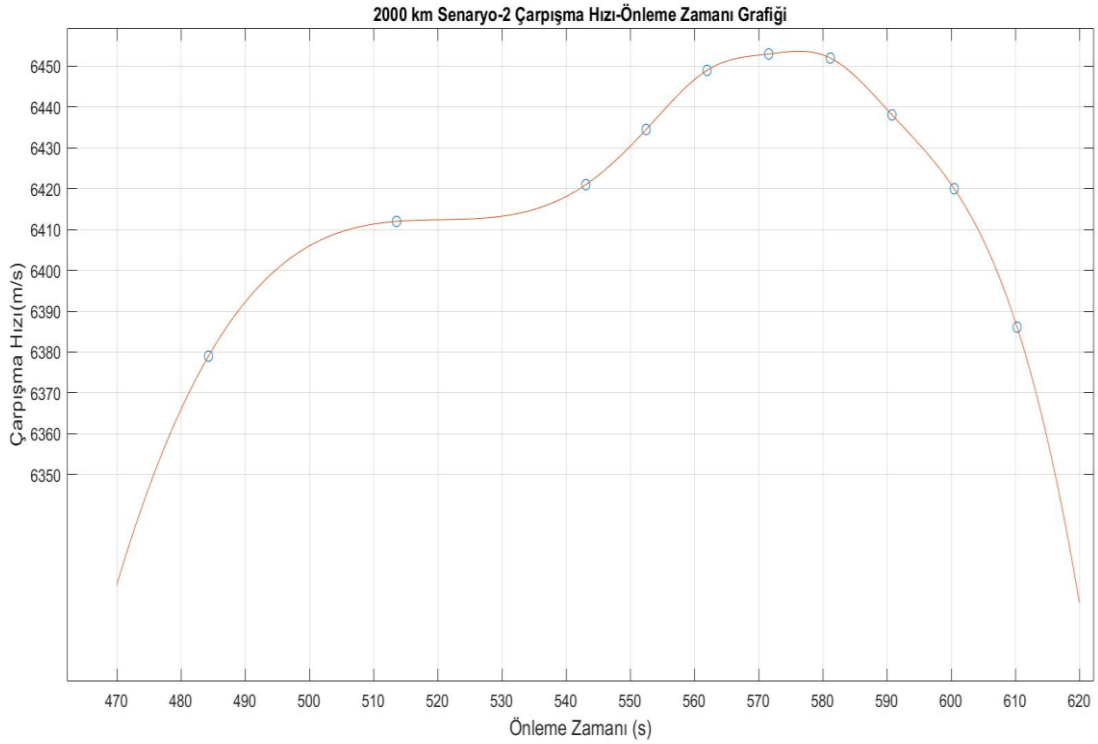
Şekil 4.30 2000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği

Tüm şekiller incelendiğinde, önlemenin 100-240 km irtifa aralığında hedeften en çok 450 km, en az 140 km uzaklıkta yapılabileceği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.31 ve 4.32’de verilen Çarpışma hızlarına ait verilerden yola çıkarak; çarpışma hızının zamanla arttığı, en yüksek çarpışma hızına 340 saniye sonra ateşlenen ve yaklaşık 575 saniyede önleme yapabilen anti balistik füzenin erişebildiği ve bu noktadan sonra çarpışma hızının hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Anti balistik füze yetenekleri içerisinde en düşük çarpışma hızının ilk ateşlenen anti balistik füzenin sahip olduğu gözlemlenmiştir. İlk olarak 240’ıncı saniyede ateşlenen HSF’nin yaklaşık 484’üncü saniyede önleme yaptığı anlaşılmakta olup bu süreden sonra ateşlenecek HSF ile atmosfer dışında önleme yapılması mümkün olmayacaktır.



Şekil 4.31 2000 km Senaryo-2 Hava Savunma Füzesi Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği



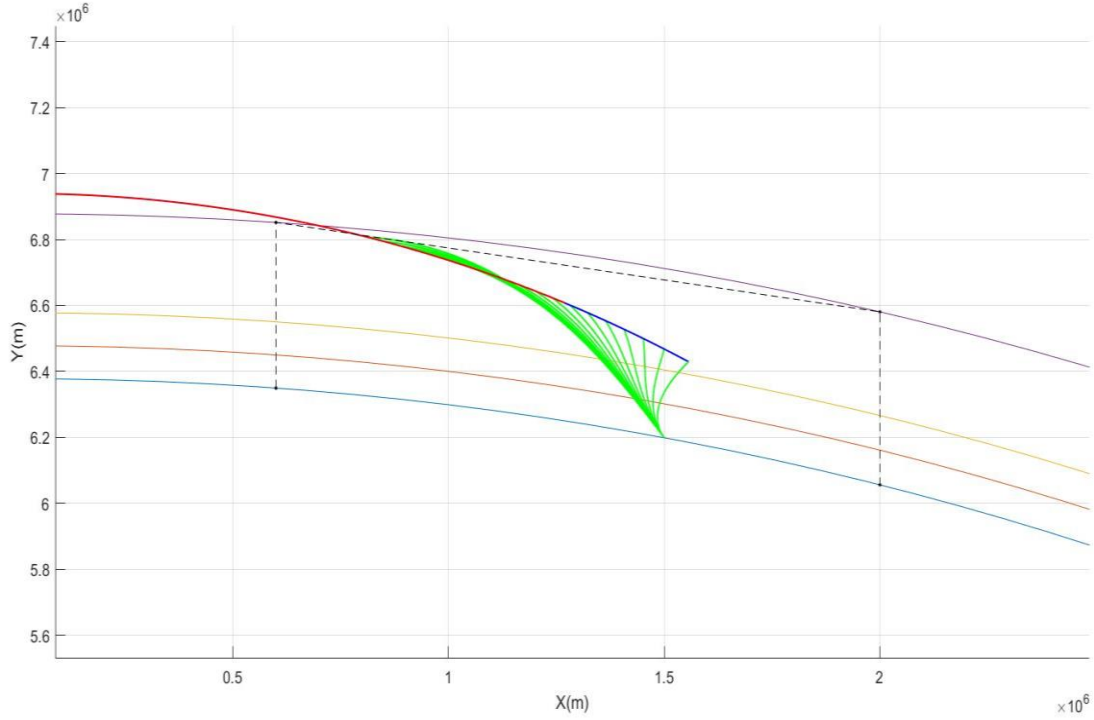
Şekil 4.32 2000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı- Çarpışma Hızı Grafiği

4.2.3. 4000 km Menzilli Balistik Füze Angajmanı

Bu bölümde 4000 km menzile sahip balistik bir hedefin tespitinden sonra gerçekleştirilen angajmanlar 2 farklı senaryo ile ele alınmıştır. Senaryolar, hava savunma sisteminin hedeften daha önde olduğu ve hava savunma sisteminin hedeften daha ileride olduğu durumlar için oluşturulmuştur. Elde edilen angajman grafiklerinden yola çıkılarak irtifa-zaman grafiği ile hedefe olan mesafe-zaman grafiği verileri paylaşılmıştır.

4.2.3.1. 4000 km Senaryo-1: HSF'nin Önde Olması

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -2000 km'de bulunan ve bileşke hızı 5570 m/s olan balistik bir hedefin 45 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 1500 km'de bulunan hızı 3741 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan HSF'nin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin hareketinden belli süre sonra HSF'nin hareket edeceği şekilde kurgulanmıştır. HSF'nin kabiliyetleri SM3 Blok-1 füzelerinden esinlenerek belirlenmiştir. Seçilen HSF için 900 km menzil (x yönünde) ve 500 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek 20 saniye aralıklarla 18 farklı durum ele alınarak angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.33'te sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 4.33: 4000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları

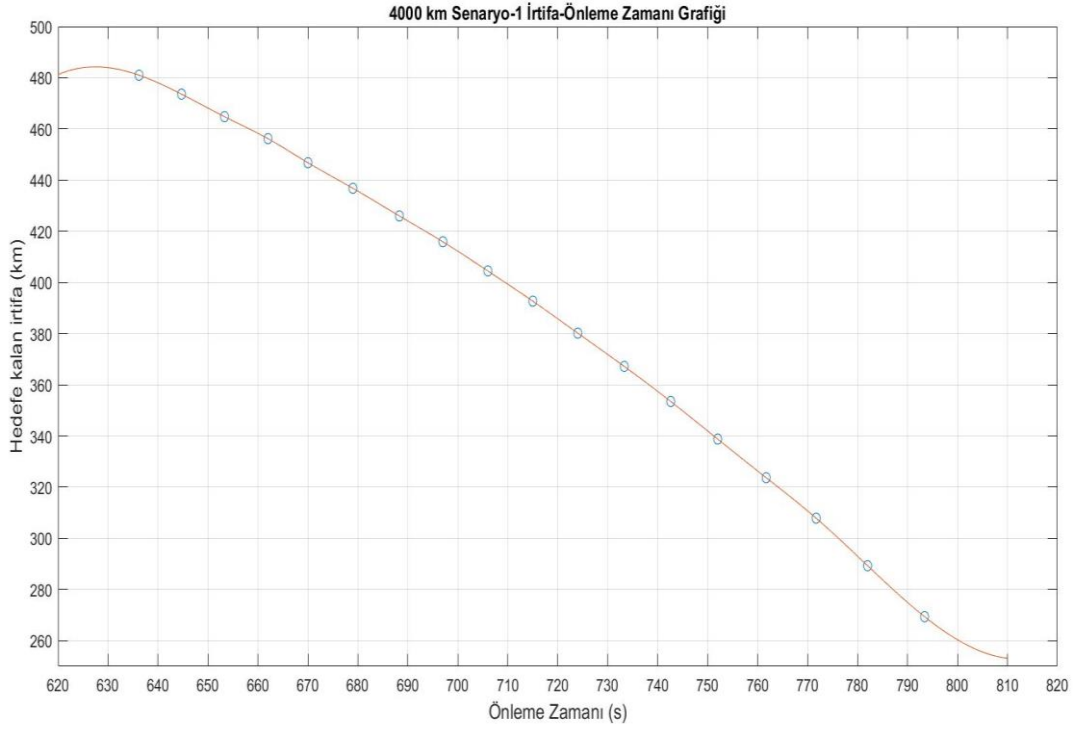
Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 380 saniye sonra HSF'nin ilk fırlatmasının yapılabileceği, son fırlatma zamanının ise 740 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. Burada Balistik hedefin uçuşunun uzun olması ve iki yönde de angajman yapabileceği için daha geniş bir zaman aralığında önleme yapabilme yeteneğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. 740 saniyeden sonra atılan anti balistik füzeler için güdüm algoritmasının fazla yanal ivme komutu üretmesi sebebiyle veriler kullanılmamıştır. Bu durum, sistem kabiliyetleri dışında olarak tanımlanır. Böylece, başta tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.5. 4000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler

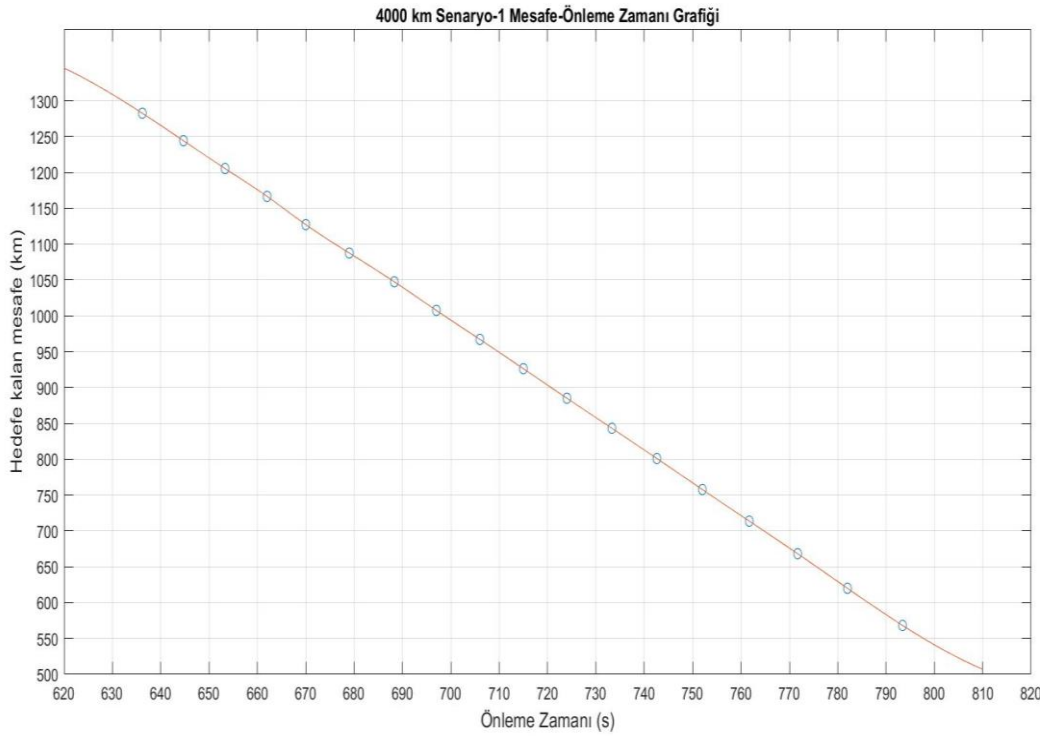
HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te)
380	481	1282.6	636.2
400	473.6	1244.3	644.7
420	464.8	1205.5	653.3
440	456.2	1166.6	662
460	446.8	1127.2	670
480	436.8	1087.6	679
500	426	1047.5	688.3
520	415.9	1007.6	697
540	404.5	967.1	706
560	392.7	926.3	715.2
580	380.2	885.1	724.1
600	367.2	843.2	733.3
620	353.5	800.9	742.6
640	338.8	757.8	752
660	323.7	713.7	761
680	307.9	668.3	771.1
700	289.3	620	782
720	269.4	568.2	793.4

Çizelge 4.5'te yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik bir hedefin Bölüm 4.2.3.1.'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre (fırlatma zamanı) 380'inci saniyeden sonra ve 720'inci saniyeden önce HSF'nin fırlatılması gerekmektedir.

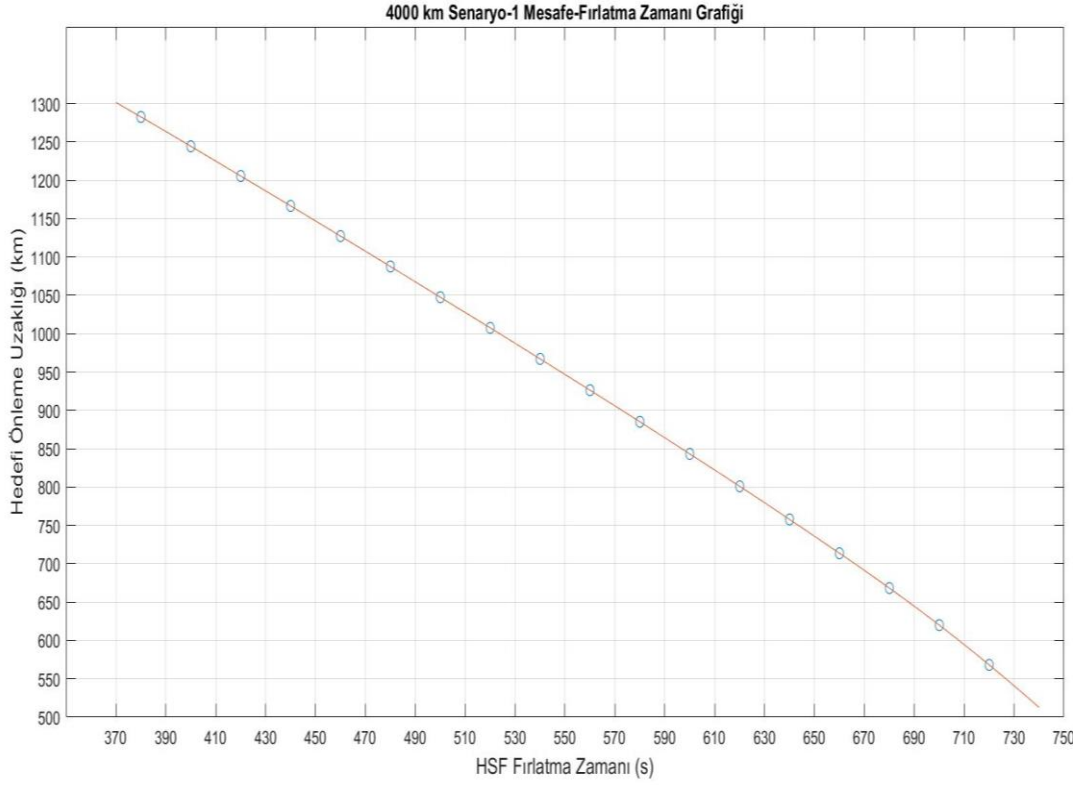
Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.34 ve 4.35'te sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri ise 4.36 ve 4.37'de yer almaktadır.



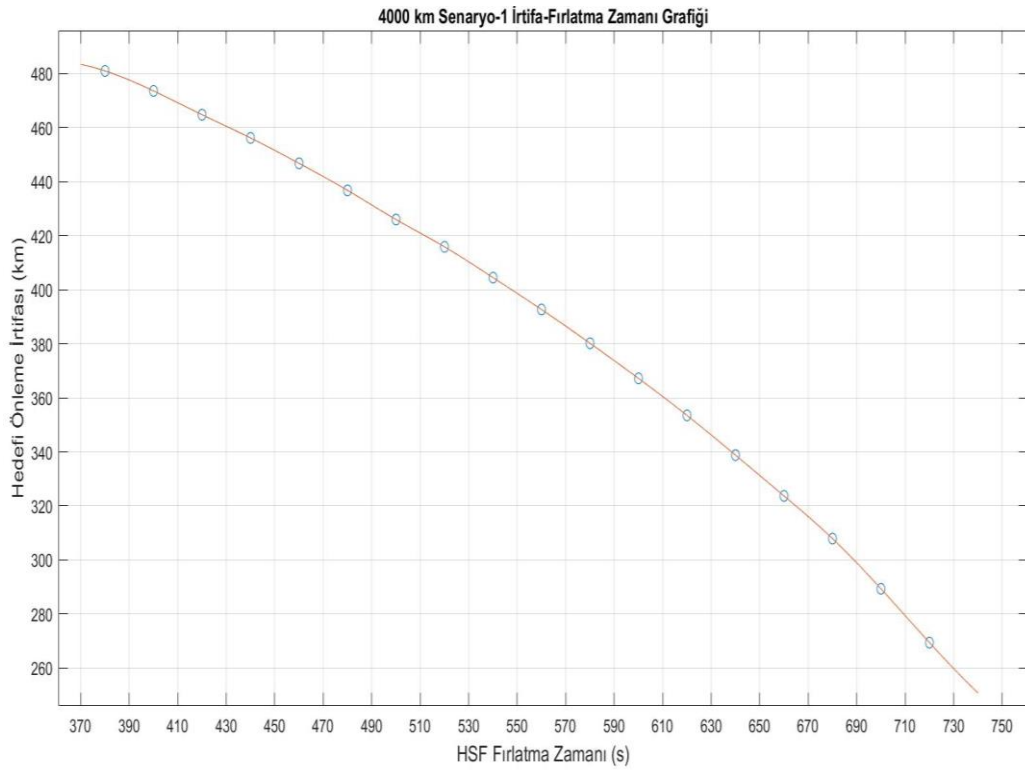
Şekil 4.34. 4000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.35 4000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği



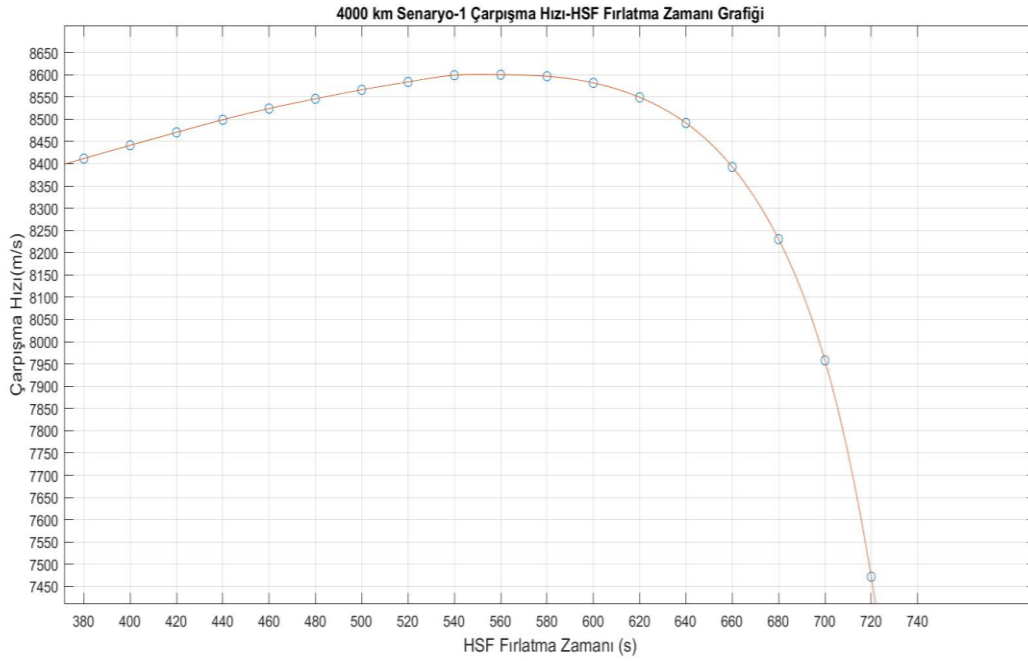
Şekil 4.36. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği



Şekil 4.37. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Hedefi Önleme İrtifası Grafiği

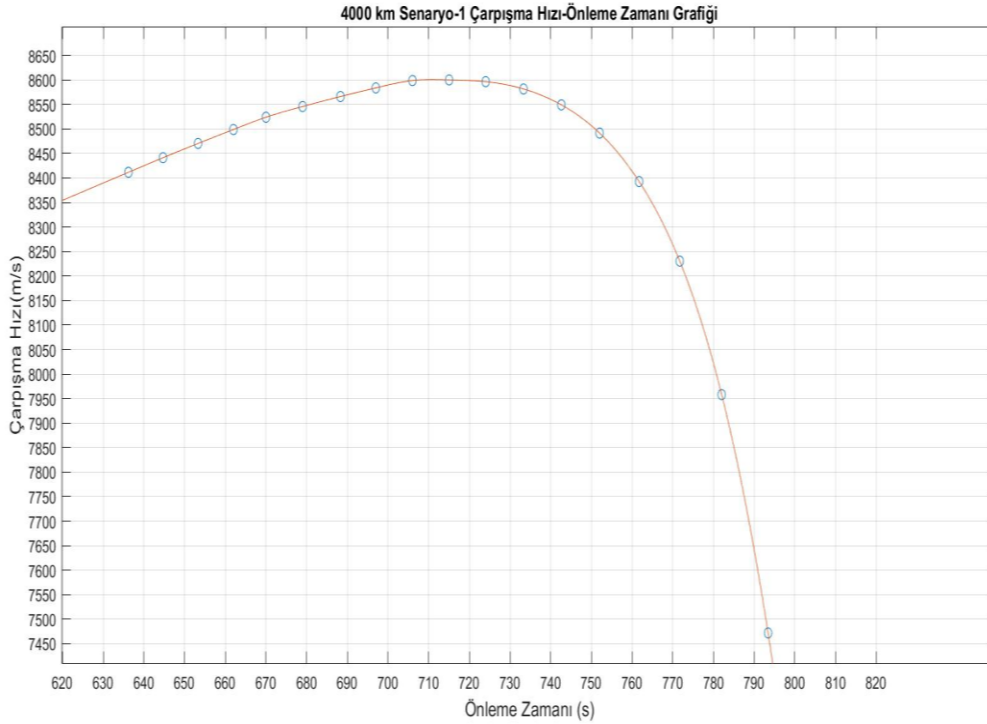
Balistik füzenin fırlatılmasından 380 saniye sonra ilk angajman gerçekleşebilirken, 360 saniye boyunca da önleme için anti balistik füze fırlatılabilir. Örnek olarak incelemek

gerekirse ilk anti balistik füze fırlatıldıktan sonra önleme yaklaşık 256 saniye sonra gerçekleşebilecektir. Eğer önleme gerçekleşmezse verilen grafiklere göre en az 1 adet daha füze atılabileceği anlaşılmaktadır. Böylelikle geniş zaman aralığında, yüksek irtifa ve uzun menzillerde önleme yapmanın “Vur-Bak- Vur” ya da ““Vur- Bak- Bak- Vur” taktikleri ile ele alınabileceği değerlendirilmesi yapılabilir.



Şekil

4.38. 4000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği



Şekil 4.39. 4000 km Senaryo-1 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği

Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 520 saniye sonra HSF'nin ilk fırlatmasının yapılabileceği, son fırlatma zamanının ise 660 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. Burada Balistik hedefin uçuşunun uzun olmasına rağmen Hava Savunma Füzesinin bulunduğu konumdan dolayı erken algılamak ve atmosfere giriş yapmadan önlemek için daha kısa bir süre bulunduğu anlaşılmaktadır. 500'üncü saniyede fırlatılan HSF'ninin balistik hedefi önlemesi için menzilin yeterli olmadığı ve 660'inci saniyede fırlatılan HSF'nin ise balistik hedefi atmosfere giriş yaptıktan sonra önleyebileceği çıkarımı Şekil 4.39'dan yapılmaktadır. Bu durum, sistem kabiliyetleri dışında olarak tanımlanır. Bu durumda, başlangıçta tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

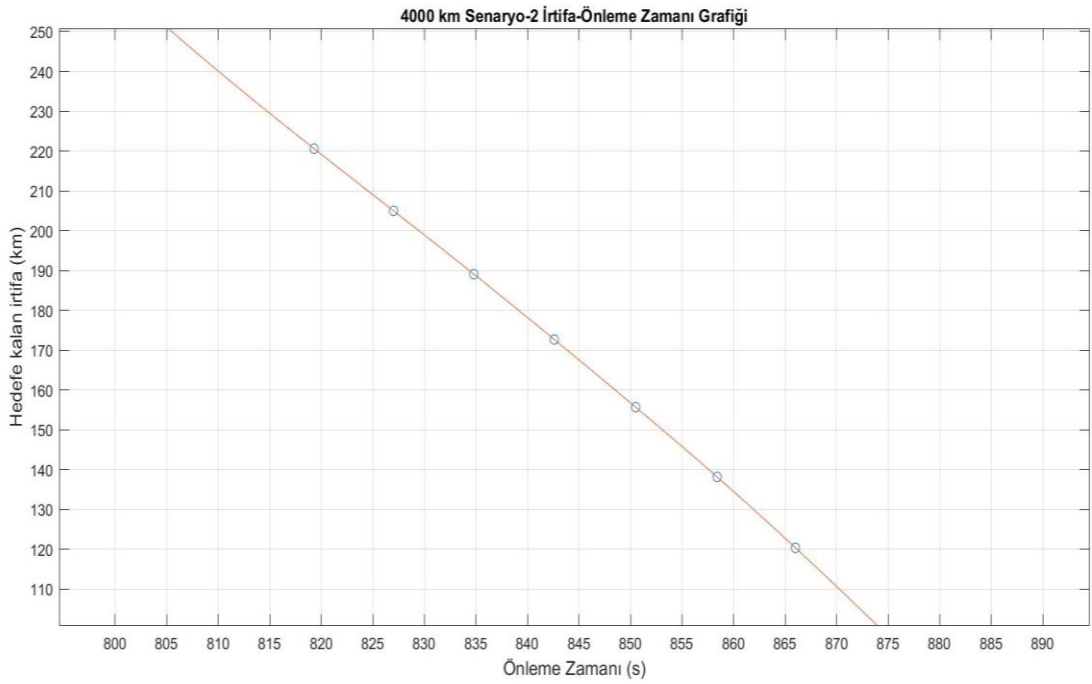
Çizelge 4.6. 4000 km Senaryo-2'ye İlişkin Bilgiler

HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Önleme Zamanı (te) (sn)
520	220.6	449.4	819.3
540	204.9	413.4	827
560	189.1	377.3	834.8
580	172.7	341.1	842.6
600	155.7	304.5	850.5
620	138.2	267.7	858.4
640	120.4	230.7	866
660	100	192.4	874.3

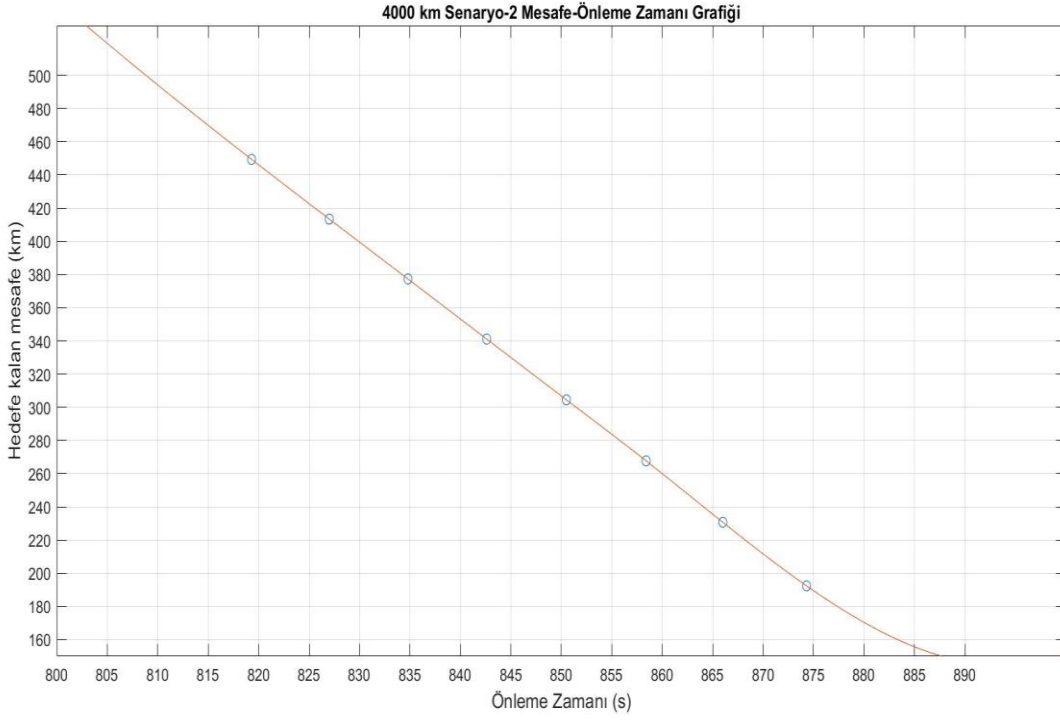
Tablo 4.6'da yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik bir hedefin Bölüm 4.3.3.3.2'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre (fırlatma zamanı) 520'nci saniye ve sonrasında ve 660'inci saniyeden önce HSF'nin fırlatılması gerekmektedir.

Güdümlü algoritması tarafından üretilen ivme değerleri 9 farklı durum arasında en fazla 19 g olarak gözlemlenmiştir. Söz konusu değerlerin füze dinamikleri göz önünde bulundurularak uygun ve makul ölçüde olduğu değerlendirilmiştir.

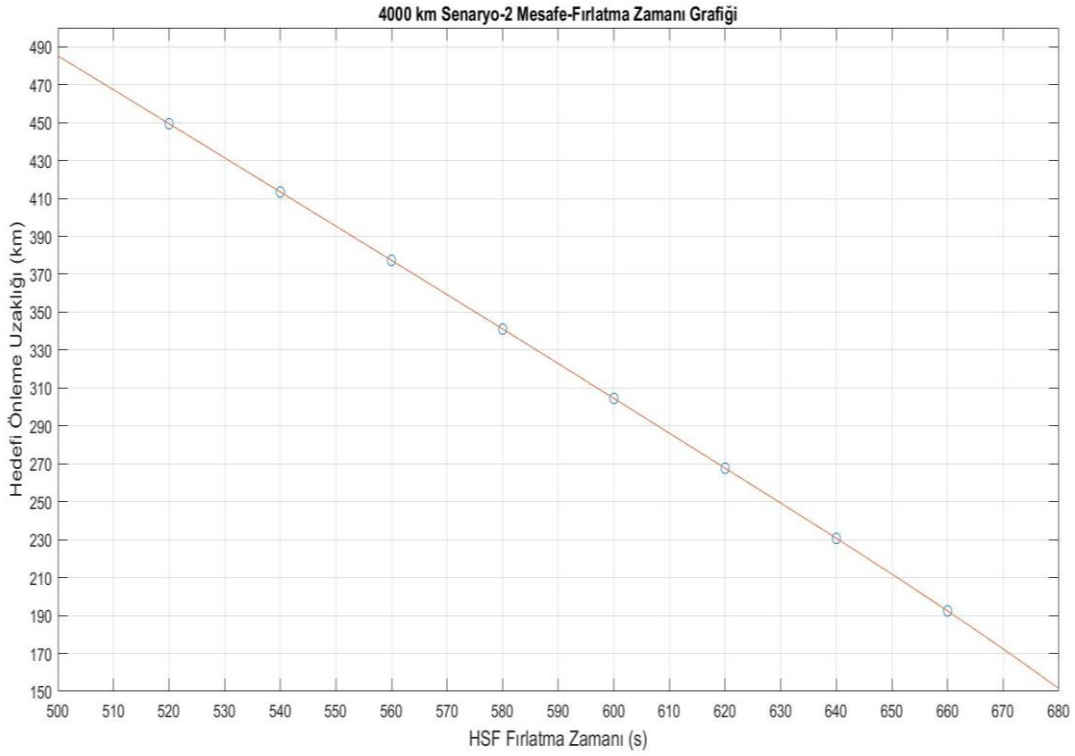
Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.40 ve 4.41’de sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.42 ve 4.43’te verilmiştir.



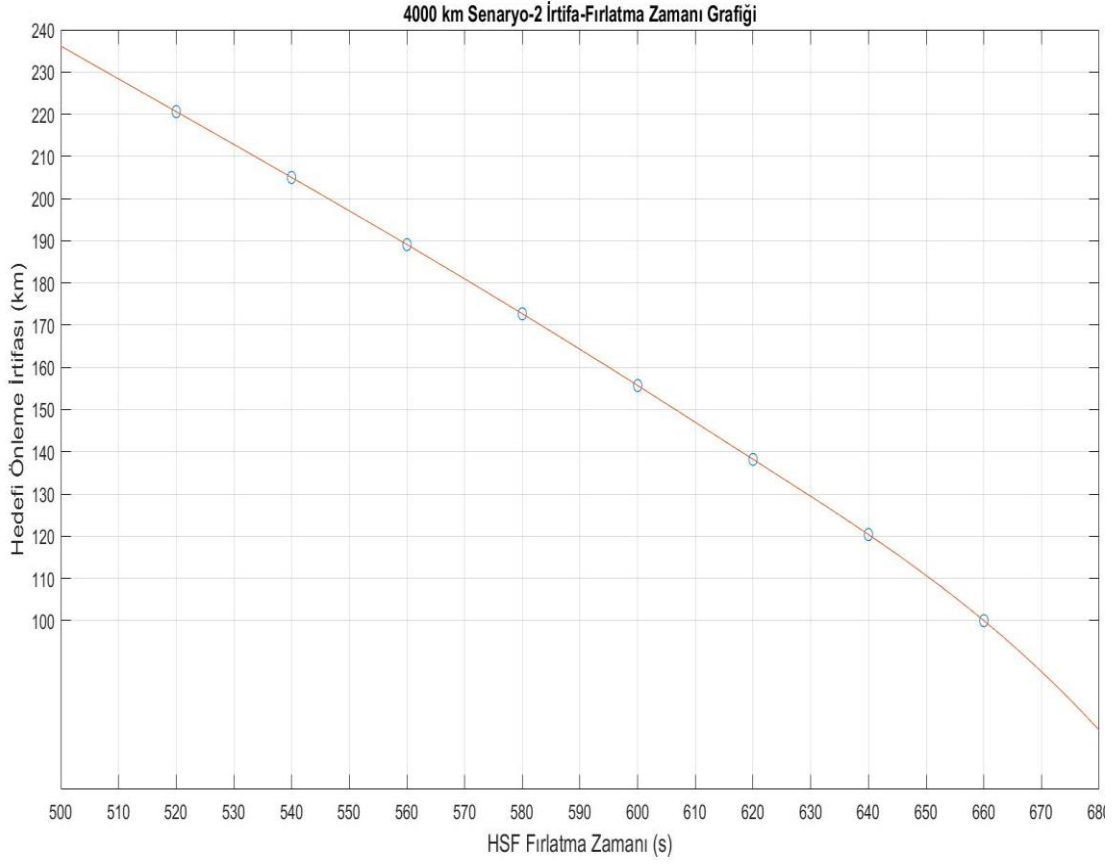
Şekil 4.41. 4000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.42. 4000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği



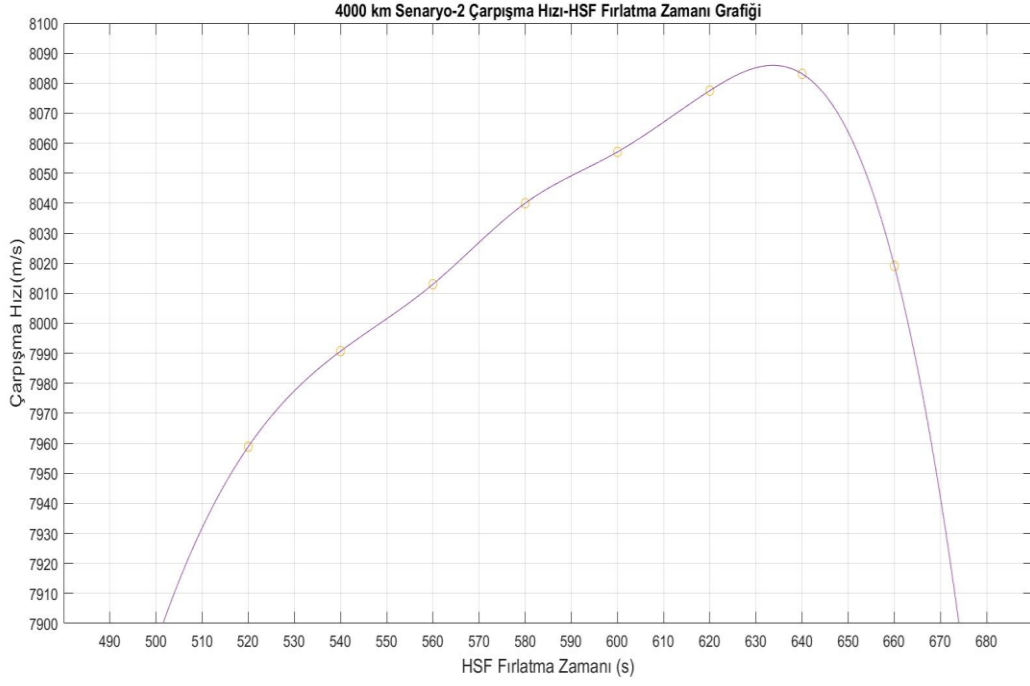
Şekil 4.43 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği



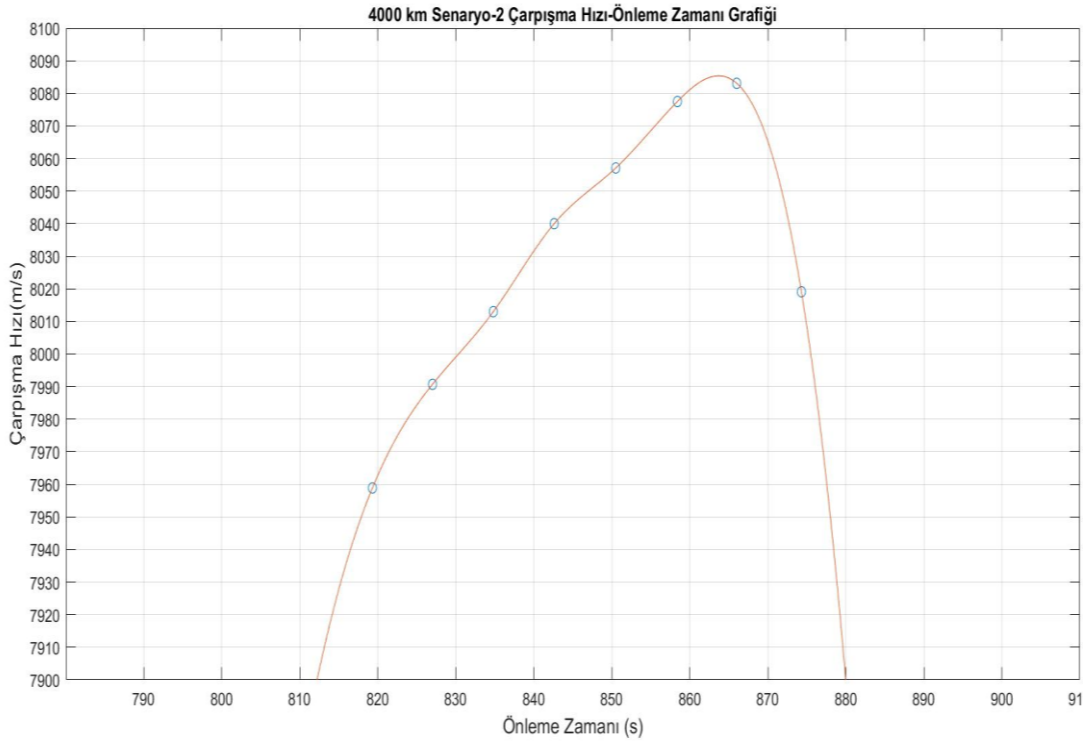
Şekil 4.44 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği

Şekiller incelendiğinde, Hava Savunma Füzenin ateşlendiği yer hedefin daha ilerisinde olduğu için anti balistik füzenin uçuşu zaman almaktadır. Bu nedenle, önleme yapılabilecek kısıtlı bir zaman bulunmaktadır. Kısıtlı zamandan dolayı, ilk anti balistik füzenin ateşlendikten sonra önleme yapıp yapmayacağı beklenmesi durumu yaklaşık 300 sn almaktadır. Bu süre ikinci bir anti balistik füzenin yetenek sınırları dahilinde ateşleme ve önleme yapmasına izin vermemektedir.

Şekil 4.45 ve 4.46'da yer alan çarpışma hızı -zaman grafikleri incelendiğinde en yüksek çarpışma hızına 630'uncu saniyede ateşlenmesi durumunda ulaşılmakta olduğu görülmektedir. Böylelikle 520-630 sn aralıklarında ateşlenen anti balistik füzelerin hedef ile çarpışma hızı artarak devam etmektedir. Ayrıca, belirtilen yetenek sınırları içerisinde gerçekleştirilecek son ateşleme ile en düşük çarpışma hızı gerçekleşmektedir.



Şekil 4.45 4000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği



Şekil 4.46 4000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği

Şekil 4.47. 8000 km Senaryo-1 Ardışık Benzetim Sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 600 saniye sonra HSF'nin ilk fırlatmasının yapılabileceği, son fırlatma zamanının ise 1000 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. 1000 saniyeden sonra gerçekleşen fırlatmalarda ivme komutu 60g'lerin üzerinde olduğu için dikkate alınmamış olup yetenek sınırları dışında olarak değerlendirilmiştir.

Toplanan diğer verilere ilişkin bilgiler Çizelge 4.7'de yer almaktadır.

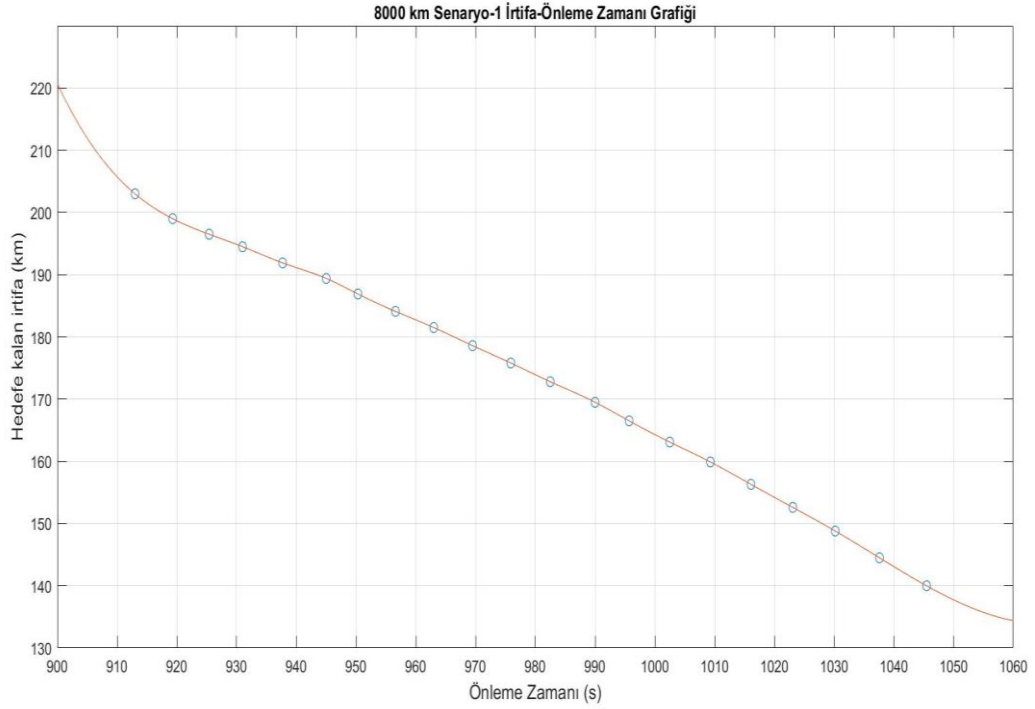
Çizelge 4.7. 8000 km Senaryo-1'e İlişkin Veriler

HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Angajman Zamanı (te) (sn)
600	203	1910	913
620	199	1871.2	919.3
640	196.5	1830.6	925.4
660	194.5	1789.8	931
680	191.9	1748.6	937.7
700	189.4	1707.3	945
720	186.9	1665.8	950.3
740	184.1	1624	956.6
760	181.5	1582	963
780	178.6	1539.8	969.5
800	175.8	1497.8	975.9
820	172.8	1455	982.5
840	169.5	1412.3	990
860	166.5	1469.5	95.7
880	163.1	1326.4	1002.5
900	159.9	1283	1009.3

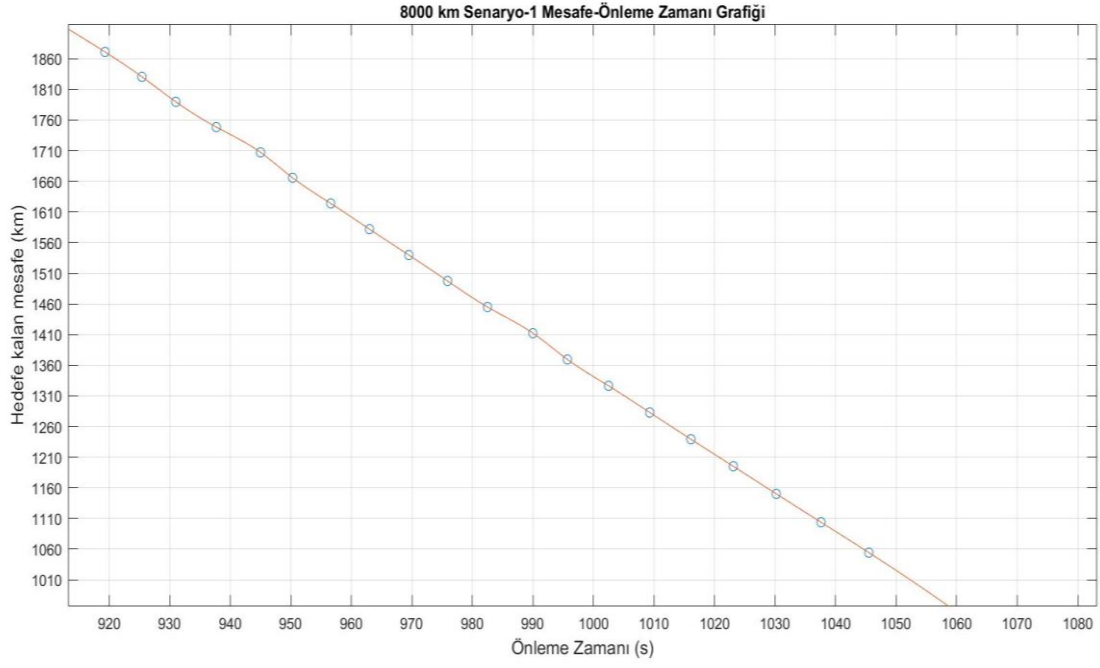
920	156.3	1239.4	1016.1
940	152.6	1195.2	1023.1
960	148.8	1150.2	1030.2
980	144.5	1103.9	1037.6
1000	140.2	1054.3	1045.5

Çizelge 4.7’de sunulan veriler ışığında angajman belirtilen süre aralıklarında gerçekleştirilebilir.

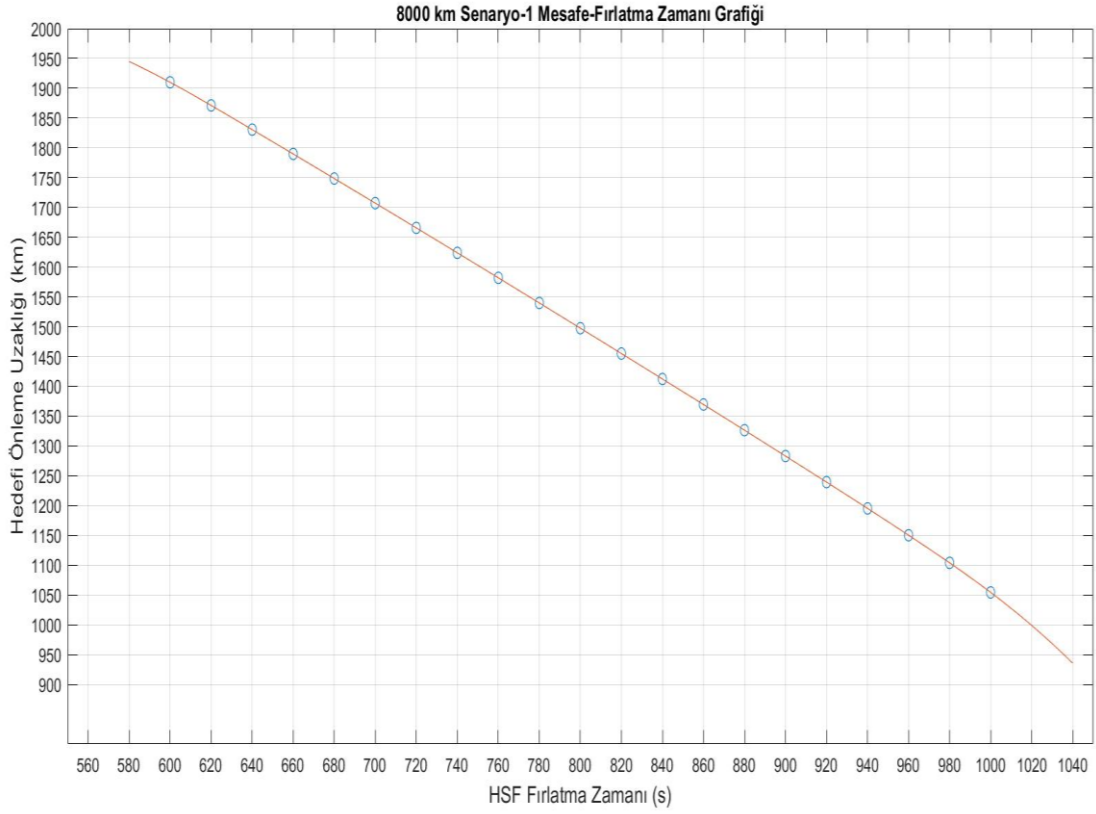
Bu bilgiler doğrultusunda, irtifa-zaman ve mesafe zaman grafikleri Şekil 4.48 ve 4.49’da sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.50 ve 4.51’de sunulmuştur.



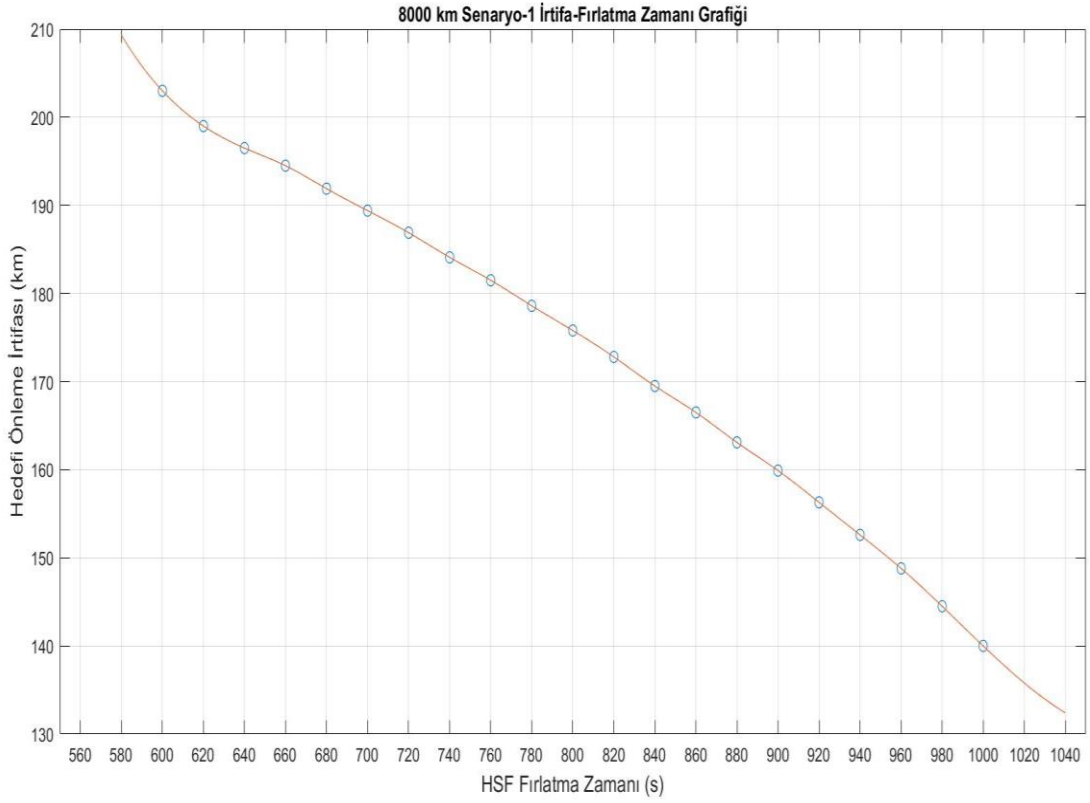
Şekil 4.48. 8000 km Senaryo-1 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.49. 8000 km Senaryo-1 Mesafe Zaman Grafiği

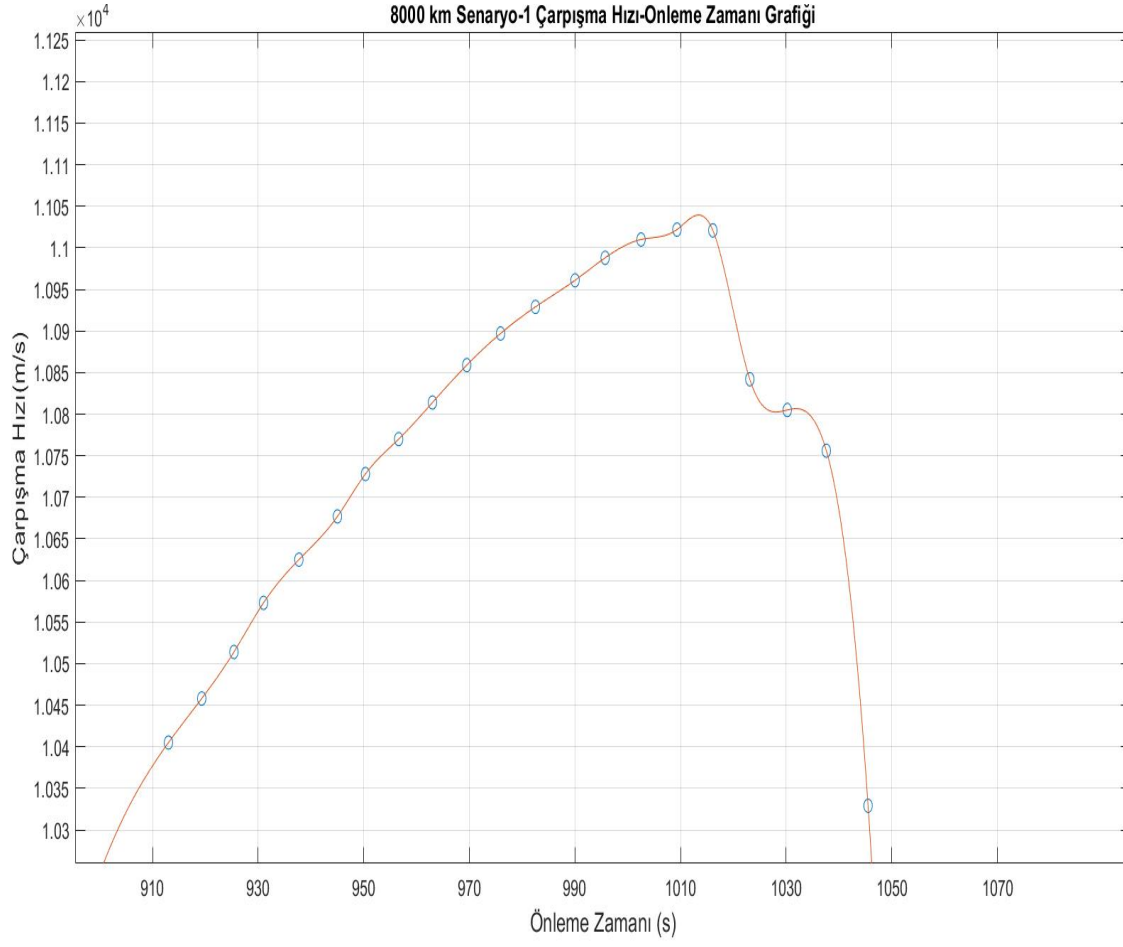


Şekil 4.50. 8000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Angajman Yeri Grafiği

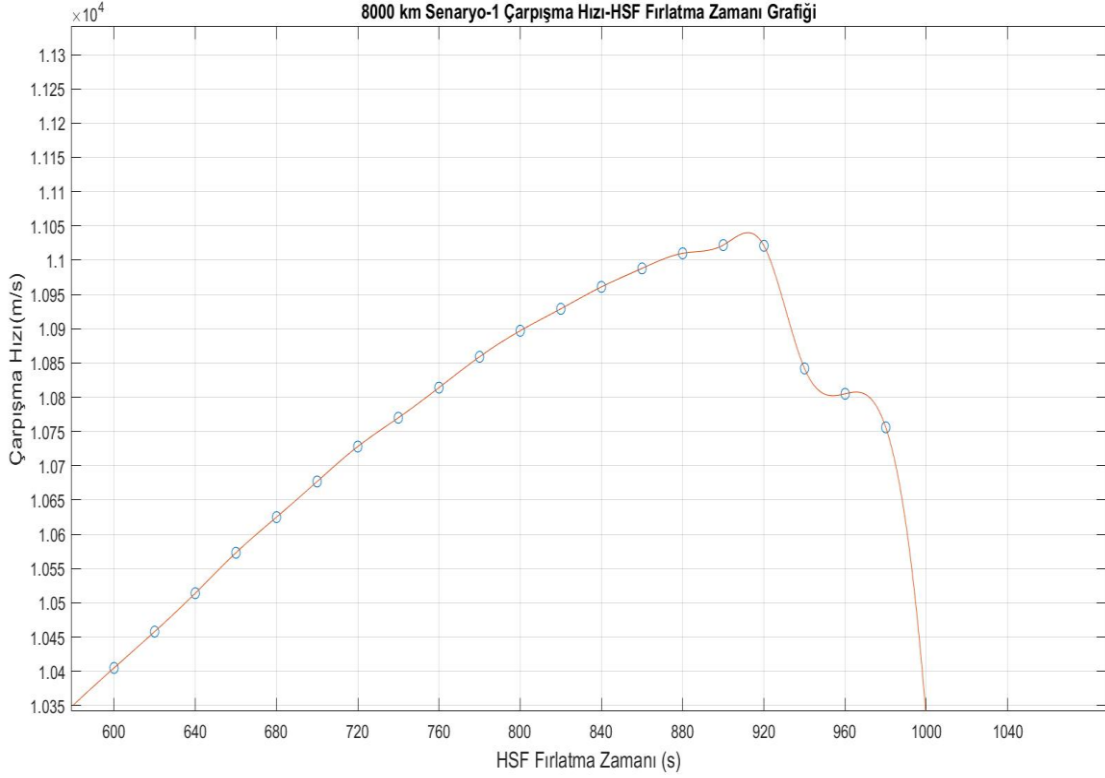


Şekil 4.51. 8000 km Senaryo-1 HSF Fırlatma Zamanı Önleme İrtifası Grafiği

8000 km menzilli balistik hedefin izlediği yörünge göz önünde bulundurulduğunda önleme irtifasında ve menziline meydana gelen düşüşlerin oldukça küçük olduğu gözlemlenmektedir. İncelemek gerekirse yaklaşık 20 sn aralıklarla ateşlenen anti balistik füzelerin önleme yaptığı irtifalar arasında 3-4 km yer almaktadır. Bu durum Anti balistik füze için süre ve izleme avantajı sağlamaktadır. 600'üncü saniyede ateşlenen anti balistik füze için uçuşun yaklaşık 313 saniye sürdüğu görülmektedir. Bu durumda, anti balistik füze balistik hedefi yok edemez ise 860'ıncı saniye kadar tekrar ateşleme yapma avantajına sahip olduğu gözlemlenmektedir.



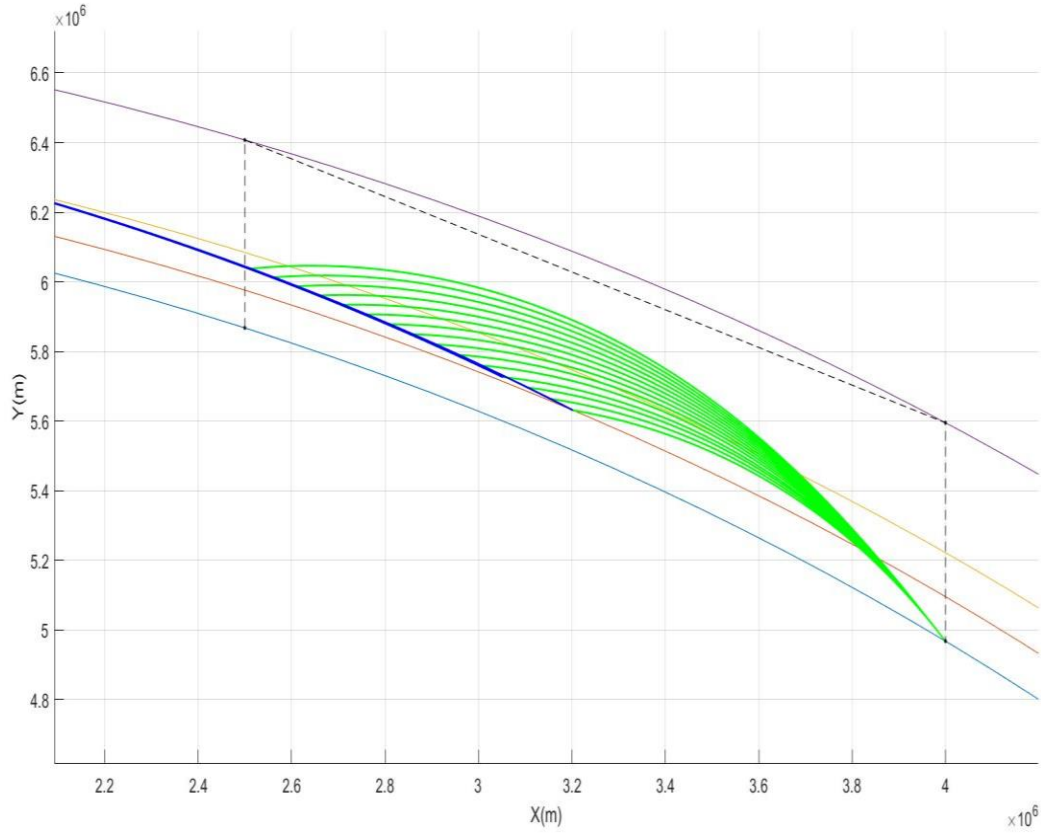
Şekil 4.52: 8000 km Senaryo-1 Çarpışma Hızı Önleme Zamanı Grafiği



Şekil 4.53: 8000 km Senaryo-1 Fırlatma Zamanı-Çarpışma Hızı Grafiği

4.2.4.2. 8000 km Senaryo-2: HSF'nin Hedef Olma Durumu

Bu senaryoda, koordinat düzleminde x yönünde -4000 km'de bulunan ve bileşke hızı 7466 m/s olan balistik bir hedefin 45 derece fırlatma açısı ile atılarak uçuşundan elde edilen veriler ile x yönünde 4000 km'de bulunan hızı 5190 m/s olan ve 60 derece fırlatma açısıyla atılan HSF'nin angajman benzetimi gerçekleştirilmiştir.. Benzetim çalışması gerçekleştirilirken senaryo balistik hedefin hareketinden belli süre sonra HSF'nin hareket edeceği şekilde kurgulanmıştır. HSF'nin kabiliyetleri açısından füze değişiminin uygun olacağı, daha geniş alanlarda ve yüksek irtifada önleme yapabilmek adına önem arz etmektedir. Baskılanmış yörüngede seyreden balistik hedefin 4000 km'deki hedefi için atmosfere erken girmesinden dolayı SM3 Blok-1 füzesi menzilde yeterli gelmemiş olup SM3 Blok-2 füzesinin özelliklerine benzer bir füze seçimi yapılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Seçilen HSF için 1500 km menzil (x yönünde) ve 500 km irtifa (y yönünde) sınır değer olarak kabul edilmiştir. İrtifa olarak herhangi bir sıkıntı bulunmadığı için sınır değerde değişim yapılmamıştır. Ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek belirli saniye aralıklarla 16 farklı durum ele alınmış ve angajmanın gerçekleştirilebileceği yer ve zaman hesaplanmıştır. Şekil 4.54'te sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 4.54. 8000 km Senaryo-2 Ardışık Benzetimler

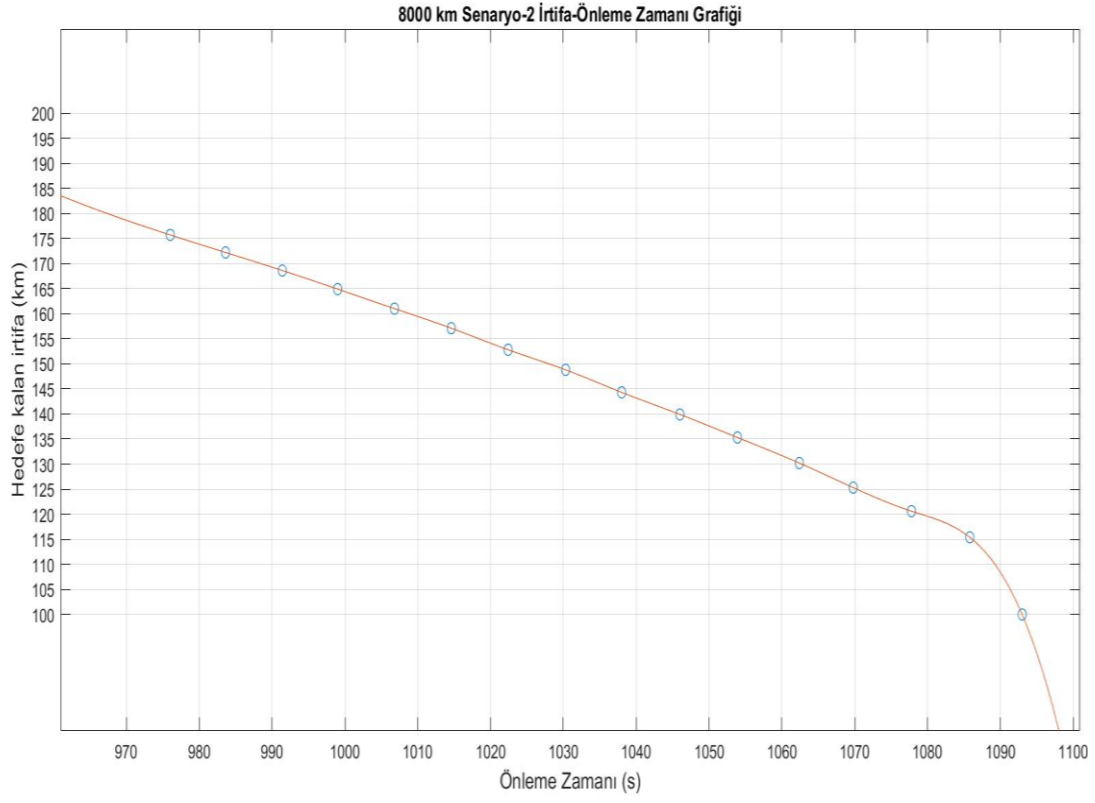
Sonuçlar incelendiğinde balistik hedefin fırlatılmasından 600 saniye sonra HSF'nin ilk fırlatmasının yapılabileceği, son fırlatma zamanının ise 900 saniye sonra olduğu gözlemlenmiştir. 600'üncü saniyede ateşlenen anti balistik füzenin yetenekleri dahilinde önleme yapabildiği, 900'üncü saniyede ateşlenen anti balistik füzenin ise atmosfer sınırında önleme yapabileceği gözlemlenmiştir. Bu durumda, başlangıçta tanımlanan atış kontrol problemi için bu senaryo oluşması durumunda HSF tarafından algılanan zaman, angajmanın gerçekleştiği irtifa, balistik hedefin HSF tarafından korunan noktaya olan uzaklığı ve angajmanın gerçekleştiği zaman bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.8. 8000 km Senaryo-2'ye İlişkin Veriler

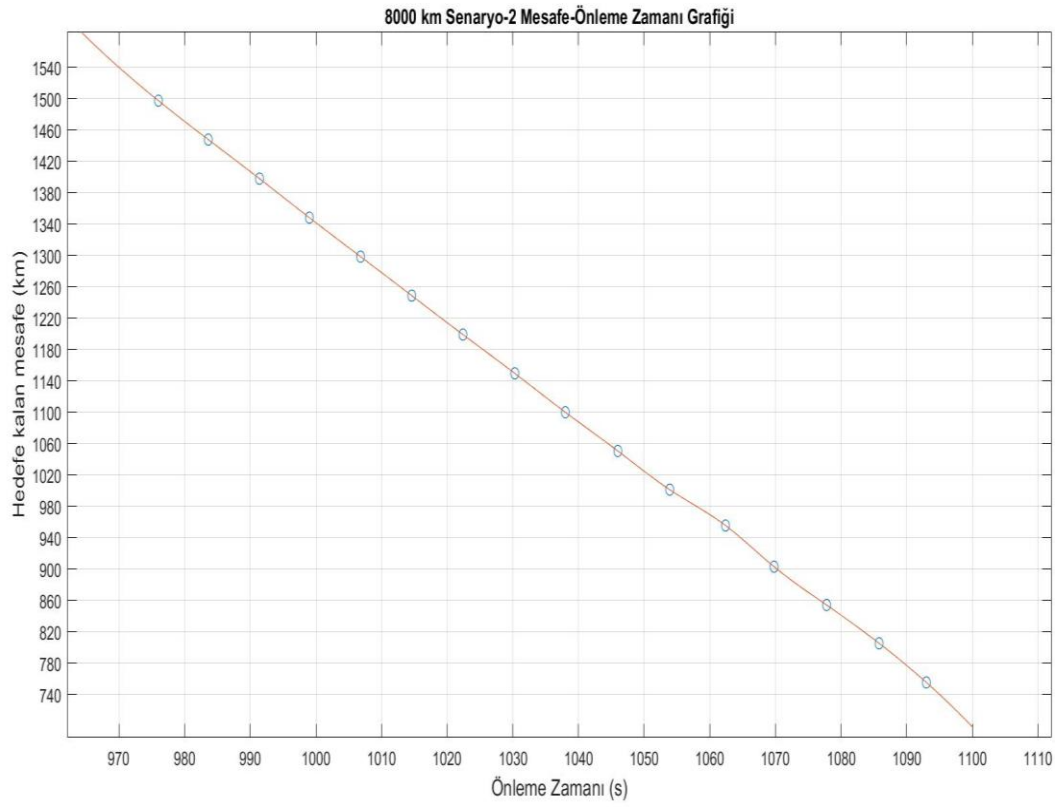
HSF Fırlatma Zamanı (tl) (sn)	İrtifa (h) (km)	Uzaklık (R) (km)	Angajman Zamanı (te)
600	175.7	1497.3	976
620	172.2	1447.7	983.3
640	168.6	1397.9	991.4
660	164.9	1348.2	999
680	161	1298.5	1006.8
700	157.1	1248.8	1014.6
720	152.8	1199.2	1022.4
740	148.8	1149.7	1030.3
760	144.3	1100.2	1038
780	139.9	1050.8	1046
800	135.3	1001.5	1053.9
820	126.2	955.8	1062.4
840	125	903.3	1069.8
860	120.6	854.5	1077.8
880	115.3	805.7	1085.8
900	99.9	755.8	1093

Çizelge 4.8'de yer alan verilerden yola çıkarak, Balistik füzenin Bölüm 4.2.2.4'de belirtilen yetenekler ve kısıtlar altında önlenmesi için $t_l=0$ 'a göre (fırlatma zamanı) 600'üncü saniyeden sonra ve 900'üncü saniyeden önce HSF'nin fırlatılması gerekmektedir.

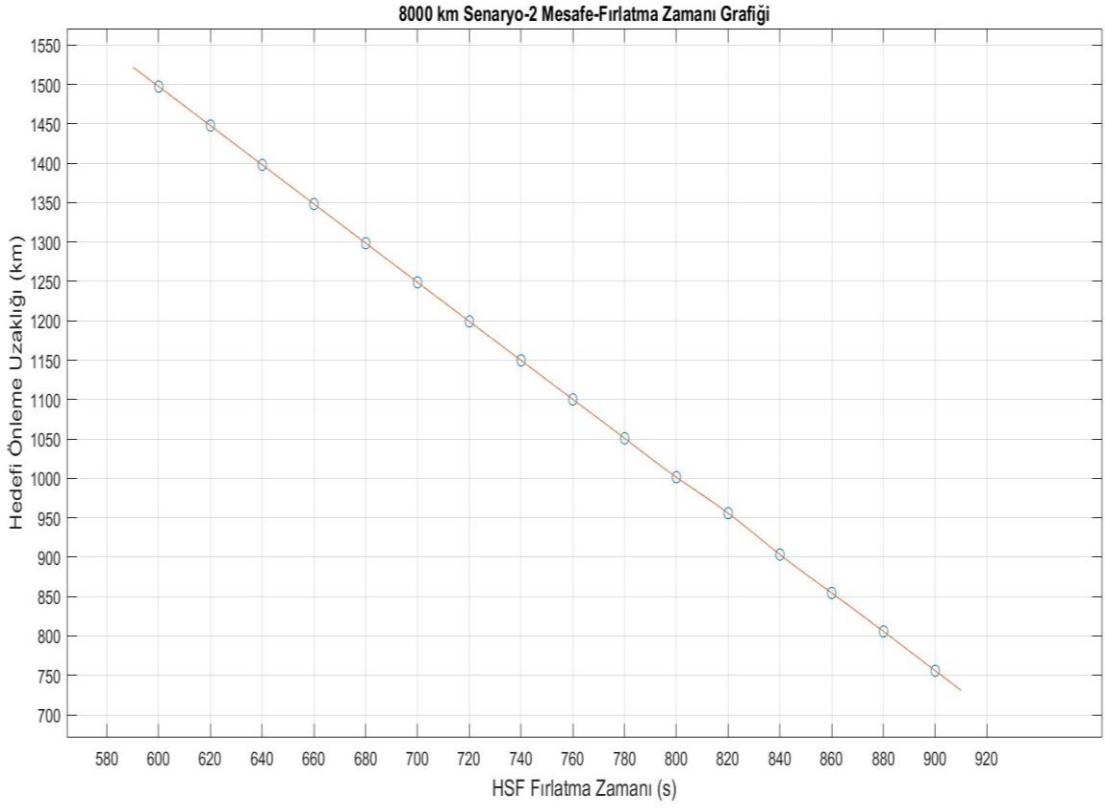
Bu doğrultuda interpolasyon uygulanarak sisteme ilişkin irtifa-zaman ve mesafe-zaman grafikleri Şekil 4.55 ve 4.56'da sunulmuştur. Ayrıca, HSF fırlatma zamanına (tl) göre angajman grafikleri 4.57 ve 4.58'de yer almaktadır.



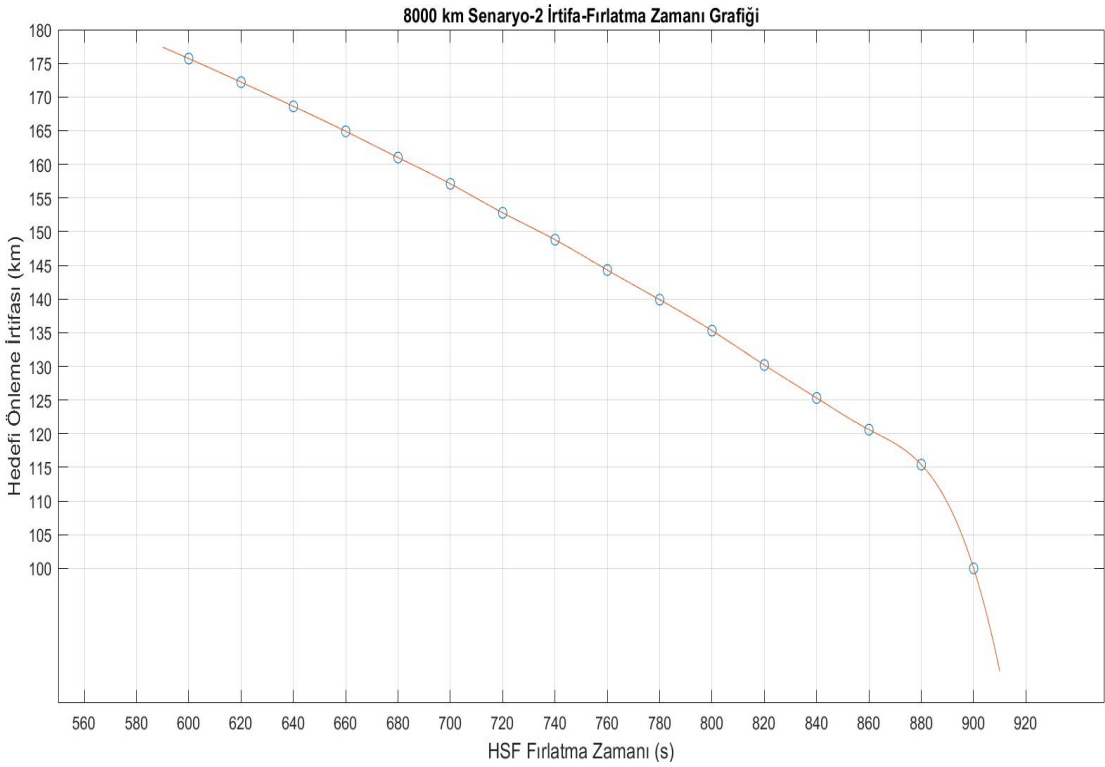
Şekil 4.55. 8000 km Senaryo-2 İrtifa Zaman Grafiği



Şekil 4.56 8000 km Senaryo-2 Mesafe Zaman Grafiği

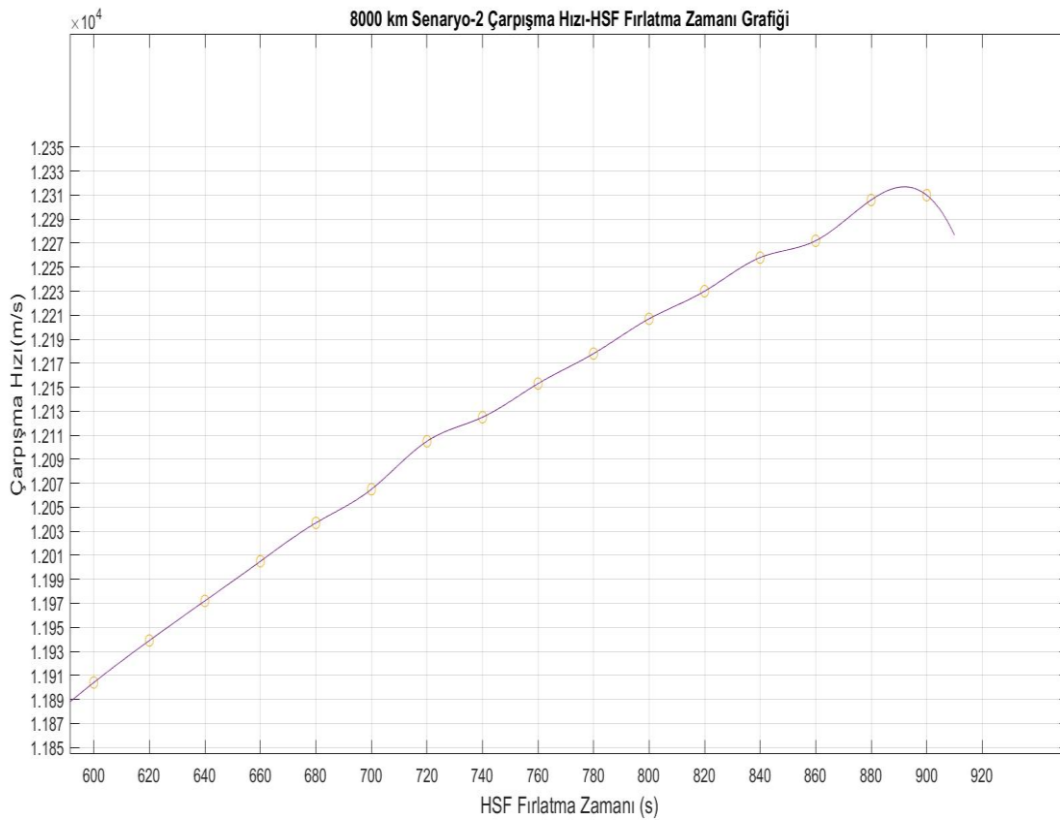


Şekil 4.57. 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı-Angajman Yeri Grafiği

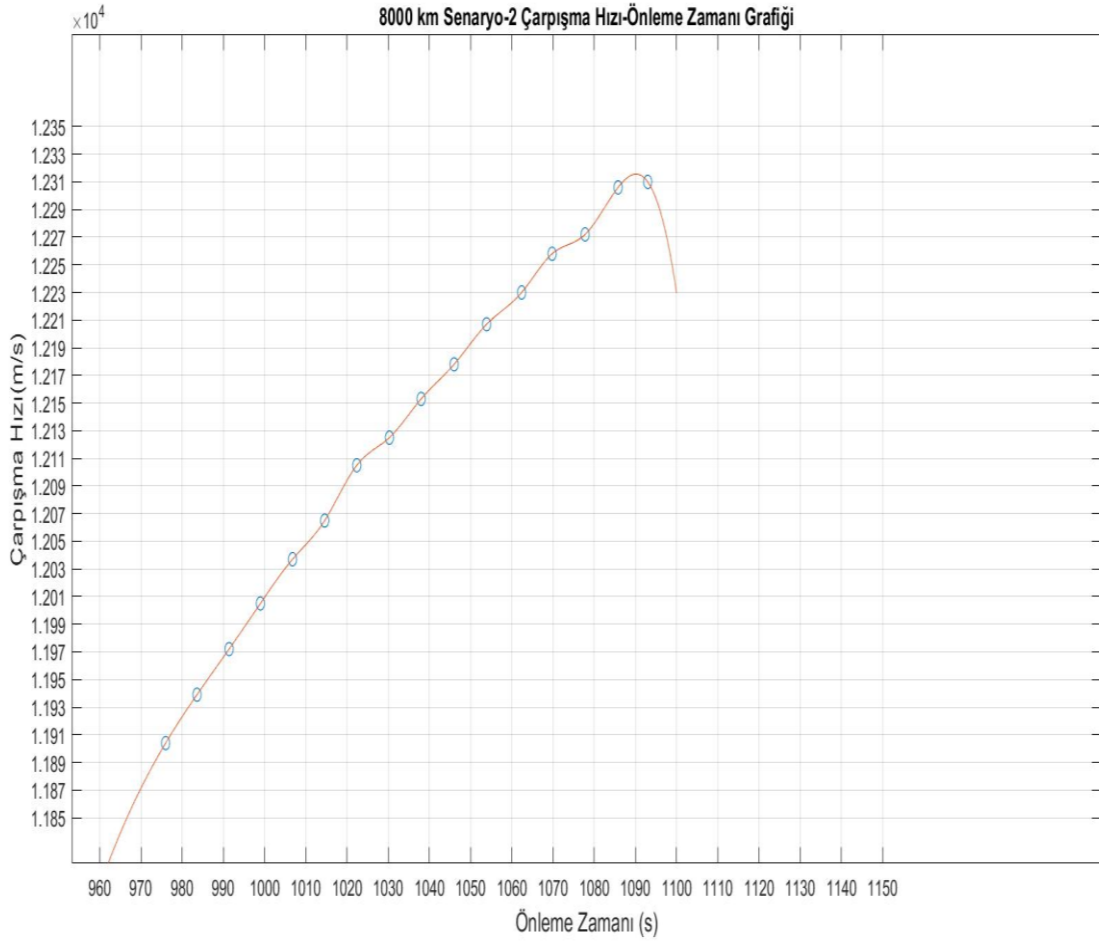


Şekil 4.58. 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı-Önleme İrtifası Grafiği

8000 km menzilli balistik füzenin anti balistik füzenin bulunduğu yeri hedefi alması durumunda oluşturulan bu senaryoda, önleme irtifa aralığı 175 km ile 100 km arasında değişmekte olup 1400 km'lere varan menziller söz konusudur. Böylelikle geniş bir alanda önleme yeteneğine ve savunma yeteneğine sahip olunmaktadır. Ancak, uçuş süresi hem balistik füze hem de anti balistik füze için uzun olduğu için 600'üncü saniyede ateşlenen HSF'nin 376 saniye 976'ncı saniyede önleme yaptığı verilerden anlaşılmaktadır. Bu süreler göz önünde bulundurulduğu öldürücülük değerlendirilmesi yapılarak ikinci atışın yapılmasının mümkün olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.59 8000 km Senaryo-2 HSF Fırlatma Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği



Şekil 4.60 8000 km Senaryo-2 Önleme Zamanı Çarpışma Hızı Grafiği

Çarpışma hızı zamanla arttığı gözlemlenmekte olup en yüksek hıza en son ateşlenebildiği ve yeniden giriş safhasında ulaşılabilir.

4 farklı kategoride atışı gerçekleştirilen Balistik Füzelere önlenmesi incelendiğinde, 500 km menzile sahip Balistik Füzelere, Hava Savunma Sistemine ait bataryanın konuşlandığı yerin (önde-ileride) öneminin bulunmadığı tespit edilmiştir. Her iki senaryoda da Anti-Balistik Füze kullanıcısı ilk füzeyi ateşledikten sonra öldürücülük analizini yapabilmektedir. 2000 km için oluşturulan senaryolar incelendiğinde her iki senaryo için de uçuş süresinin fazla olduğu ve bu sebeple öldürücülük değerlendirilmesi yapılamadığı tespit edilmiştir. Bu tip sistemler için tekli atış ya da öldürücülük değerlendirilmesi yapılmadan salvo atış öğretisinin kullanılması tavsiye edilmektedir. 4000 km senaryolarından Hava Savunma bataryasının önde olması, uçuş süresinin fazla olması değerlendirildiğinde ikinci atış için öldürücülük değerlendirmesinin yapılabileceği hatta bu değerlendirilmesinin yapılması için farklı zaman dilimlerine göre diğer senaryolar ile karşılaştırıldığında geniş bir zaman dilimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son

kategori olan 8000 km senaryoları için de bataryanın önde olması durumunda öldürücülük değerlendirmesinin yapılarak salvo atış yapılabileceği değerlendirilmiştir. Ancak her ne kadar batarya önde olsa dahi uzun menzilde gerçekleştirilen uçuşlardan dolayı ilgili zaman diliminin kısa olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu tezde, 2'nci bölümde matematiksel hesaplaması aktarılan balistik yörünge hesabı kullanılarak MATLAB-Simulink'te benzetimi gerçekleştirilmiş ve Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi için hedef olarak kullanılmıştır. 4 farklı kategoride, kısa, orta, ara ve uzun menzilli balistik füzeler seçilerek yörünge'nin dünya yüzeyinden atmosfer sınırı olarak kabul edilen 100 km'nin üzerine çıkması hedeflenmiştir. Benzetim çalışmasında, balistik yörünge hesabına göre hız değerleri belirlenmiştir.

Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi hız ve menzil sınırları Bölüm 3'te anlatılan atmosfer dışı önleme yapabilen, THAAD, SM3 Blok-1 ve Blok-2 Füzesine benzer şekilde seçilmiş ve benzetimlerde ilk değer olarak bu sistemlerin hız değerleri kullanılmıştır. Atış kontrol problemi olarak tanımlanan zaman öğretisinin çıkarımına yönelik sistem sınırları içerisinde ardışık simülasyonlar gerçekleştirilerek Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi için en erken ve en geç önleme konum ve zaman bilgileri elde edilmiştir. Yüksek İrtifa Hava Savunma Füzesi için yaygın olarak kullanılan Yalın Oransal Seyrüsefer Güdüm yöntemi seçilerek benzetimde matematiksel modeli kullanılmıştır. Kullanılan modelde, navigasyon kazancı olarak tanımlanan N sabiti 3 ($N=3$) olarak alınmıştır. Gerçekleştirilen tüm senaryoların kaçırma mesafesinin 0.1 m'den küçük olduğu durumlarda değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca, güdüm bölümünde üretilen ivme değerleri kontrol edilerek füze dinamikleri açısından uygunluğu ele alınmıştır.

Ardışık benzetimler gerçekleştirilerek elde edilen verilerle MATLAB programı kullanılarak kübik interpolasyon gerçekleştirilmiştir. Böylece, belirli süre aralıklarla alınan örneklemeler çok daha kısa aralıklarla gözlemlenebilir bir hâl almıştır.

Benzetim sonuçlarından faydalanarak Ateş İdare yazılımına veri sağlamak üzere Hava Savunma Füzesinin fırlatma zamanına bağlı olarak önleme irtifası ve önleme menzili tespit edilmiştir. Böylelikle Anti – Balistik Füzenin fırlatılmasından sonra geçen süreye göre önlemenin gerçekleşeceği irtifa ve uzaklık bilgileri elde edilmiş olur.

Atış İdare yazılımından elde edilen bu veriler kullanılarak Anti-Balistik Füzenin irtifa ve menzil olarak önleme yapabilme yeteneğine göre ateş idare öğretisine girdi

sağlayabilecek yöntemler önerilmiştir. Bu doğrultuda, zamana bağlı grafikler incelenerek salvo atışı planlamasının yapılıp yapılamayacağına ilişkin tespitler çıkartılmıştır.

Sonuç olarak, benzer sistemlere sahip olan Hava Savunma Füze Kullanıcısı; önceden hazırlanmış olan irtifa zaman ve mesafe zaman çizelgesi ile önleme zamanı ile önleme menzili tahminini gerçekleştirebilecektir. Böylelikle 3'üncü Bölümde aktarılan öğretilerden, füze sayısı ve salvo süresi önceden tahmin edilebilecek ve planlamalar bu doğrultuda gerçekleştirilecektir.

Bu tez çalışmasına gelecek dönemde, atmosfer modeli ve arayıcı başlık modeli eklenerek daha gerçekçi veriler elde edilebilir. Ayrıca, tespit işleminde kullanılan radar hatalarının eklenmesiyle çalışmadan daha kesin bir çıktı elde edilebilir.

Son olarak; bu tezde gerçekleştirilen çalışmalar Alçak Dünya Yörüngesinde seyreden istihbarat ya da haberleşme uyduları için de uygulanabilir. Böylece tüm hava sahasının; etkili bir şekilde, önceden planlanmış ve zaman çizelgesine yerleştirilen, yanılıgı payının oldukça az olduğu bir öğreti ile koruma yeteneği sunacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] B.İşıktan, Balistik Füze Güdümü, Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2001**.
- [2] M. Asad, S. Khan, Ihsanullah, Z. Mehmood, Y. Shi, S.A.Memon, U.Khan, A Split Target Detection And Tracking Algorithm For Ballistic Missile Tracking During The Re-Entry Phase, Elsevier, **2019**.
- [3] P. Zarchan, Tactical And Strategic Missile Guidance Sixth Edition, **2012**.
- [4] STM Thinktech, Hava ve Füze Savunma Sistemleri, Trend Analizi, Şubat 2020.
- [5] W. J. Boord, J.B. Hoffman Air, and Missile Defense Systems Engineering, CRC Press, **2016**.
- [6] G. M. Siouris, Missile Guidance And Control Systems, 2003.
- [7] Dr. Y.Özkazanç, Notes on Guidance And Control, Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Ders Notları,2006.
- [8] Ballistic Missile, <https://www.britannica.com/technology/ballistic-missile> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- [9] V2, <https://tr.wikipedia.org/wiki/V-2> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- [10] Erk Inger, Roket ve Füze Mühendisliği, Palme Yayıncılık, 2017
- [11] P.Surmacz, G. Rarata, Hybrid Rocket Propulsion Development and Application, Institute of Aviation, Al. Krakowska, Poland, **2009**.
- [12] S. Vuran, Oransal Seyir Güdümünün Hava Savaşında Güdümlü Füzedeki Kaçış Yöntemi Olarak İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- [13] C. Ada, Havadan Karaya Atılan Bir Tank-Savar Füzesi İçin Otopilot Tasarımları, Karşılaştırılması ve Terminal Güdüm Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **2011**.
- [14] Z. Bilinç Tatas, Scud Tipi Balistik Bir Füzenin Modellenmesi ve Otopilot Tasarımı, Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2006**.
- [15] Intercontinental Ballistic Missiles, <https://nuke.fas.org/intro/missile/icbm.htm> (Erişim Tarihi: 23.04.2022).

[16] M. Gökdoğan, 5'inci Nesil Füze Teknolojileri, STM Teknolojik Düşünce Merkezi Trend Analizi, Eylül, Ankara, **2018**.

[17] Worldwide Ballistic Missile Inventories, <https://www.armscontrol.org/factsheets/missiles> (Erişim Tarihi: 30.04.2022).

[18] Missiles & Other WMD Delivery Systems Ballistic Missiles, <https://tutorials.nti.org/delivery-system/introduction/> (Erişim Tarihi: 30.04.2022)

[19] E. Milli, Taktik Füzelere Kullanılan Sonlanma Güzümü Yöntemlerinin 3b Formülasyonları ve Analizi, Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.

[20] Y.Li, T.Kirubarajan&Y. Bar-Shalom, M. Yeddanapudi, Trajectory and Launch Point Estimation for Ballistic Missile from Boost Phase LOS Measurements, IEEE Xplore, 1999.

[21] Satellite Orbit Types & Definitions, <https://www.electronics-notes.com/articles/satellites/basic-concepts/satellite-orbits-types-definitions.php> (Erişim Tarihi: 26.04.2022).

[22] I. Hamtil, M. Kratky, Anti Ballistic Missile System Selected Technical Principles of Function, Advances in Military Technology Vol.4 No.2, 2009.

[23] A. Young, Ballistic Missile Defense: Capabilities and Constraints, The Fletcher Forum, Vol. 8, No. 1 (WINTER 1984), pp. 147-175

[24] F. Bardanis Kill Vehicle Effectiveness For Boost Phase Interception Of Ballistic Missiles, Naval Postgraduate School Thesis, California, **2004**.

[25] The layers of modern missile defense, <https://www.defenceconnect.com.au/key-enablers/3925-the-layers-of-modern-missile-defence>, (Erişim Tarihi: 04.05.2022)

[26] Hava Savunma Radarları, <https://www.radartutorial.eu/02.basics/Hava%20Savunma%20Radarları.tr.html> (Erişim Tarihi: 05.05.2022)

[27] Missile Defense Systems by Country https://en.wikipedia.org/wiki/Missile_defense_systems_by_country (Erişim Tarihi: 05.05.2022)

[28] M. Elleman, M.J.Zagurek THAAD: What It Can and Can't Do, 2016

- [29] H. Yingbo, Q. Yong THAAD-Like High ALtitude Theater Missile Defense: Strategic Defense Capability and Countermeasures Analysis
- [30] SM3 Variants, <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/standard-missile-3-sm-3/> (Erişim Tarihi:06.05.2022).
- [31] National Academic Press, Making Sense of Ballistic Missile Defence, Ch3.
- [32] D. Nguyen, B. Cho, C. Seo J. Park, D. Lee Analysis of the Optimal Frequency Band for a Ballistic Missile Defense Radar System: Journal Of Electromagnetic Engineering And Science, Vol. 18, No 4, 2018.
- [33] S. Erdoğan, Orta Menzil Hava Savunma Füzesi Modellemesi Ve Doğrusal Parametrik Değişken GÜdüm Ve Kontrolü, Y. Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2021.
- [34] M. R. Becan, GÜdümlü Füzelerde Bulanık Kontrol, Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.