

**TAKTİK FÜZELERDE KULLANILAN  
SONLANMA GÜDÜMÜ YÖNTEMLERİNİN 3B  
FORMÜLASYONLARI VE ANALİZİ**

**3D FORMULATIONS AND ANALYSIS  
OF TERMINAL GUIDANCE METHODS  
USED IN TACTICAL MISSILES**

**ERKAN MİLLİ**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2012

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....

Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU

Üye (Danışman) :.....

Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

Üye :.....

Doç. Dr. Atila YILMAZ

Üye :.....

Yrd. Doç. Dr. Semih BİNGÖL

Üye :.....

Yrd. Doç. Dr. Harun ARTUNER

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ...../...../2012 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca ...../...../2012 tarihinde kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# TAKTİK FÜZELERDE KULLANILAN SONLANMA GÜDÜMÜ YÖNTEMLERİNİN 3B FORMÜLASYONLARI VE ANALİZİ

**Erkan MİLLİ**

## **ÖZ**

Bu tezde taktik füzelerin sonlanma aşamasında kullanılan güdüm yöntemlerinin, üç-boyutlu angajman geometrisi içinde, formülasyonları geliştirilmiştir. Sırası ile; oransal seyir güdümü, takip güdümü, komuta hattı güdümü ve ışın izleme güdümü yöntemlerinin dinamik denklemleri oluşturulmuştur. Komuta hattı ve ışın izleme güdümü için gerçek uygulamalara yönelik bazı modifikasyonlar önerilmiştir.

Geliştirilen yöntemlerin güdüm performansına olan etkisi bilgisayar benzetimleri ve katımlı analiz yaklaşımları ile etüt edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taktik Füze Güdümü, Üç Boyutlu Taktik Füze Güdümü, Oransal Seyir Güdümü, Takip Güdümü, Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü, Işın İzleme Güdümü, Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü, Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü, Doğrusal Sistem Analizi, Katımlı Sistem Analizi

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

# **3D FORMULATIONS AND ANALYSIS OF TERMINAL GUIDANCE METHODS USED IN TACTICAL MISSILES**

**Erkan MILLİ**

## **ABSTRACT**

This thesis aims to develop dynamical formulations of terminal guidance of tactical missiles in 3-dimensional engagement setting. The guidance methods studied in this thesis are; proportional navigation, pursuit guidance, CLOS and beam riding guidance. Some modifications facilitating improved performance in realistic situations are proposed for CLOS and beam riding guidance.

Performance of the proposed guidance methods are studied via computer simulations as well as by using adjoint analysis.

**Keywords:** Tactical Missile Guidance, 3-D Tactical Missile Guidance, Proportional Navigation Guidance, Pursuit Guidance, Command to Line of Sight Guidance, Beam Riding Guidance, Modified Command to Line of Sight Guidance, Modified Beam Riding Guidance, Linear System Analysis, Adjoint System Analysis

**Advisor:** Asst. Prof. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

## TEŐEKKÖRLER

Çalıőmalarımı yönlendiren, araőtırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamdaki beőeri iliőkileriyle ve engin fikirleriyle geliőmeme katkıda bulunan, değerli tez danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması esnasında, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Mustafa İNCİ, Yunus ATAŐ ve Hüseyin Avni VURAL' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalıőmalarıma vermiş olduğu destekten ötürü ROKETSAN A.Ő' ye ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her anımda maddi manevi desteğini yanımda hissettiğim baőta annem olmak üzere tüm aileme őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxvii
SÖZLÜKÇE.....	xxviii
1. GİRİŞ .....	1
2. TAKTİK FÜZE GÜDÜMÜNÜN TEMELLERİ.....	3
2.1. Güdüm ve Kontrol .....	3
2.2. Gdümlü Füzeler .....	4
2.3. Füze Güdüm Evreleri .....	5
2.4. Sonlanma Güdümü .....	6
2.4.1. Komuta Güdümü.....	7
2.4.2. Evleme Güdümü .....	7
2.4.2.1. Aktif Evleme Güdümü .....	8
2.4.2.2. Yarı-Aktif Evleme Güdümü.....	8
2.4.2.3. Pasif Evleme Güdümü .....	9
2.5. Sonlanma Güdümü Yöntemleri .....	9
2.5.1. İki Boyutta Genel Tanımlar .....	9
2.5.2. Kontrol Yöntemi .....	13
2.5.2.1. Yalın Kontrol Uygulaması.....	13
2.5.2.2. Gerçek Kontrol Uygulaması .....	14

2.5.3.	Sapma Mesafesi .....	15
2.5.4.	Oransal Seyir Güdümü .....	16
2.5.5.	Takip Güdümü .....	19
2.5.6.	Görüş Hattı Güdümü.....	21
2.5.7.	Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü .....	23
2.5.8.	Işın İzleme Güdümü.....	24
2.5.9.	Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü .....	25
2.5.10.	Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü .....	27
2.5.11.	Gerçekçi Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü .....	28
3.	SONLANMA GÜDÜMÜNÜN Ç BOYUTLU FORMÜLASYONLARI.....	29
3.1.	Ç Boyutlu Füze-Hedef Angajmanı .....	29
3.2.	Ç Boyutlu Güdüm Formülasyonu için Genel Tanımlar.....	32
3.2.1.	Kontrol Yöntemi .....	36
3.3.	Güdüm Yöntemlerinin Ç Boyutlu Formülasyonu.....	37
3.3.1.	3B Oransal Seyir Güdümü.....	37
3.3.2.	3B Takip Güdümü.....	41
3.3.3.	3B Görüş Hattı Güdümü .....	44
3.3.3.1.	3B Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü .....	46
3.3.3.2.	3B Işın İzleme Güdümü.....	49
3.3.4.	3B Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü.....	51
3.3.5.	3B Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü .....	52
4.	DOĞRUSAL-OLMAYAN BENZETİM ANALİZLERİ .....	54
4.1.	Ç Boyutlu Benzetim alışmaları .....	54
4.1.1.	Benzetim alışmalarında Kullanılan Modellemeler.....	54
4.1.2.	Hareketsiz Hedef Senaryosu .....	58
4.1.2.1.	Hareketsiz Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	59

4.1.2.2. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları...	63
4.1.2.3. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	67
4.1.2.4. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	71
4.1.2.5. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	75
4.1.2.6. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	79
4.1.2.7. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar .....	83
4.1.3. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu.....	84
4.1.3.1. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	85
4.1.3.2. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	89
4.1.3.3. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	93
4.1.3.4. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	97
4.1.3.5. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	101
4.1.3.6. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	105
4.1.3.7. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar.....	109
4.1.4. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu.....	110
4.1.4.1. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	111
4.1.4.2. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	115



4.1.4.3.	Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	119
4.1.4.4.	Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	123
4.1.4.5.	Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	127
4.1.4.6.	Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	131
4.1.4.7.	Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar .....	135
4.1.5.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu.....	136
4.1.5.1.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	138
4.1.5.2.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	142
4.1.5.3.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	147
4.1.5.4.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	151
4.1.5.5.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	156
4.1.5.6.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları .....	160
4.1.5.7.	Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar.....	165
5.	KATIMLI SİSTEM ANALİZİ .....	167
5.1.	Katımlı Model ile Belirlenimci Analiz.....	174
5.2.	Katımlı Model ile Rassal Bozucu Etkenlerin Analizi .....	177
5.3.	Katımlı Sistem Analizi Benzetim Çalışmaları.....	179
5.3.1.	Hareketsiz Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz .....	181

5.3.2. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz .....	182
5.3.3. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz .....	184
5.3.4. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Elde Edilen Benzetim Sonuçları .....	185
6. SONUÇLAR .....	189
KAYNAKLAR.....	191
ÖZGEÇMİŞ .....	193

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Genel füze güdüm-kontrol yapısı .....	3
Şekil 2.2 Güdümlü füze bileşenleri .....	4
Şekil 2.3 Füze güdüm evreleri .....	6
Şekil 2.4 Evleme güdümü yöntemleri .....	8
Şekil 2.5 İki boyutlu füze-hedef angajman modeli .....	10
Şekil 2.6 İki boyutlu angajman modeli sistem girdileri .....	13
Şekil 2.7 Yalın kontrol uygulaması .....	14
Şekil 2.8 Gerçek kontrol uygulaması .....	15
Şekil 2.9 Takip güdümü geometrisi .....	19
Şekil 2.10 Görüş hattı güdümü geometrisi .....	22
Şekil 3.1 Üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	29
Şekil 3.2 Harici kaynakla aydınlatılan hedef için füze-hedef üç boyutlu angajmanı .....	30
Şekil 3.3 $S_{xy}$ Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı.....	30
Şekil 3.4 $S_{xz}$ Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı.....	31
Şekil 3.5 $S_{yz}$ Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı.....	31
Şekil 3.6 Üç Boyutlu Angajman Modeli.....	36
Şekil 3.7 Takip güdümü için $S_{xy}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	41
Şekil 3.8 Takip güdümü için $S_{xz}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	41
Şekil 3.9 Takip güdümü için $S_{yz}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	42

Şekil 3.10 Görüş hattı güdümü için $S_{xy}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	45
Şekil 3.11 Görüş hattı güdümü için $S_{xz}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	45
Şekil 3.12 Görüş hattı güdümü için $S_{yz}$ düzlemindeki füze-hedef angajmanı .....	46
Şekil 4.1 Arayıcı ve aerodinamik yapı + servo modeli için kullanılan model.....	55
Şekil 4.2 Her bir ivme kanalında kullanılan sınırlayıcı .....	56
Şekil 4.3 PN için modellemeler.....	56
Şekil 4.4 PG için modellemeler.....	56
Şekil 4.5 CLOS, BR, MCLOS ve MBR için modellemeler.....	57
Şekil 4.6 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	59
Şekil 4.7 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	60
Şekil 4.8 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	60
Şekil 4.9 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yöntemi yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	61
Şekil 4.10 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	61
Şekil 4.11 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	62
Şekil 4.12 Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	62
Şekil 4.13 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	63

Şekil 4.14 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	64
Şekil 4.15 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	64
Şekil 4.16 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	65
Şekil 4.17 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	65
Şekil 4.18 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	66
Şekil 4.19 Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	66
Şekil 4.20 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	67
Şekil 4.21 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	68
Şekil 4.22 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	68
Şekil 4.23 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.24 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.25 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	70
Şekil 4.26 Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	70

Şekil 4.27 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	71
Şekil 4.28 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.29 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.30 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	73
Şekil 4.31 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	73
Şekil 4.32 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	74
Şekil 4.33 Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	74
Şekil 4.34 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi.....	75
Şekil 4.35 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	76
Şekil 4.36 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	76
Şekil 4.37 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	77
Şekil 4.38 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	77

Şekil 4.39 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	78
Şekil 4.40 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	78
Şekil 4.41 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	79
Şekil 4.42 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.43 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.44 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	81
Şekil 4.45 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	81
Şekil 4.46 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	82
Şekil 4.47 Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	82
Şekil 4.48 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	85
Şekil 4.49 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	86
Şekil 4.50 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	86
Şekil 4.51 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	87

Şekil 4.52 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	87
Şekil 4.53 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	88
Şekil 4.54 Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	88
Şekil 4.55 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	89
Şekil 4.56 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	90
Şekil 4.57 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	90
Şekil 4.58 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	91
Şekil 4.59 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	91
Şekil 4.60 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	92
Şekil 4.61 Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	92
Şekil 4.62 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	93
Şekil 4.63 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	94
Şekil 4.64 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	94



Şekil 4.65 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	95
Şekil 4.66 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	95
Şekil 4.67 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	96
Şekil 4.68 Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	96
Şekil 4.69 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	97
Şekil 4.70 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	98
Şekil 4.71 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	98
Şekil 4.72 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	99
Şekil 4.73 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	99
Şekil 4.74 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	100
Şekil 4.75 Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	100
Şekil 4.76 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi.....	101
Şekil 4.77 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	102

Şekil 4.78 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	102
Şekil 4.79 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	103
Şekil 4.80 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	103
Şekil 4.81 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	104
Şekil 4.82 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	104
Şekil 4.83 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	105
Şekil 4.84 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	106
Şekil 4.85 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	106
Şekil 4.86 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	107
Şekil 4.87 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	107
Şekil 4.88 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	108
Şekil 4.89 Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	108

Şekil 4.90 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	111
Şekil 4.91 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	112
Şekil 4.92 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	112
Şekil 4.93 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	113
Şekil 4.94 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	113
Şekil 4.95 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	114
Şekil 4.96 Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	114
Şekil 4.97 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	115
Şekil 4.98 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	116
Şekil 4.99 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	116
Şekil 4.100 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	117
Şekil 4.101 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	117
Şekil 4.102 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	118

Şekil 4.103 Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	118
Şekil 4.104 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	119
Şekil 4.105 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	120
Şekil 4.106 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	120
Şekil 4.107 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	121
Şekil 4.108 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	121
Şekil 4.109 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	122
Şekil 4.110 Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	122
Şekil 4.111 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	123
Şekil 4.112 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	124
Şekil 4.113 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	124
Şekil 4.114 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	125
Şekil 4.115 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	125

Şekil 4.116 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	126
Şekil 4.117 Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	126
Şekil 4.118 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi.....	127
Şekil 4.119 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	128
Şekil 4.120 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	128
Şekil 4.121 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	129
Şekil 4.122 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	129
Şekil 4.123 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	130
Şekil 4.124 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	130
Şekil 4.125 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	131
Şekil 4.126 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	132
Şekil 4.127 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	132

Şekil 4.128 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	133
Şekil 4.129 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	133
Şekil 4.130 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	134
Şekil 4.131 Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	134
Şekil 4.132 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef (uçak).....	136
Şekil 4.133 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	138
Şekil 4.134 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	139
Şekil 4.135 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	139
Şekil 4.136 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	140
Şekil 4.137 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	140
Şekil 4.138 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	141
Şekil 4.139 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	141
Şekil 4.140 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	142

Şekil 4.141 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	143
Şekil 4.142 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	143
Şekil 4.143 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	144
Şekil 4.144 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	144
Şekil 4.145 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	145
Şekil 4.146 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	145
Şekil 4.147 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü.....	146
Şekil 4.148 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	146
Şekil 4.149 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi..	147
Şekil 4.150 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	148
Şekil 4.151 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	148
Şekil 4.152 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi.....	149

Şekil 4.153 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi ....	149
Şekil 4.154 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	150
Şekil 4.155 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	150
Şekil 4.156 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	151
Şekil 4.157 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	152
Şekil 4.158 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	152
Şekil 4.159 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	153
Şekil 4.160 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	153
Şekil 4.161 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	154
Şekil 4.162 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	154
Şekil 4.163 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	155
Şekil 4.164 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	155



Şekil 4.165 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi .....	156
Şekil 4.166 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	157
Şekil 4.167 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	157
Şekil 4.168 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	158
Şekil 4.169 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi .....	158
Şekil 4.170 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı.....	159
Şekil 4.171 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	159
Şekil 4.172 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	160
Şekil 4.173 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi.....	161
Şekil 4.174 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	161

Şekil 4.175 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	162
Şekil 4.176 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi .....	162
Şekil 4.177 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi.....	163
Şekil 4.178 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı .....	163
Şekil 4.179 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü .....	164
Şekil 4.180 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü .....	164
Şekil 5.1 Doğrusal sistem blok çizeneği .....	171
Şekil 5.2 Katımlı sistem blok çizeneği .....	172
Şekil 5.3 Belirlenimci sinyaller ve LTVS .....	175
Şekil 5.4 Dürtü sinyallerinin bozan etken süzgeçlerinden geçirilerek LTVS' ye verilmesi .....	175
Şekil 5.5 Katımlı sistem girişine dürtü verilmesi ile sistem çıkışında elde edilen sinyallerin bozan etken süzgeçlerinden geçirilmesi .....	176
Şekil 5.6 Rassal giriş sinyallerinin LTVS' e giriş olarak verilmesi .....	177
Şekil 5.7 Katımlı sistem girişine dürtü verilmesi ile sistem çıkışında elde edilen sinyallerin önce kare alıcı ve sonrasında da toplayıcıdan geçirilmesi.....	178
Şekil 5.8 Belirlenimci model için katımlı sistem çıkışı .....	180

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1 Hareketsiz hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri.....	83
Çizelge 4.2 Hareketsiz hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri .....	83
Çizelge 4.3 Sabit hızlı hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri .....	109
Çizelge 4.4 Sabit hızlı hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri .....	109
Çizelge 4.5 Sabit ivmeli hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri .....	135
Çizelge 4.6 Sabit ivmeli hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri .....	135
Çizelge 4.7 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri .....	165
Çizelge 4.8 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri .....	165
Çizelge 5.1 Hareketsiz hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri.....	181
Çizelge 5.2 Hareketsiz hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri.....	181
Çizelge 5.3 Hareketsiz hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, ortalama sapma mesafesi .....	182
Çizelge 5.4 Sabit hızlı hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri.....	182
Çizelge 5.5 Sabit hızlı hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri.....	183

Çizelge 5.6 Sabit hızlı hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri .....	183
Çizelge 5.7 Sabit ivmeli hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri.....	184
Çizelge 5.8 Sabit ivmeli hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri.....	184
Çizelge 5.9 Sabit ivmeli hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri .....	184
Çizelge 5.10 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri .....	185
Çizelge 5.11 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri.....	185
Çizelge 5.12 Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri.....	186

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

BR	: Beam Riding
CLOS	: Command to Line of Sight Guidance
Inf	: Infinite Value
LOS	: Line of Sight
LTV	: Linear Time Variant
LTVS	: Linear Time Variant System
MBR	: Modified Beam Riding Guidance
MCLOS	: Modified Command to Line of Sight Guidance
PG	: Pursuit Guidance
PN	: Proportional Navigation

## SÖZLÜKÇE

Aktarım İşlevi	: Transfer Function
Angajman	: Engagement
Arayıcı	: Seeker
Belirlenimci Analiz	: Deterministic Analysis
Bozan Etken	: Disturbance
Çifteş	: Dual
Doğrusal Zamanla Değişen	: Linear Time Variant
Doğrusal Zamanla Değişen Sistem	: Linear Time Variant System
Dürtü	: Impulse
Dürtü Tepkisi	: Impulse Response
Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü	: Modified Command to Line of Sight Guidance
Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü	: Modified Beam Riding Guidance
Eyleyici	: Actuator
Gerçek Kontrol	: True Control
Görüş Hattı	: Line of Sight
Görüş hattı güdümü	: Line of Sight Guidance
Işın İzleme Güdümü	: Beam Riding Guidance
Katımlı Sistem	: Adjoint System
Katımlı Sistem Analizi	: Adjoint System Analysis

Komuta Kontrollü Görüş Hattı GÜdümü	: Command to Line of Sight Guidance
Oransal Seyir GÜdümü	: Proportional Navigation Guidance
Rassal Analiz	: Stochastic Analysis
Satıhtan-Satıha	: Surface-to-Surface
Sonsuz Değer	: Infinite Value
Takip GÜdümü	: Pursuit Guidance
Yalın Kontrol	: Pure Control

## 1. GİRİŞ

Hava savunma savaşı, düşman hava araçlarının etkinliğini azaltmak ya da tamamen yok etmek için alınan tedbirler bütünü olarak tanımlanabilir. Bu tedbirler hem hava hem de kara silah sistemlerini, ilgili algılayıcı sistemleri, komuta kontrol düzenlemelerini ve pasif önlemleri içermektedir. Hava savunma, deniz, kara ve hava kuvvetlerini korumak olarak düşünülse de, ülke topraklarının savunması açısından da büyük önem arz eder. Günümüzde hava savunmasının en önemli unsuru füzelerdir [AAP-6 Nato Glossary of Terms and Definitions, 2009].

Füzeler, roketlerden farklı olarak çeşitli güdüm algılayıcıları ile (görüntü algılayıcılar, ısı algılayıcılar, radar, ataletsel algılayıcılar, GPS, v.b.) hedefe yönelen karmaşık sistemlerdir.

Füzeler, geçmişte genellikle uzun menziller için kullanılmışlardır. Nedeni ise öncelikle sistemin pahalılığı ve aynı zamanda güdüm sisteminin devreye girebilmesi için zaman gerekmesiydi. Kısa mesafede kullanıldığında güdümsüz bir silahla yapılan atıştan bir farkı yoktu [Siouris, 2004].

Günümüzde hem uzun hem de kısa menzilli çok sayıda füze çeşidi mevcuttur. Bilişim teknolojisindeki gelişmeler, elektronik sistemlerin ucuzlaması, güdümsüz sistemlerin lojistik destek yükünün fazlalığı, güdümsüz sistemler ile çevreye ve sivillere verilen yüksek zararlar, hareketli ve/veya zaman kritik hedeflerin güdümsüz sistemler ile vurulma zorlukları, v.b. sebebiyle füze sistemleri gün geçtikçe daha fazla tercih edilir olmuştur [Siouris, 2004].

Füzeler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Menzillerine göre: kısa, orta, orta-uzun ve kıtalar arası. Kullanım amaçlarına göre: taktik, seyir ve balistik. Fırlatma durumlarına göre: havadan-havaya, havadan satıha, satıhtan-havaya, satıhtan-satıha. Bu tez çalışmasında taktik füzelerin güdüm sistemleri üzerinde durulmaktadır. Taktik füze güdüm sistemleri geliştirme ihtiyacı II. Dünya Savaşı sonrasında, savaş sırasındaki kamikaze saldırılarının çok etkili olması neticesinde ortaya çıkmıştır [Zarchan, 1997]. Savaş sonrasında güdümsüz bombaların, gemilere intihar saldırısı yapan uçaklar için yetersiz olduğu bariz bir şekilde ortaya çıkmıştı. Kamikaze saldırılarına karşı tedbir olarak Amerikan Donanma Ordusu tarafından 1944 yılında Lark isimli ilk güdümlü taktik füze geliştirilmiştir. O yıllardan



günümüze, teknolojinin gelişimi, güdüm, kontrol ve navigasyon çalışmalarındaki artışın da neticesinde, çok daha etkili güdümlü taktik füzeler geliştirilmiştir [Zarchan, 1997].

Bu tezde, taktik güdümlü füzeler için kullanılan güdüm yöntemlerinin iki ve üç boyutlu modelleri ele alınmış ve üç boyutlu füze güdümü probleminin matematiksel formülasyonları çıkartılmıştır. Üç boyutlu füze güdümü probleminin analizi için, üç boyutlu senaryolar kullanılmış ve tüm taktik füze güdüm yöntemleri için bu senaryoların benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonrasında elde edilen verilerin ışığında, farklı senaryolar için PN, PG, CLOS, BR, MCLOS ve MBR yöntemlerinden hangisinin ya da hangilerinin daha başarılı veya avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca bir hassasiyet analizi yöntemi olan katımlı sistem analizi (adjoint system analysis) ile güdüm sisteminin performansı irdelenmiştir.

İkinci bölümde genel olarak taktik füze güdümünün temelleri üzerinde durulmuştur. Öncelikle güdüm, kontrol ve temel füze bileşenlerinden bahsedilmiştir. Sonrasında ise iki boyutta sonlanma güdümü yöntemlerinin tanımları ve füze-hedef angajmanının iki boyutlu formülasyonları verilmiştir.

Üçüncü bölümde, ikinci bölümde tartışılmış olan kavramlardan da faydalanılarak sonlanma güdümü yöntemleri için füze-hedef angajmanının üç boyutlu formülasyonları gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, doğrusal-olmayan benzetim analizleri yapılmıştır. Bu analizler gerçekleştirilirken, üçüncü bölümde tanımlamaları yapılan üç boyutlu füze-hedef angajman formülasyonlarından faydalanılmıştır. Gerçekleştirilen benzetimler ve sonrasında elde edilen grafik ve çizelgelerle, farklı yöntemler için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

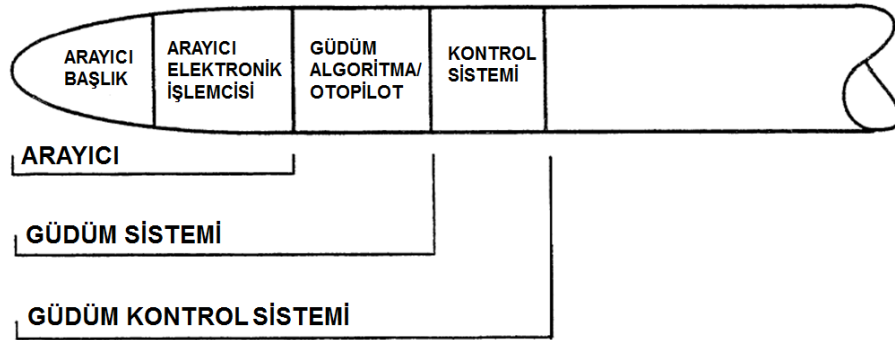
Beşinci ve son bölümde ise, öncelikle, daha önceki bölümlerde doğrusal-olmayan füze-hedef angajmanı formülasyonlarının nasıl doğrusallaştırılacağından bahsedilmiştir. Sonrasında ise bir hassasiyet analizi yöntemi olan katımlı sistem analizi üzerinde durulmuştur. Son olarak, rassal katımlı analizin kullanılmasıyla elde edilen benzetim sonuçları gösterilmiştir.

## 2. TAKTİK FÜZE GÜDÜMÜNÜN TEMELLERİ

Taktik füzeler genellikle kısa mesafelerde kullanılan güdümlü silah sistemleridir. Kullanım amaçları açısından da anlaşılacağı üzere taktikseldir. Taktik füzelerin hedefleri hava araçları, deniz ve kara platformları ile sabit tesisler olabilir.

### 2.1. GÜDÜM VE KONTROL

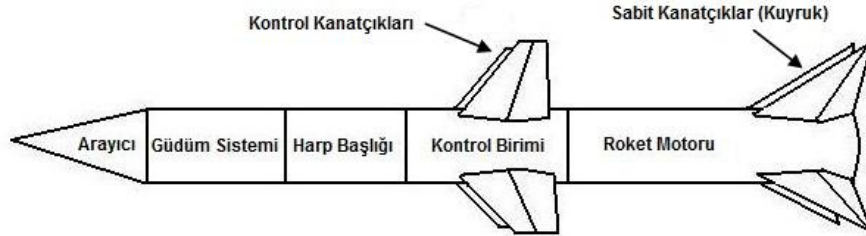
Güdümlü sistemi, bir füze, uydur, roket, uçak, helikopter, gemi veya benzeri aracın, iki veya üç boyutlu ortamdaki bir konumdan ayrılarak varmayı arzuladığı bir başka konuma ulaşabilmesini sağlayan elektromekanik ve elektronik aygıt veya aygıtlara verilen genel isimdir. Bir füze güdümlü sisteminde arayıcı başlık ile hedef algılanır ve hedef hakkındaki bütün bilgiler güdümlü sistemine iletilir. Füze güdümlü, füzenin hedefine çevrimiçi olarak ulaşmasını sağlayacak yöntemler zinciri olarak tanımlanabilir. Güdümlü genel amacı, füzeyle uygun ivmeler uygulanarak, füze ile hedef arasındaki mesafenin sonlu bir zamanda sıfıra ya da çok küçük bir değere ulaşmasını sağlamaktır. Füzenin hedefi vurabilmesi için gerekli manevra komutları, güdümlü kuralına göre oluşturulmaktadır. Kontrol ise güdümlü sonucunda elde edilen komutların, füzenin üzerinde bulunan kontrol kanatçıklarının, füzenin hedef üzerinde kalmasını sağlayacak şekilde hareket ettirilmesi sonucunda sağlanmaktadır. Şekil 2.1' de, arayıcı, güdümlü ve kontrol blokları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Genel füze güdümlü-kontrol yapısı

## 2.2. Güdümlü Füzeler

Güdümlü füzeler, üzerlerinde güdüm sistemi barındıran ve izlediği hedefe ulaşmak için bu güdüm sisteminden çıkan komutları kullanan füzelerdir. Şekil 2.2' de genel olarak güdümlü bir füzenin barındırdığı alt sistemler gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Güdümlü füze bileşenleri

**Arayıcı (Seeker):** Taktik füzelerin hedefe yönlendirilmeleri arayıcı ile sağlanır. Arayıcı, füzenin en u kısmında bulunur ve füzenin gözü olarak kabul edilir. Füze üzerinde bulunan yerleşik algılayıcılarla hedef hakkındaki bilgiler toplanarak, güdüm komutlarının oluşturulması için güdüm sistemine gönderilir. Arayıcılar genel olarak üç ana kısma ayrılabilir: aktif arayıcılar, yarı-aktif arayıcılar ve pasif arayıcılar.

**Güdüm Sistemi (Guidance System):** Bir güdüm sistemi üç ana görev grubundan oluşur: Girdi grubu, işlem grubu ve çıktı grubu. Girdi grubu çeşitli algılayıcı birimlerinden oluşabilir. İşlem grubu bir veya daha fazla merkezi işlem birimi (CPU) ile çeşitli destek ünitelerinden meydana gelir ve işlevi girdi grubu aygıtlarından gelen ham veriyi belirli algoritmalara göre derlemek, gerekirse önceden oluşturulmuş veri tabanlarındaki değerler ile karşılaştırmak ve otonom olarak yönetilen aracın belirli bir referans noktası ya da hedefe göre konum, hız, ivme gibi sayısal değerlerinin değiştirilip değiştirilmemesine veya örneğin araç üzerindeki bir harp başlığının aktive edilme zamanının gelip gelmediğine karar vermektir. Verilen kararlar sürekli olarak çıktı grubu aygıtlarına aktarılır. Bunlar arasında motorlar, servo ve eyleyiciler, pompalar, türbinler, elektromekanik aygıtlar, fnyeler, verici antenler, kanat ve kanatçıklar olabilir. Bu sistem elemanları, işlem grubundan gelen komutlara göre ve gerçek zamanlı olarak gdmlenen aracın görevin gerektirdiği hareketleri yüksek doğrulukla yerine getirmesini sağlar. Şekil 2.2'de alt sistemleri gösterilen füze yapısı düşünülürse; arayıcı başlıktan güdüm

komutlarının üretilmesi için gerekli olan komutlar alınır ve güdüm sistemine iletilir. Güdüm sisteminde ise bu komutlara çeşitli güdüm algoritmaları uygulanarak füze ivmeleri elde edilir. Elde edilen füze ivmeleri ise füzenin hareketinin kontrol edildiği otopilot kanallarına oradan da kontrol sistemine gönderilir [Yanushevsky, 2008].

**Harp Başlığı (War Head):** Harp başlığı ya da diğer adıyla savaş başlığı, belirli bir taşıyıcı kovan içerisinde hedefe taşınan patlayıcı, yanıcı ya da zehirli bir malzeme ve bu malzemeyi söz konusu kovan hedefe vardığında etkin hale getiren tetikleme mekanizmasından oluşan harp düzeneğidir. Harp başlığı tipleri genel olarak, patlayıcı, kimyasal, biyolojik ve kinetiktir.

**Kontrol Birimi (Control Unit):** Güdüm sisteminde, güdüm algoritmaları koşturularak elde edilen füze kontrol komutları kontrol birimine gelir. Bu kontrol komutları füzenin hedefi üzerinde kalmasını sağlar. Taktik füzelerin kontrolü, uçaklardaki gibi füzenin orta kısmında bulunan kontrol kanatçıkları ile sağlanmaktadır.

**Roket Motoru (Rocket Motor):** Füzenin havadaki hareketini sağlayan itki kuvveti roket motoru sayesinde üretilir. Motor içindeki yakıtın yanması ile oluşan gazlar füzenin arka kısmından salınırken, bu füzeye aksi yönde bir itki kuvveti sağlar. Böylece füze ileri yönde hareket etmiş olur. Jet motorları yanmak için oksijen kullandıkları için azami yükseklikleri yaklaşık olarak 90,000 feet (27.5 km) olarak sınırlanırken; füzeler, roket yakıtı ile birlikte oksijen donanımını da yanlarında taşıdıkları için havaya ihtiyaçları olmaz; yani yüksek irtifada da hareket edebilirler.

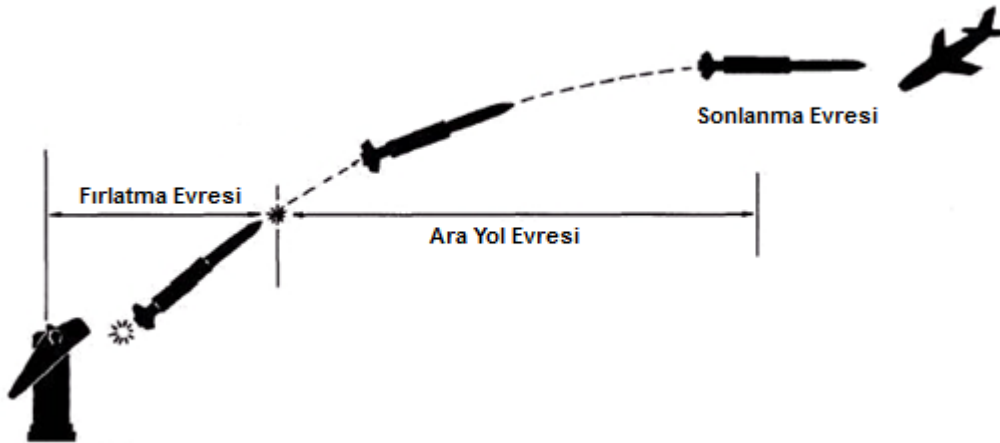
### 2.3. Füze Güdüm Evreleri

Taktik füzelerde genellikle güdüm üç evreden oluşmaktadır. Bu evreler sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- Fırlatma Evresi (Boost Phase): Bu bölümde hızlandırıcı ve destek motorlar açıktır. Bu kısımda füzeye çok büyük değerlerdeki itki kuvveti ile başlangıç hızı verilir. Bu safhadaki genel amaç, füzenin fırlatma platformundan güvenli bir şekilde ayrılmasını sağlamaktır. Bu evre, füzenin fırlatma platformundan fırlatılmasından, hızlandırıcı motorundaki yakıtın sonlanmasına kadar devam eder.

- Ara Yol Evresi (Midcourse Phase): Bu bölüm kısa menzilin ötesine varan taktik füzelerde uçuşun süre olarak en büyük kısmını oluşturur. Bu safhada füzenin ivmelenmesi neredeyse durur ve füze hedefin civarında kalabilmek için sadece küçük manevralar yapar.
- Sonlanma Evresi (Terminal Phase): Sonlanma evresi, füzenin uçuşundaki son evredir. Bu kısımda füze, yüksek doğruluklu arayıcısı ya da başka bir izleme sistemi ile hedefi hassas şekilde izleyerek hedefi vurabilmek için hızlı manevralar yapar ve hedefe yeteri kadar yaklaştıktan sonra harp başlığını ateşler. Son evrede sistemin minimum vurma hatası ile çalışması beklenir.

Şekil 2.3' de güdüm evreleri gösterilmektedir.



**Şekil 2.3** Füze güdüm evreleri

#### 2.4. Sonlanma Güdümü

Füze güdüm sistemi, bir füzenin, iki veya üç boyutlu ortamdaki bir konumdan ayrılarak varmayı arzuladığı bir başka konuma veya hedefe ulaşabilmesini sağlayan elektromekanik ve elektronik aygıt veya aygıtlara verilen genel isimdir. Özellikle askeri terminolojide bu söylem, herhangi bir insan kontrolü olmaksızın otonom seyir yeteneğine sahip araçlar için kullanılır. Sonlanma evresinde füze güdüm sistemleri genel olarak iki ana kısma ayrılabilir: komuta güdümü ve evleme güdümü.

### **2.4.1. Komuta Güdümü**

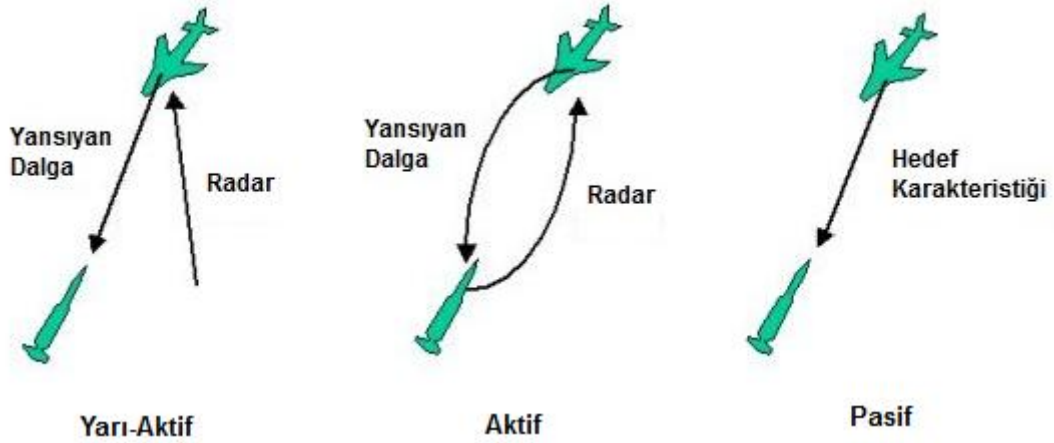
Komuta güdümünde füze, hedef hakkındaki bilgileri hedeften almaz. Bunun yerine bir izleme istasyonu olur ve füze bir komuta hattı (command link) zerinden hedefe gdmlenir. İzleme istasyonunda iki tane algılayıcı bulunur ve bu algılayıcılardan biri hedefi izlerken; diğeri de füzenin hareketini takip eder. Bu izleme algılayıcılarından alınan veriler güdüm bilgisayarına gönderilir ve füzeye gönderilmek üzere güdüm komutları meydana getirilir. İki farklı izleme sisteminin kullanılması sayesinde, füzenin hedefe en iyi olası yolu izleyerek gitmesi sağlanmaya çalışılır. İki izleme algılayıcısının kullanımına alternatif olarak, tek izleme algılayıcısı da kullanılabilir. Bu algılayıcı aynı anda hem füzeyi hem de hedefi izler. Ancak bu durumda füzeye sürekli olarak komuta hattı üzerinde kalmasını sağlayacak komutlar gönderilmelidir. Bu tip güdüm yöntemine komuta kontrollü görüş hattı güdümü (CLOS - command to line of sight) de denilmektedir. Işın izleme güdümü (BR - beam riding) de CLOS güdümüne benzemektedir; fakat işın izleme güdümünde kullanılan füze, hedefi aydınlatan işını kendi başına takip edebilme yeteneğine sahiptir [Neri, 2001].

### **2.4.2. Evleme Güdümü**

Evlleme güdümünde (homing guidance) genel ilke olarak, füze hedeften kaynaklanan sinyalleri toplar ve bu sayede hedefi takip eder. Evleme güdümüne sahip füzelerde, arayıcı başlıklar bulunmaktadır. Bu arayıcı başlığın donanımsal özellikleri, izlenen hedefin karakteristik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Evleme güdümünü hedefin aydınlatılıp aydınlatılmadığına ya da nasıl aydınlatıldığına göre sınıflandırabiliriz. Bu çerçevede evleme güdümü üç kısma ayrılabilir:

- Aktif Evleme Güdümü
- Yarı-Aktif Evleme Güdümü
- Pasif Evleme Güdümü

Şekil 2.4' de evleme güdümü yöntemlerinin basit ifadeleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Evleme güdümü yöntemleri

#### 2.4.2.1. Aktif Evleme Güdümü

Aktif evleme güdümüne sahip füzelerdeki arayıcılar, hedefe kendileri enerji gönderirler (aydınlatırlar) ve hedeften yansıyan enerjiyi geri alırlar. Böylece hedef takip etmiş olunur. Mikro dalga radarlar, milimetre dalga radarlar ve lazer radarlar (LADAR) bu güdüm yönteminde kullanılan algılayıcılardır [Kopp, 1982]. Aktif evleme güdümüne sahip füzeler, hedefi kendileri aydınlattıklarından ötürü, izlediği hedef tarafından fark edilme olasılığı yüksek füzelerdir. Aktif arayıcıya sahip bir füzenin takip ettiği hedef üzerinde radar ikaz alıcıları (Radar Warning Receiver) varsa, hedefi izlemekte olan füze fark edilir ve füzeye karşı tedbirler alınır. Bu nedenle aktif arayıcıya sahip bir füzenin hedefine ulaşabilmesi için, güdüm sisteminin ürettiği güdüm komutlarının hassas olması ve hedefin manevra yeteneğinin kısıtlı olması gerekmektedir [Neri, 2001].

#### 2.4.2.2. Yarı-Aktif Evleme Güdümü

Bu güdüm yönteminde kullanılan arayıcılar ise hedeflerini kendileri aydınlatmaz, onun yerine başka bir platformdaki kaynak, hedefi aydınlatmaktadır. Bu platform karada, denizde ya da bir hava aracında bulunabilir. Arayıcı başlık ise hedef üzerinden yansıyan dalgaları toplayarak füzenin hedef üzerinde kalmasını sağlar. Yarı-aktif evleme güdümünün, aktif evleme güdümüne göre avantajı, hedef füze tarafından aydınlatılmadığı için füzeyi fark edemez ve böylece füzeyle karşı bir tedbir alınamaz [Neri, 2001].

### **2.4.2.3. Pasif Evleme Güdümü**

Pasif evleme güdümünde ise hedef aydınlatılmaz, onun yerine füze üzerindeki algılayıcı hedef üzerinden doğal olarak yansıyan elektromanyetik ışımaya (ses, ısı, ışık, radyo sinyali, radar sinyali) toplanır. Pasif evleme güdümünde kullanılan sistemler ve algılayıcılar diğer evleme güdümü yöntemlerinde kullanılan sistemlere göre daha basit yapıda ve daha düşük maliyetlidir. Ayrıca pasif evleme güdümü sistemlerinde hedef aydınlatılmadığı için, füze için herhangi bir nlem alınmaz. Aktif evleme güdümlü füzeler, pasif evleme güdüm sisteminin bu avantajı yüzünden, kendilerine karşı tedbir alındığında, radar alıcılarını kapatarak, pasif evlemeye geçebilmektedirler [Neri, 2001].

## **2.5. Sonlanma Güdümü Yöntemleri**

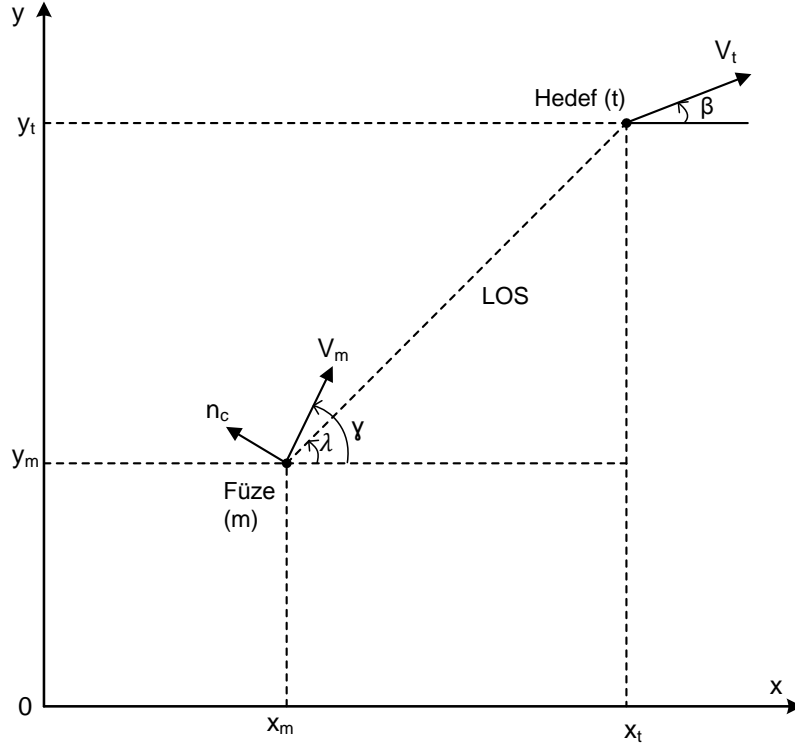
Taktik füzelerde sonlanma evresinde kullanılan güdüm yöntemleri genel olarak üç kısma ayrılabilir:

- Oransal Seyir Güdümü (Proportional Navigation Guidance)
- Takip Güdümü (Pursuit Guidance)
- Görüş Hattı Güdümü (Line of Sight Guidance)

### **2.5.1. İki Boyutta Genel Tanımlar**

Bu kısımda güdüm yöntemleri incelenirken, füze ve hedef, nokta parçacık olarak gösterilmekte ve iki boyutlu düzlem üzerinde modellenmektedir. Şekil 2.5' de hedef ve füzenin iki boyutlu angajman (engagement) modeli gösterilmektedir.





**Şekil 2.5** İki boyutlu füze-hedef angajman modeli

Burada,

$(x_m, y_m)$  : Füze konum vektörü,

$(x_t, y_t)$  : Hedef konum vektörü,

$(v_{mx}, v_{my})$  : Füze hız vektörü,

$(v_{tx}, v_{ty})$  : Hedef hız vektörü,

$(a_{mx}, a_{my})$  : Füze ivme vektörü,

$(a_{tx}, a_{ty})$  : Hedef ivme vektörü,

olarak ele alınmıştır.

Güdümlü bir füze ile hedefi arasındaki angajmanı ifade eden türevsel denklem,

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (2.1)$$

şeklinde, durum uzayında ifade edilebilir.

Durum değişkenleri vektörü,

$$x = [x_m \quad y_m \quad x_t \quad y_t \quad v_{mx} \quad v_{my} \quad v_{tx} \quad v_{ty}]^T \quad (2.2)$$

ve kontrol girdileri vektörü,

$$u = [a_{mx} \quad a_{my}]^T \quad (2.3)$$

olarak alınır;

iki boyutlu bir angajman modelinde kullanılacak dinamik denklemler, durum değişkenlerinin zamana göre türevleri alınarak,

$$\dot{x}_m = v_{mx} \quad (2.4)$$

$$\dot{y}_m = v_{my} \quad (2.5)$$

$$\dot{x}_t = v_{tx} \quad (2.6)$$

$$\dot{y}_t = v_{ty} \quad (2.7)$$

$$\dot{v}_{mx} = a_{mx} \quad (2.8)$$

$$\dot{v}_{my} = a_{my} \quad (2.9)$$

$$\dot{v}_{tx} = a_{tx} \quad (2.10)$$

$$\dot{v}_{ty} = a_{ty} \quad (2.11)$$

şeklinde gösterilirler.

Füze hız vektörünün büyüklüğü,

$$v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2} \quad (2.12)$$

Hedef hız vektörünün büyüklüğü,

$$v_t = \sqrt{v_{tx}^2 + v_{ty}^2} \quad (2.13)$$

olarak ifade edilir.

Füzenin uçuş hattı açısı (flight path angle), bir başka deyişle füze hız vektörü ile yatay eksen arasında kalan açı,

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \quad (2.14)$$

olarak tanımlanır.

Hedefin uçuş hattı açısı, bir başka deyişle hedef hız vektörü ile yatay eksen arasında kalan açı,

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{v_{ty}}{v_{tx}} \right) \quad (2.15)$$

olarak tanımlanır.

Görüş hattı (LOS) açısı ya da diğer ifadesiyle, füze ile hedef arasındaki minimum uzaklığı sağlayan hattın yatay eksenle yaptığı açı,

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) \quad (2.16)$$

olarak gösterilir.

Hedef ile füze arasındaki mesafe (R),

$$R = \sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \quad (2.17)$$

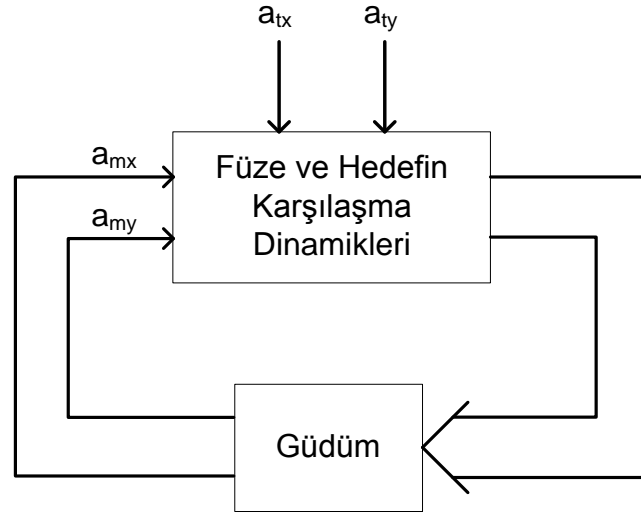
olarak ifade edilir.

En genel olarak füze kontrol ivmeleri olan  $a_{mx}$  ve  $a_{my}$ , bütün durum değişkenlerinin birer fonksiyonu şeklinde gösterilebilir.

$$a_{mx} = f_1(x_m, y_m, x_t, y_t, v_{mx}, v_{my}, v_{tx}, v_{ty}) \quad (2.18)$$

$$a_{my} = f_2(x_m, y_m, x_t, y_t, v_{mx}, v_{my}, v_{tx}, v_{ty}) \quad (2.19)$$

Füze ivmeleri  $a_{mx}$  ve  $a_{my}$  sistemin kontrol girdileri olarak düşünülebilirken ve hedef ivmeleri olan  $a_{tx}$  ve  $a_{ty}$  ise sisteme dışardan giren bozan etken (disturbance) olarak tanımlanabilirler. Şekil 2.6' da söz konusu bu durum gösterilmektedir.



**Şekil 2.6** İki boyutlu angajman modeli sistem girdileri

### 2.5.2. Kontrol Yöntemi

Bir füzeeye uygulanan toplam ivmeye füze komuta ivmesi denilir ve bu terim literatürde  $n_c$  değişkeni ile gösterilir. Komuta ivmesi  $n_c$ , iki boyutlu angajman modelinde,

$$n_c = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2} \quad (2.20)$$

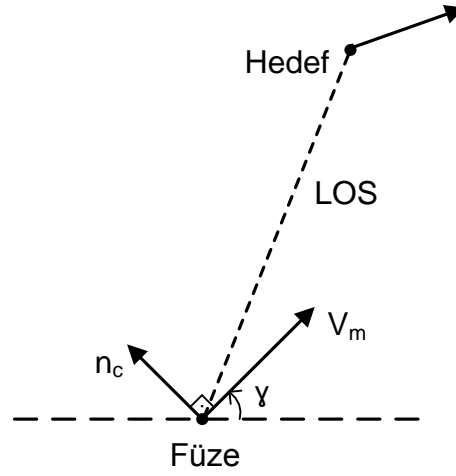
olarak ifade edilir.

Füze komuta ivmesinin oluşturulması sırasında iki alternatif vardır: yalın kontrol (pure control) ve gerçek kontrol (true control).

#### 2.5.2.1. Yalın Kontrol Uygulaması

Yalın kontrolde (pure control), komuta ivmesi  $n_c$ , füze hız vektörü  $V_m$ ' ye diktir. Yalın kontrol yönteminde komuta ivmesi  $n_c$ , füze hız vektörü  $V_m$ ' nin sadece yönünü değiştirir; hızında ise herhangi bir değişikliğe sebep olmaz [Özkazanç, 2000]. Yalın kontrol, gerçek yaşamda füzeeye uygulanan fiziksel ivmeyi

modellemek açısından da gerçekçi bir modeldir. Şekil 2.7' de yalın kontrolün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Yalın kontrol uygulaması

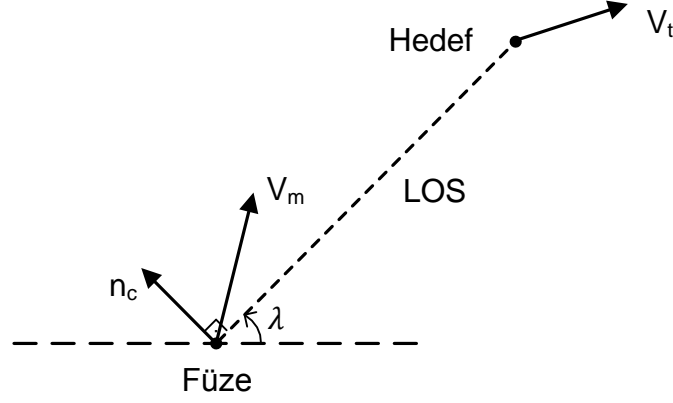
Yalın kontrol ile kontrol edilen bir füzenin x ve y yönündeki füze ivmeleri, komuta ivmesi cinsinden,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\gamma) \\ a_{my} &= n_c \cos(\gamma) \end{aligned} \quad (2.21)$$

olarak tanımlanırlar.

### 2.5.2.2. Gerçek Kontrol Uygulaması

Gerçek kontrol (true control), yönteminde ise komuta ivmesi  $n_c$ , görüş hattı açısı  $\lambda'$  ya dik olarak uygulanır. Gerçek kontrol yönteminde komuta ivmesi  $n_c$ , füze hız vektörü  $V_m$ ' nin yönüyle birlikte büyüklüğünü de değiştirmektedir. Literatürde gerçek kontrolün daha fazla kullanılmış olmasının sebebi, matematiksel ifade edilebilirliğinin daha kolay oluşudur. Ancak, bu yaklaşım gerçek hayattaki dinamiği modelleme açısından yalın kontrol kadar güçlü değildir. Şekil 2.8' de gerçek kontrolün yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.8** Gerçek kontrol uygulaması

Gerçek kontrol ile kontrol edilen bir füzenin x ve y yönündeki füze ivmeleri, komuta ivmesi cinsinden,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\lambda) \\ a_{my} &= n_c \cos(\lambda) \end{aligned} \quad (2.22)$$

olarak tanımlanırlar.

Füze güdüm yöntemleri, komuta ivmesi cinsinden ifade edilen eşitliklerdir. Farklı güdüm yöntemlerine göre füze ivmelerinin ifade edilmesi için herhangi bir güdüm yönteminde, Eşitlik 2.21 ve 2.22' nin, güdüm denklemlerinin son hallerinde yerine koyulması yeterli olacaktır.

### 2.5.3. Sapma Mesafesi

Karşılaşma sürecinde hedef ile füze arasında gerçekleşen minimum mesafeye sapma mesafesi (miss distance) denilir. Daha önce belirtildiği gibi güdümün amacı, füzeye uygun ivme değerlerini uygulayarak sonlu zaman içerisinde sapma mesafesini minimum hale getirmektir. Sapma mesafesi, bir füze güdümü sisteminin performansını karakterize eden, sistem çıkışı olarak değerlendirilebilir [Yanushevsky, 2008].

#### 2.5.4. Oransal Seyir Güdümü

Oransal seyir güdümü (proportional navigation guidance) pratikte en çok kullanılan güdüm yaklaşımıdır. İlk defa, denizde keşfedilmiştir ve olası çarpışmalardan kaçınmak için gemilerin dmencileri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Oransal seyir güdümün kullanıldığı ilk füze ise ‘‘Lark’’ adlı fzedir ve bu füzenin testleri 1950 yılında başarılı bir şekilde tamamlanmıştır [Zarchan, 1997].

Günümüzde oransal seyir güdümü, yüksek hızlı füzelerin tamamında füze rotasının doğrulanmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Üretilen ivme komutları, füze ile hedefin arasındaki mesafenin kapanma hızı ve LOS’ un değişim hızı ile oransaldır.

Oransal Seyir Güdümü matematiksel olarak,

$$n_c = NV_c \dot{\lambda} \quad (2.23)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 2.23’ deki değişkenler,

$n_c$  : Füze komuta ivmesi,

$V_c$  : Füze-hedef yaklaşım hızı,

$\dot{\lambda}$  : Görüş hattı açısının türevi,

$N$  : Oransal güdüm sabiti,

olarak ifade edilirler.

Yaklaşma hızı  $V_c$ ,

$$V_c = -\dot{R} \quad (2.24)$$

Eşitlik 2.17 ve 2.24’ den de faydalanılarak,

$$V_c = -\frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \quad (2.25)$$

elde edilir.

LOS' un değişim hızı  $\dot{\lambda}$ , Eşitlik 2.16' dan da faydalanılarak,

$$\dot{\lambda} = \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \quad (2.26)$$

şeklinde bulunur.

Oransal seyir güdüm yönteminin son hali, Eşitlik 2.25 ve 2.26' nın da kullanılmasıyla, durum değişkenleri cinsinden,

$$n_c = -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \quad (2.27)$$

olarak elde edilir.

Yalın kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \sin(\gamma) \quad (2.28)$$

$$a_{my} = -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \cos(\gamma) \quad (2.29)$$

olarak elde edilirler.



Gerçek kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \sin(\lambda) \quad (2.30)$$

$$a_{my} = -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \cos(\lambda) \quad (2.31)$$

olarak ifade edilirler.

Trigonometrik eşitlikler ve Eşitlik 2.14 ve 2.16' dan da faydalanılarak, uçuş hattı ve LOS açılarının sinüs ve kosinüs ifadeleri,

$$\sin(\gamma) = \frac{v_{my}}{\sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}} \quad (2.32)$$

$$\cos(\gamma) = \frac{v_{mx}}{\sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2}}$$

$$\sin(\lambda) = \frac{y_t - y_m}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \quad (2.33)$$

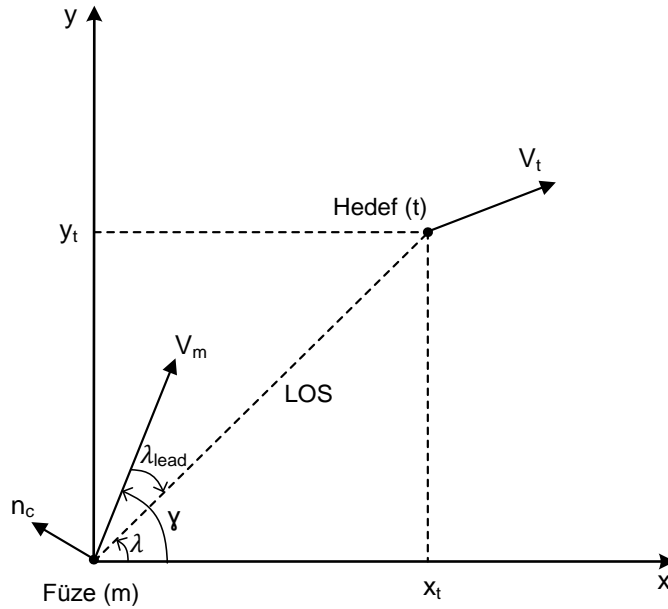
$$\cos(\lambda) = \frac{x_t - x_m}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}}$$

sadece durum değişkenleri cinsinden elde edilir.

Eşitlik 2.32 ve 2.33' ün kullanılmasıyla, Eşitlik 2.29, 2.30, 2.31 ve 2.32, yalnızca durum değişkenleri cinsinden ifade edilmiş olur. Bu denklemlerin yapısından açıkça görüldüğü gibi, oransal seyir güdümü, durum değişkenleri cinsinden doğrusal olmayan bir geri-besleme döngüsü yaratmaktadır.

### 2.5.5. Takip Güdümü

Takip güdümünde (pursuit guidance), yanal komuta ivmesiyle, füze hız vektörü ve LOS arasında kalan aı olan öndelik açısı (lead angle)  $\lambda_{lead}$  oransaldır [zkazan, 2000]. Bu sayede füze hız vektörü hedefi gösterecek Şekilde ynledirilmifl olur [Lin, 1991]. Takip güdümünde, füze her bir iterasyonda hedefe doğru yönelmeye çalışır. Takip güdümünün başarılı olabilmesi için hedefin genellikle sabit, düşük hızlı ya da manevrasız olarak hareket etmesi gerekir. ndelik açısı  $\lambda_{lead}$ , hassas olarak ölçülebilmesi zor bir parametre olduğu için takip güdümünün kullanımı sınırlıdır. Takip güdümü genel olarak, lazer güdümlü bombalarda halen kullanılan bir yöntemdir (paweway I, II) [zkazan, 2000].



**Şekil 2.9** Takip güdümü geometrisi

Takip güdümü, matematiksel olarak,

$$n_c = K \lambda_{lead} \quad (2.34)$$

olarak gösterilir.

Bu formülasyonda ifade edilen terimler,

$n_c$  : Füze komuta ivmesi,

$\lambda$  : Görüş hattının (LOS) yatay eksenle yaptığı açı,

$\gamma$  : Füzenin hız vektörünün yatay eksenle yaptığı açı,

$\lambda_{lead}$  : Füzenin öndelik açısı,

$K$  : Güdüm sabiti,

olarak ifade edilirse;

Öndelik açısı  $\lambda_{lead}$ ,

$$\lambda_{lead} = (\lambda - \gamma) \quad (2.35)$$

olarak verilebilir. Buradan hareketle füze komuta ivmesinin son hali,

$$n_c = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \quad (2.36)$$

olarak elde edilir.

Yalın kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\gamma) \quad (2.37)$$

$$a_{my} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\gamma) \quad (2.38)$$

olarak elde edilirler.

Gerçek kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\lambda) \quad (2.39)$$

$$a_{my} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\lambda) \quad (2.40)$$

olarak ifade edilirler.

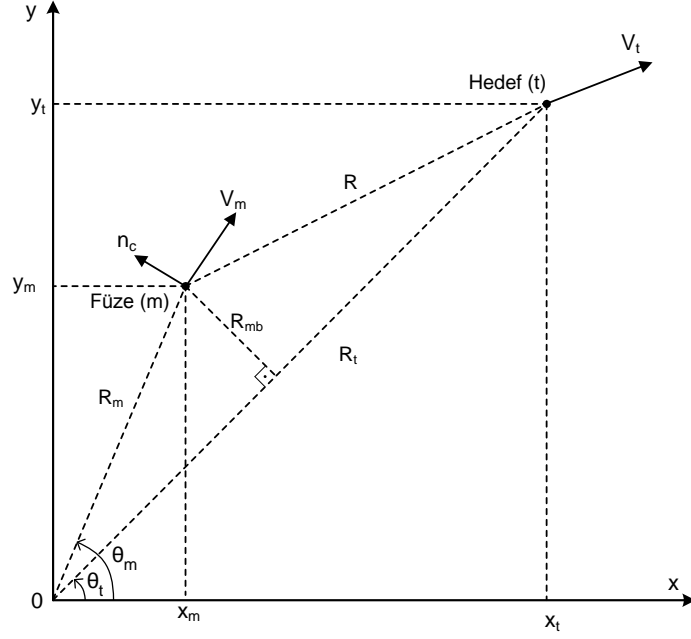
Daha önce oransal seyir güdümünün anlatıldığı bölümde gösterilen Eşitlik 2.32 ve 2.33' ün, Eşitlik 2.37, 2.38, 2.39 ve 2.40' da yerine koyulmasıyla takip güdümünde kullanılan füze ivmeleri sadece durum değişkenleri cinsinden ifade edilebilmektedir.

#### 2.5.6. Görüş Hattı Güdümü

Görüş hattı güdümü (line of sight guidance), sadeliği ve kolay gerçekleştirilebilirliği açısından günümüzde kullanılan çoğu güdüm yönteminin temelini oluşturan bir yöntemdir. Bu yöntemdeki genel düşünce, füzeyi bir referans nokta ile hedef arasındaki LOS üzerinde tutmaktır.

Görüş hattı güdümünde füze kördür, yani hedefi doğrudan takip edemez. Bunun yerine füze herhangi bir dış izleyici kaynak aracılığı ile hedef üzerinde kalmaya çalışır. Güdüm komutlarının meydana getiriliş konumuna göre görüş hattı güdümünü iki kısma ayırabiliriz. Komuta kontrollü görüş hattı güdümü (command to line of sight guidance) ve ışın izleme güdümü (beam riding guidance).

Şekil 2.10' da komuta kontrollü görüş hattı ve ışın izleme güdümünde kullanacağımız iki boyutlu füze ile hedef angajman modeli gösterilmektedir.



**Şekil 2.10** Görüş hattı güdümü geometrisi

Şekil 2.10' da gösterilen değişkenler,

$\theta_m$  : Füzeyi aydınlatan ışının yatay eksenle yaptığı açı,

$\theta_t$  : Hedefi aydınlatan ışının yatay eksenle yaptığı açı,

$R_m$  : Füzenin hedefi aydınlatan istasyona olan uzaklığı,

$R_t$  : Hedefin, hedefi aydınlatan istasyona olan uzaklığı,

$R_{mb}$  : Füzenin hedefi aydınlatan ışına dik uzaklığı

ifade etmektedirler.

Füze ve hedefi aydınlatan ışınların yatay eksenle yaptığı açılar, Şekil 2.10' dan,

$$\theta_m = \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \quad (2.41)$$

$$\theta_t = \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) \quad (2.42)$$

olarak elde edilirler.

### 2.5.7. Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

Komuta kontrollü görüş hattı güdümü (command to line of sight guidance) yönteminde, hedef, dışardaki bir izleme istasyonundan aydınlatılır ve sonrasında güdüm komutları, izlenen görüş hattına göre dışarıda oluşturulup, füzeye gönderilir. Genel amaç, füze ile hedefi aydınlatan ışınlar arasındaki açısal farkı sıfıra çekecek güdüm komutlarının dışarıdan füzeye gönderilmesidir [Zarhan, 1997, Özkazanç, 2000].

Komuta kontrollü görüş hattı güdümü için füze komuta ivmesi,

$$n_c = K(\theta_t - \theta_m) \quad (2.43)$$

olarak tanımlanır.

Eşitlik 2.41 ve 2.42' den faydalanılarak füze komuta ivmesinin son hali,

$$n_c = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \quad (2.44)$$

olarak ifade edilir.

Yalın kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \sin(\gamma) \quad (2.45)$$

$$a_{my} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \cos(\gamma) \quad (2.46)$$

olarak elde edilir

Gerçek kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \sin(\lambda) \quad (2.47)$$

$$a_{my} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \cos(\lambda) \quad (2.48)$$

olarak ifade edilir.

K ile gösterilen komuta güdüm kazancı, ayarlaması yapılan tek değişkendir.

### 2.5.8. Işın İzleme Güdümü

Işın izleme güdümünde (beam riding guidance), hedef yine dışardaki izleme istasyonu tarafından aydınlatılır, ancak CLOS yönteminden farklı olarak füze hedefi kendi başına izleyebilmektedir. Dolayısıyla da güdüm komutları füze tarafından oluşturulur. Bu yöntemdeki genel amaç, Şekil 2.10'da gösterilen  $R_{mb}$  uzaklığını sıfıra çekmek olarak ifade edilebilir.

Işın izleme güdümünde kullanılacak olan komuta güdümü ivmesi,

$$n_c = KR_{mb} \quad (2.49)$$

olarak tanımlanır.

Füzenin izleme istasyonundan olan uzaklığı,

$$R_m = \sqrt{x_m^2 + y_m^2} \quad (2.50)$$

Hedefin izleme istasyonundan olan uzaklığı,

$$R_t = \sqrt{x_t^2 + y_t^2} \quad (2.51)$$

olarak gösterilir.

İzleme istasyonundan hedefe olan görüş hattı ile füzenin arasındaki mesafe değeri,

$$R_{mb} = R_m \sin(\theta_t - \theta_m) \quad (2.52)$$

olarak ifade edilir.

Işın izleme güdümünde kullanılacak olan komuta güdümü ivmesinin son hali, Eşitlik 2.41 ve 2.42' den de faydalanılarak,

$$n_c = K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \quad (2.53)$$

elde edilir.

Yalın kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \sin(\gamma) \quad (2.54)$$

$$a_{my} = K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \cos(\gamma) \quad (2.55)$$

olarak elde edilirler.

Gerçek kontrol yöntemi uygulayan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \sin(\lambda) \quad (2.56)$$

$$a_{my} = K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \cos(\lambda) \quad (2.57)$$

olarak ifade edilir.

### 2.5.9. Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

Düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü (modified command to line of sight guidance), komuta kontrollü görüş hattı güdümünde, füzenin hareketindeki sınımları gidermek için, komuta güdümü ivmesinin elde edildiği eşitliğe sönümlenme yapıcı bir ekleme ile elde edilmektedir. Bu yeni yöntemde füze komuta güdümü 1. dereceden bir aktarım işlevi ile çarpılarak, füzenin hareketindeki



salınımlar yok edilir. Böylece füze hedefe daha doğrusal bir yoldan ulaşmaya çalışır.

Düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümünde kullanılacak olan komuta güdümü ivmesi,

$$n_c = -K_f \dot{n}_c + K_p (\theta_t - \theta_m) + K_d (\dot{\theta}_t - \dot{\theta}_m) \quad (2.58)$$

olarak tanımlanmıştır [Özkazanç, 2000].

Düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümünde yer alan türev ifadeleri ile algılayıcılardan kaynaklanabilecek gürültü ön plana çıkabileceğinden, algılayıcıdan gelen  $(\theta_t - \theta_m)$  verisinin türevlenmeden önce alçak-geçirgen bir süzgeçten geçirilmesi uygun olacaktır. Bu husus dikkate alınarak, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü, frekans bölgesinde,

$$N_c(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_t(s) - \theta_m(s)) \quad (2.59)$$

olarak tanımlanır.

Eşitlik 2.59' daki formülasyondan görüldüğü gibi, önerilmiş düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümünde üç adet kontrol kazancı parametresi vardır. Bu terimin ardından, yalın kontrol uygulaması,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\gamma) \\ a_{my} &= n_c \cos(\gamma) \end{aligned} \quad (2.60)$$

olarak tanımlanabilir.

Aynı şekilde, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümünün gerçek kontrol uygulaması ise,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\lambda) \\ a_{my} &= n_c \cos(\lambda) \end{aligned} \quad (2.61)$$

olarak verilir.

### 2.5.10. Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü

Düzeltilmiş ışın izleme güdümü (beam riding guidance), düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümünde olduğu gibi; ışın izleme güdümündeki füze hareketi salınımlarını gidermek için, komuta güdümü ivmesinin elde edildiği eşitliğe sönümlenme yapıcı bir ekleme ile elde edilmektedir. Yine bu yöntemde de füze komuta güdümü 1. dereceden bir aktarım işlevi ile çarpılarak, füzenin hareketindeki salınımlar yok edilir. Böylece füze hedefe daha doğrusal bir yoldan ulaşmaya çalışır.

Düzeltilmiş ışın izleme güdümünde kullanılacak olan komuta güdümü ivmesi,

$$n_c = -K_f \dot{n}_c + K_p R_{mb} + K_d \dot{R}_{mb} \quad (2.62)$$

olarak ifade edilir. Ancak, algılayıcıdan gelen  $R_{mb}$  sinyalinin türevlerinden kaynaklanabilecek sakıncaları bertaraf etmek için düzeltilmiş ışın izleme güdümü, frekans bölgesinde;

$$N_c(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] R_{mb}(s) \quad (2.63)$$

olarak önerilmiştir [Özkazanç, 2000].

Düzeltilmiş ışın izleme güdümü için yalın kontrol yöntemi uygulaması,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\gamma) \\ a_{my} &= n_c \cos(\gamma) \end{aligned} \quad (2.64)$$

olarak tanımlanabilir.

Aynı şekilde, düzeltilmiş komuta kontrollü ışın izleme güdümünün gerçek kontrol uygulaması ise,

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin(\lambda) \\ a_{my} &= n_c \cos(\lambda) \end{aligned} \quad (2.65)$$

olarak verilir.

### 2.5.11. Gerçekçi Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

Işın izleme güdümünde Eşitlik 2.52 denklemini sağlandığı ve güdüm süresince  $(\theta_t - \theta_m)$  büyüklüğünün küçük kalacağı göz önüne alınırsa,

$$R_{mb} = R_m \sin(\theta_t - \theta_m) \cong R_m (\theta_t - \theta_m) \quad (2.66)$$

olduğu ortaya çıkar. Bu çerçeve içinde ışın izleme güdümü,

$$n_c = K_1 R_{mb} = K_1 R_m (\theta_t - \theta_m) \quad (2.67)$$

ve CLOS güdümü,

$$n_c = K_2 (\theta_t - \theta_m) \quad (2.68)$$

arasındaki temel farkın, birisinde sabit, diğerinde ise zaman içinde artan bir kazanç teriminin ( $R_m$ ) kullanımı olduğu görülmektedir. Bu çerçeve içinde, CLOS algılayıcıları kullanılarak BR güdümünün gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Gerçekçi CLOS güdümü (Realistic CLOS Guidance) olarak adlandırılacak bu güdüm yöntemi,

$$N_c(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_t(s) - \theta_m(s)) R_m(s) \quad (2.69)$$

olarak önerilmiştir [Özkazanç, 2000]. Bu güdüm yönteminde  $(\theta_t - \theta_m)$  verisinin CLOS algılayıcılarına uzaklığının ( $R_m$ ) ise ayrıca ölçülmeyi veya kestirim sonucu kullanılacağı varsayılmaktadır. Literatürde rapor edilmiş olmamasına karşın, bu yaklaşımın CLOS güdüm ile çalışan tank-savar füzelerinde kullanıldığı değerlendirilmektedir.

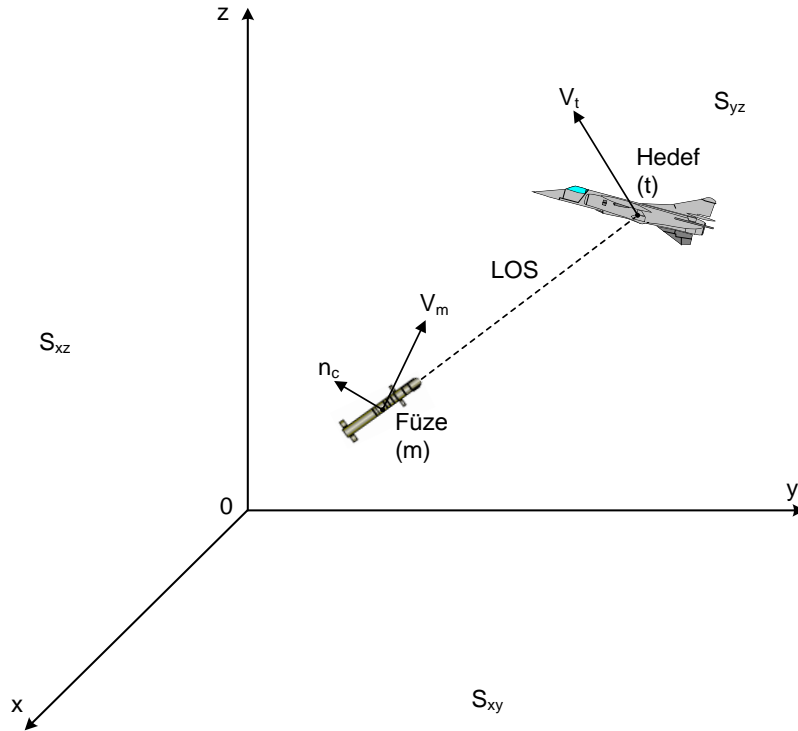
### 3. SONLANMA GÜDÜMÜNÜN ÜÇ BOYUTLU FORMÜLASYONLARI

Bu bölümde, daha önce iki boyutlu olarak incelenen güdüm algoritmaları üç boyuta genelleştirilmiştir. Güdümlü füze ile hedefin iki boyutlu angajman modelinde, sadece iki eksen olduğu için, füze-hedef angajmanının ifade edilebilmesi için sadece iki boyutlu bir tane düzlem yeterli olmaktadır. Ancak üç boyutlu füze-hedef angajman modelinde, iki eksen bulunduğu için üç boyutlu angajman formülasyonunda her biri iki boyutlu üç tane düzlemden yararlanılacaktır.

#### 3.1. Üç Boyutlu Füze-Hedef Angajmanı

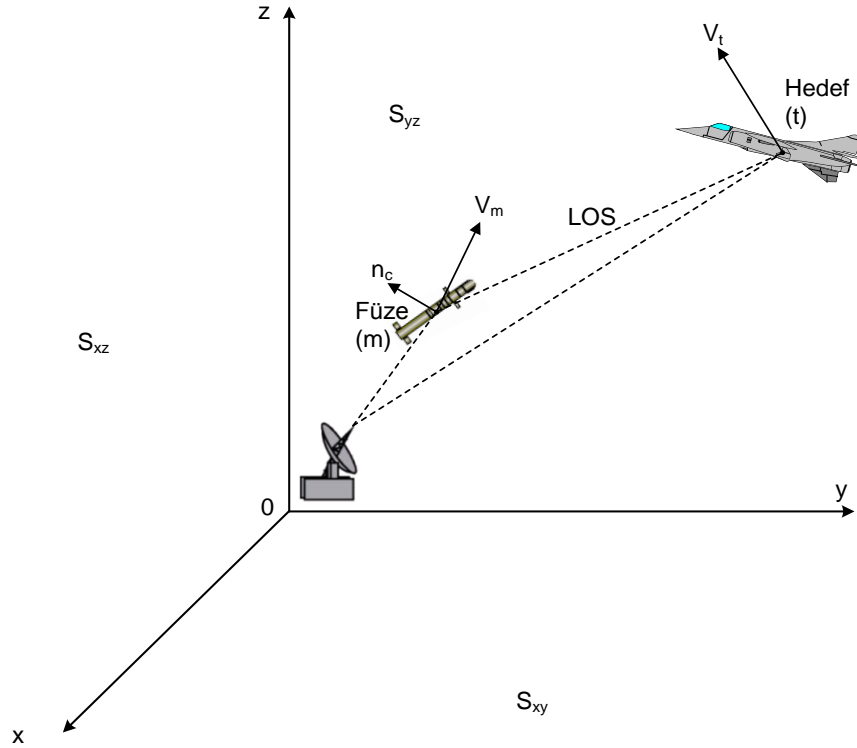
Üç boyutlu füze-hedef angajmanında, daha önce iki boyutlu füze-hedef angajmanında olduğu gibi füze ile hedef nokta parçacık olarak alınacak ve angajman iki boyutlu üç tane düzlemde modellenecektir. Üç boyutlu füze güdümü için yapılacak çalışmalarda, güdüm problemi, birbirine dik 3 tane iki boyutlu düzlem kullanılarak çözülecektir. Bu düzlemler, x-y eksenleri için  $S_{xy}$ ; x-z eksenleri için  $S_{xz}$ ; y-z eksenleri için ise  $S_{yz}$  olarak ifade edilecektir.

Şekil 3.1' de hedefini izleyen bir füze ile hedefi arasındaki üç boyutlu angajman gösterimi verilmiştir.



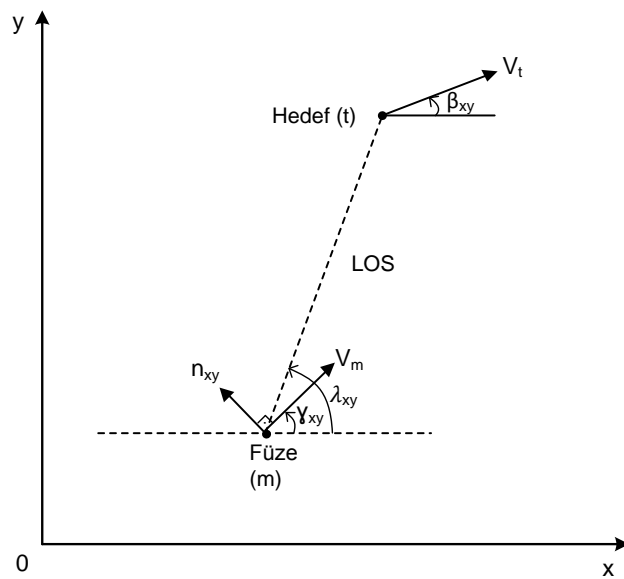
Şekil 3.1 Üç boyutlu füze-hedef angajmanı

Şekil 3.2’de ise harici bir kaynak tarafından aydınlatılan bir hedef ile füzenin üç boyutlu angajmanı gösterilmektedir.



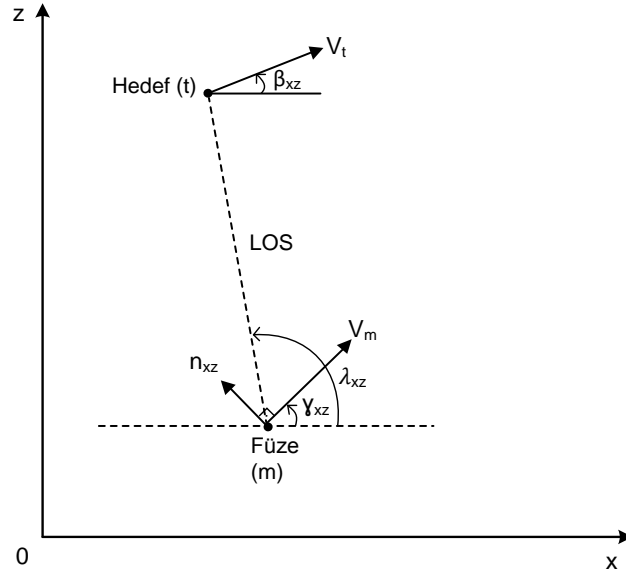
**Şekil 3.2** Harici kaynakla aydınlatılan hedef için füze-hedef üç boyutlu angajmanı

Şekil 3.3’de, x ile y eksenlerinin oluşturduğu  $S_{xy}$  düzlemi ve bu angajmanın bu düzlem üzerine izdüşümü gösterilmektedir.



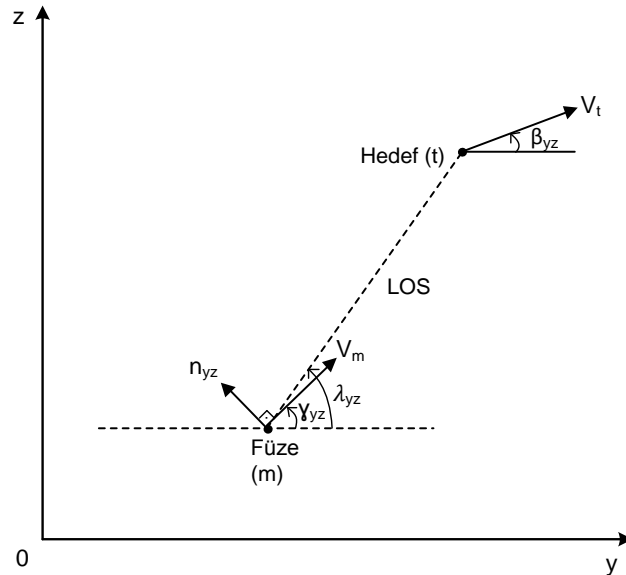
**Şekil 3.3**  $S_{xy}$  Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı

Şekil 3.4'de, x ile z eksenlerinin oluşturduğu  $S_{xz}$  düzlemi ve bu angajmanın bu düzlem üzerine izdüşümü gösterilmektedir.



**Şekil 3.4**  $S_{xz}$  Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı

Şekil 3.5'de, y ile z eksenlerinin oluşturduğu  $S_{yz}$  düzlemi ve bu angajmanın bu düzlem üzerine izdüşümü gösterilmektedir.



**Şekil 3.5**  $S_{yz}$  Düzlemindeki Füze-Hedef Angajmanı

Buradan hareketle her bir düzlem için ayrı güdüm denklemleri oluşturulacak ve her düzlemdeki denklemler, o düzleme adını veren koordinatların kısaltmalarını sonuna ek olarak olacaktır.

### 3.2. Üç Boyutlu Güdüm Formülasyonu için Genel Tanımlar

Taktik füze güdümü bölümünde tüm güdüm yöntemleri incelenirken, füze ve hedef, nokta parçacık olarak gösterilmiş ve iki boyutlu düzlem üzerinde modellenmişti. Bu bölümdeki çalışmalarımızda füze ile hedef yine nokta parçacık olarak tanımlanacak; ancak kullanılacak olan angajman modeli üç tane iki boyutlu düzlemde meydana gelecektir.

Aşağıda bu kısımda kullanılacak olan konum ile hız vektörleri ve bunların tanımları gösterilmektedir.

$(x_m, y_m, z_m)$  : Füze konum vektörü,

$(x_t, y_t, z_t)$  : Hedef konum vektörü,

$(v_{mx}, v_{my}, v_{mz})$  : Füze hız vektörü,

$(v_{tx}, v_{ty}, v_{tz})$  : Hedef hız vektörü.

İkinci bölümde güdümlü bir füze ile hedefi arasındaki iki boyutlu angajmanı ifade eden türevsel denklem Eşitlik 2.1' de gösterilmişti. Üç boyutlu füze-hedef angajmanını ifade eden türevsel denklem de yine aynı şekilde,

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (3.1)$$

olarak durum uzayında tanımlanacaktır.

Bu bölümde kullanılacak olan angajman modeli üç boyutlu olduğu için, iki boyutlu modele göre, modeldeki durum değişkenleri (state variable) sayısında değişiklik olacaktır.

Eşitlik 3.2' de üç boyutlu füze-hedef angajman modelinin durum değişkenleri,

$$x = \left[ x_m \quad y_m \quad z_m \quad x_t \quad y_t \quad z_t \quad v_{mx} \quad v_{my} \quad v_{mz} \quad v_{tx} \quad v_{ty} \quad v_{tz} \right]^T \quad (3.2)$$

ve kontrol girdileri vektörü,

$$u = [a_{mx} \ a_{my} \ a_{mz}]^T \quad (3.3)$$

olarak gösterilir.

Üç boyutlu angajman modelinde kullanılacak olan türevsel denklemler iki boyutlu modelde olduğu gibi, durum değişkenlerinin türevleri alınarak elde edilebilir. Bu türevsel denklemler,

$$\dot{x}_m = v_{mx} \quad (3.4)$$

$$\dot{y}_m = v_{my} \quad (3.5)$$

$$\dot{z}_m = v_{mz} \quad (3.6)$$

$$\dot{x}_t = v_{tx} \quad (3.7)$$

$$\dot{y}_t = v_{ty} \quad (3.8)$$

$$\dot{z}_t = v_{tz} \quad (3.9)$$

$$\dot{v}_{mx} = a_{mx} \quad (3.10)$$

$$\dot{v}_{my} = a_{my} \quad (3.11)$$

$$\dot{v}_{mz} = a_{mz} \quad (3.12)$$

$$\dot{v}_{tx} = a_{tx} \quad (3.13)$$

$$\dot{v}_{ty} = a_{ty} \quad (3.14)$$

$$\dot{v}_{tz} = a_{tz} \quad (3.15)$$

olarak gösterilir.

Füze hız vektörünün büyüklüğü,

$$v_m = \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2 + v_{mz}^2} \quad (3.16)$$

Hedef hız vektörünün büyüklüğü,



$$v_t = \sqrt{v_{tx}^2 + v_{ty}^2 + v_{tz}^2} \quad (3.17)$$

olarak gösterilecektir.

Füzenin tüm düzlemlerdeki uçuş hattı açıları, bir başka deyişle füze hız vektörleri ile yatay eksen arasında kalan açılar,

$$\gamma_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \quad (3.18)$$

$$\gamma_{xz} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \quad (3.19)$$

$$\gamma_{yz} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \quad (3.20)$$

olarak tanımlanmıştır.

Hedefin tüm düzlemlerdeki uçuş hattı açıları, bir başka deyişle hedef hız vektörleri ile yatay eksen arasında kalan açılar,

$$\beta_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{ty}}{v_{tx}} \right) \quad (3.21)$$

$$\beta_{xz} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{tz}}{v_{tx}} \right) \quad (3.22)$$

$$\beta_{yz} = \tan^{-1} \left( \frac{v_{tz}}{v_{ty}} \right) \quad (3.23)$$

olarak ifade edilecektir.

LOS açıları ya da diğer ifadesiyle, füze ile hedef arasındaki minimum uzaklığı sağlayan hattın yatay eksenle yaptığı açılar, her bir düzlem için,

$$\lambda_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) \quad (3.24)$$

$$\lambda_{xz} = \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) \quad (3.25)$$

$$\lambda_{yz} = \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) \quad (3.26)$$

olarak tanımlanır.

Füze ile hedef arasındaki mesafe,

$$R = \sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \quad (3.27)$$

olarak tanımlanacaktır.

Füze güdüm ivmeleri olan  $a_{mx}$ ,  $a_{my}$  ve  $a_{mz}$  bütün durum değişkenlerinin birer fonksiyonu

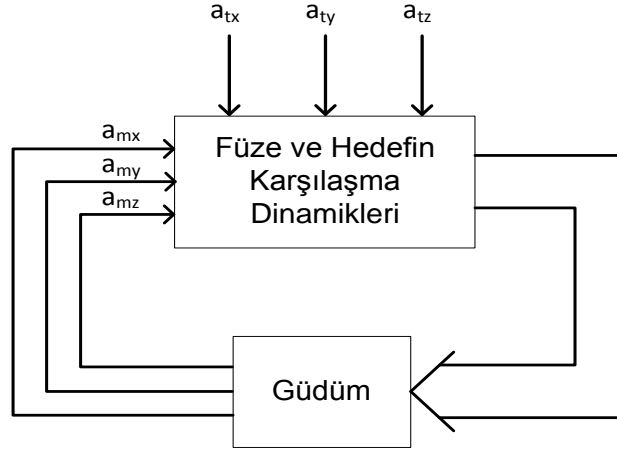
olarak gösterilebilir.

$$a_{mx} = f_1(x_m, y_m, z_m, x_t, y_t, z_t, v_{mx}, v_{my}, v_{mz}, v_{tx}, v_{ty}, v_{tz}) \quad (3.28)$$

$$a_{my} = f_1(x_m, y_m, z_m, x_t, y_t, z_t, v_{mx}, v_{my}, v_{mz}, v_{tx}, v_{ty}, v_{tz}) \quad (3.29)$$

$$a_{mz} = f_1(x_m, y_m, z_m, x_t, y_t, z_t, v_{mx}, v_{my}, v_{mz}, v_{tx}, v_{ty}, v_{tz}) \quad (3.30)$$

İkinci bölümde, füze ivmeleri  $a_{mx}$  ve  $a_{my}$  sistemin kontrol girdileri ve hedef ivmeleri olan  $a_{tx}$  ve  $a_{ty}$  ise sisteme dışardan giren bozan etken olarak düşünülebileceği söylenmişti. Bu kısımda da aynı durum geçerli olacaktır. Sadece sistem girdi sayısı ile bozucu etken giriş sayısı 2'den 3'e çıkmaktadır. Üç boyutlu füze-hedef angajman modelinin sistem girdileri Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



**Şekil 3.6** Üç Boyutlu Angajman Modeli

### 3.2.1. Kontrol Yöntemi

Bir füzeye uygulanan toplam ivmeye füze komuta ivmesi denilir ve bu terim  $n_c$  değişkeni ile ifade edilebilir. Komuta ivmesi  $n_c$ , üç boyutlu angajman modelinde,

$$n_c = \sqrt{a_{mx}^2 + a_{my}^2 + a_{mz}^2} \quad (3.31)$$

olarak ifade edilir.

Yalın kontrol ile kontrolü gerçekleştirilen bir füzenin x, y ve z yönlerindeki füze ivmeleri Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5' den faydalanılarak elde edilmektedir. Her bir yöndeki füze ivmesi, aynı eksenli paylaşan iki düzlemden gelen katkıyla elde edilir. Yalın kontrol yöntemi için, x, y ve z yönlerindeki füze ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\gamma_{xy}) - n_{xz} \sin(\gamma_{xz}) \quad (3.32)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\gamma_{xy}) - n_{yz} \sin(\gamma_{yz}) \quad (3.33)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\gamma_{xz}) + n_{yz} \cos(\gamma_{yz}) \quad (3.34)$$

olarak tanımlanırlar.

Gerçek kontrol ile kontrolü gerçekleştirilen bir füzenin x, y ve z yönlerindeki füze ivmeleri Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5' den faydalanılarak elde edilmektedir. Her bir yöndeki füze ivmesi, aynı eksenli paylaşan iki düzlemden gelen katkıyla elde edilir. Gerçek kontrol yöntemi için, x, y ve z yönlerindeki füze ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\lambda_{xy}) - n_{xz} \sin(\lambda_{xz}) \quad (3.35)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\lambda_{xy}) - n_{yz} \sin(\lambda_{yz}) \quad (3.36)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\lambda_{xz}) + n_{yz} \cos(\lambda_{yz}) \quad (3.37)$$

olarak tanımlanırlar [Moran, 2005].

### 3.3. GÜDÜM YÖNTEMLERİNİN ÜÇ BOYUTLU FORMÜLASYONU

Taktik füze güdümünün temelleri bölümünde bütün güdüm yöntemleri sırasıyla incelenmiş, her bir yöntemdeki denklemlerin iki boyutlu füze-hedef angajmanına göre ifadeleri gösterilmiştir. Bu kısımda yapılacak çalışmalarda ise tüm güdüm metotlarının üç boyutlu angajmandaki ifadeleri; başka bir deyişle,  $S_{xy}$   $S_{xz}$   $S_{yz}$  düzlemlerindeki ifadeleri gösterilecektir.

#### 3.3.1. 3B Oransal Seyir GÜDÜMÜ

Üç boyutlu füze-hedef angajmanında oransal seyir güdüm denklemleri,  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemleri için,

$$n_{xy} = NV_{xy} \dot{\lambda}_{xy} \quad (3.38)$$

$$n_{xz} = NV_{xz} \dot{\lambda}_{xz} \quad (3.39)$$

$$n_{yz} = NV_{yz} \dot{\lambda}_{yz} \quad (3.40)$$

olarak tanımlanacaktır.

Füze ile hedef arasındaki  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki mesafelerin kapanma hızları (closing velocity),

$$V_{xy} = -\frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \quad (3.41)$$

$$V_{xz} = -\frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \quad (3.42)$$

$$V_{yz} = -\frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \quad (3.43)$$

olarak ifade edilir.

Her bir düzlemdeki LOS' un zamanla değişimi,

$$\dot{\lambda}_{xy} = \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \quad (3.44)$$

$$\dot{\lambda}_{xz} = \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \quad (3.45)$$

$$\dot{\lambda}_{yz} = \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \quad (3.46)$$

olarak gösterilir.

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin son halleri ise

$$n_{xy} = -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \right) \quad (3.47)$$

$$n_{xz} = -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \quad (3.48)$$

$$n_{yz} = -N \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \times \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \quad (3.49)$$

olarak elde edilirler.

Yalın kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri, Eşitlik 3.32, 3.33 ve 3.34' den faydalanılarak

$$\begin{aligned}
 a_{mx} = & N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \right) \sin(\gamma_{xy}) \\
 & + N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \sin(\gamma_{xz})
 \end{aligned} \tag{3.50}$$

$$\begin{aligned}
 a_{my} = & -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \right) \cos(\gamma_{xy}) \\
 & + N \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \sin(\gamma_{yz})
 \end{aligned} \tag{3.51}$$

$$\begin{aligned}
 a_{mz} = & -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \cos(\gamma_{xz}) \\
 & - N \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
 & \times \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \cos(\gamma_{yz})
 \end{aligned} \tag{3.52}$$

olarak elde edilir. Uçuş hattı açıları için Eşitlik 3.18, 3.19 ve 3.20 kullanılırsa, bu denklemler füzeye üç yönde uygulanacak olan güdüm ivmelerini durum

değişkenlerinin fonksiyonu olarak tanımlayacaktır. Yalın kontrolün özelliği, bu şekilde uygulanan ivme vektörünün her zaman füze hız vektörüne dik olması ve dolayısı ile füze hızının büyüklüğünü değiştirmemesidir.

Gerçek kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri ise,

$$\begin{aligned}
a_{mx} = & N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \right) \sin(\lambda_{xy}) \\
& + N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \sin(\lambda_{xz})
\end{aligned} \tag{3.53}$$

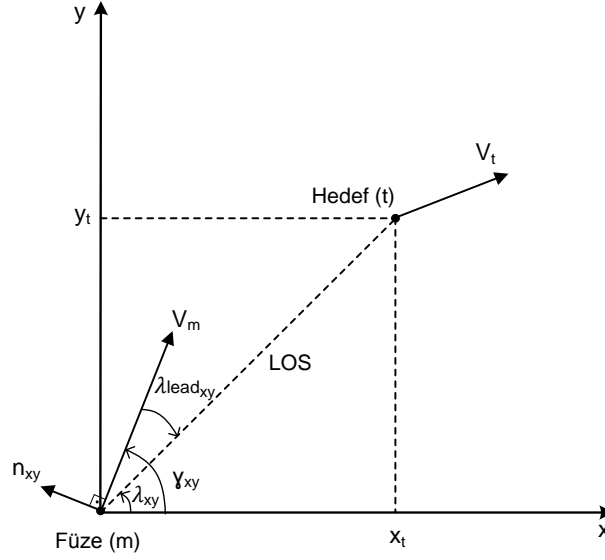
$$\begin{aligned}
a_{my} = & -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{ty} - v_{my}) - (y_t - y_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2} \right) \cos(\lambda_{xy}) \\
& + N \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \sin(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.54}$$

$$\begin{aligned}
a_{mz} = & -N \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tx} - v_{mx}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(x_t - x_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{tx} - v_{mx})}{(x_t - x_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \cos(\lambda_{xz}) \\
& - N \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{ty} - v_{my}) + (z_t - z_m)(v_{tz} - v_{mz})}{\sqrt{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}} \right) \\
& \times \left( \frac{(y_t - y_m)(v_{tz} - v_{mz}) - (z_t - z_m)(v_{ty} - v_{my})}{(y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2} \right) \cos(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.55}$$

olarak ifade edilir.

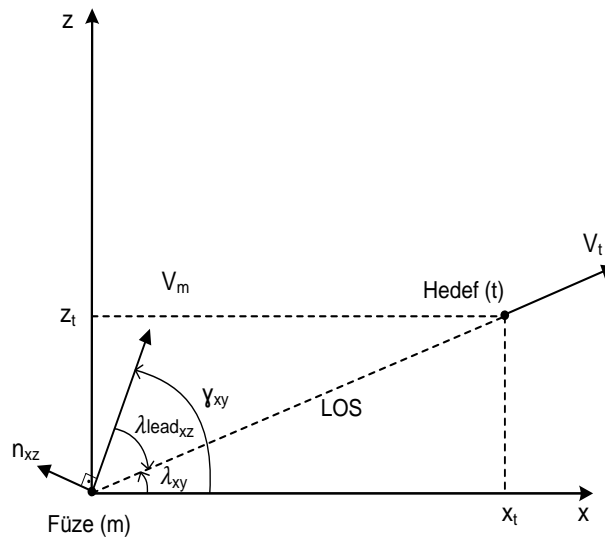
### 3.3.2. 3B Takip Güdümü

Œekil 3.7'de  $S_{xy}$  düzleminde takip güdümü için kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterimi yer almaktadır.



**Œekil 3.7** Takip güdümü için  $S_{xy}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı

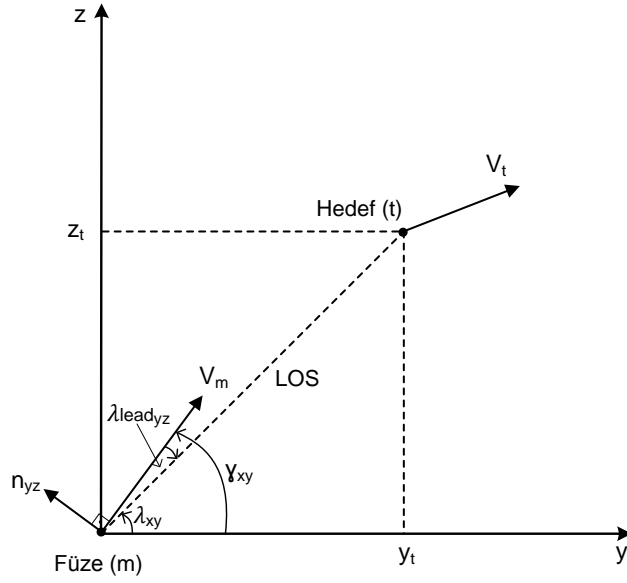
Œekil 3.8'de  $S_{xz}$  düzleminde takip güdümü için kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterilmektedir.



**Œekil 3.8** Takip güdümü için  $S_{xz}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı



Aşağıdaki şekilde  $S_{xz}$  düzleminde takip güdümü için kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterilmektedir.



**Şekil 3.9** Takip güdümü için  $S_{yz}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı

Her bir düzlemdeki öndelik açıları,

$$\lambda_{lead_{xy}} = (\lambda_{xy} - \gamma_{xy}) \quad (3.56)$$

$$\lambda_{lead_{xz}} = (\lambda_{xz} - \gamma_{xz}) \quad (3.57)$$

$$\lambda_{lead_{yz}} = (\lambda_{yz} - \gamma_{yz}) \quad (3.58)$$

olarak ifade edilirler.

Takip güdümü için  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki komuta ivmeleri ise,

$$n_{xy} = K(\lambda_{xy} - \gamma_{xy}) \quad (3.59)$$

$$n_{xz} = K(\lambda_{xz} - \gamma_{xz}) \quad (3.60)$$

$$n_{yz} = K(\lambda_{yz} - \gamma_{yz}) \quad (3.61)$$

olarak tanımlanır.

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin son halleri,

$$n_{xy} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \quad (3.62)$$

$$n_{xz} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \right) \quad (3.63)$$

$$n_{yz} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \right) \quad (3.64)$$

olarak gösterilirler.

Yalın kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$\begin{aligned} a_{mx} = & -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\gamma_{xy}) \\ & -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\gamma_{xz}) \end{aligned} \quad (3.65)$$

$$\begin{aligned} a_{my} = & K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\gamma_{xy}) \\ & -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \right) \sin(\gamma_{yz}) \end{aligned} \quad (3.66)$$

$$\begin{aligned} a_{mz} = & K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\gamma_{xz}) \\ & +K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \right) \cos(\gamma_{yz}) \end{aligned} \quad (3.67)$$

olarak elde edilir.

Gerçek kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\lambda_{xy})$$

$$-K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \right) \sin(\lambda_{xz}) \quad (3.68)$$

$$a_{my} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t - y_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{my}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\lambda_{xy})$$

$$-K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \right) \sin(\lambda_{yz}) \quad (3.69)$$

$$a_{mz} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{x_t - x_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{mx}} \right) \right) \cos(\lambda_{xz})$$

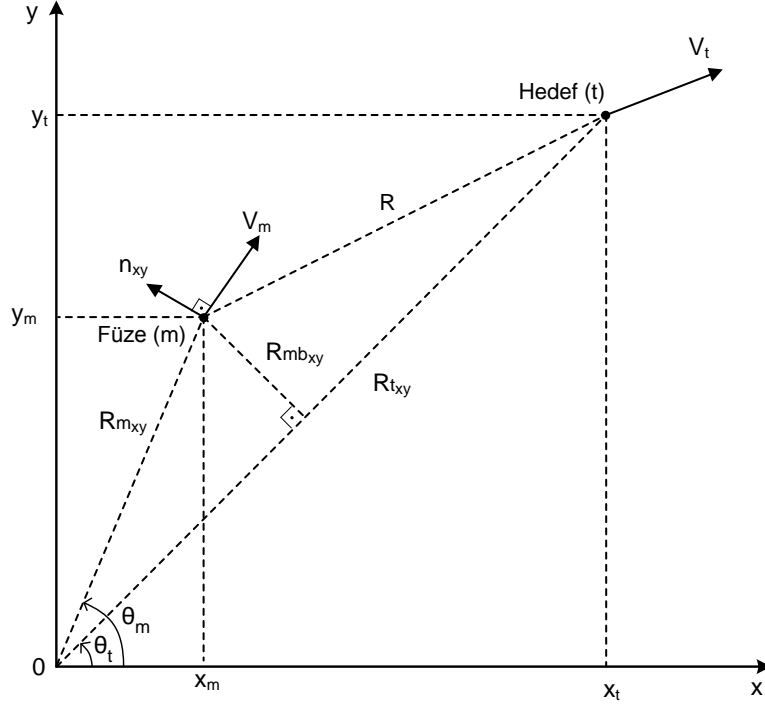
$$+K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t - z_m}{y_t - y_m} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{v_{mz}}{v_{my}} \right) \right) \cos(\lambda_{yz}) \quad (3.70)$$

olarak ifade edilir.

### 3.3.3. 3B Görüş Hattı Güdümü

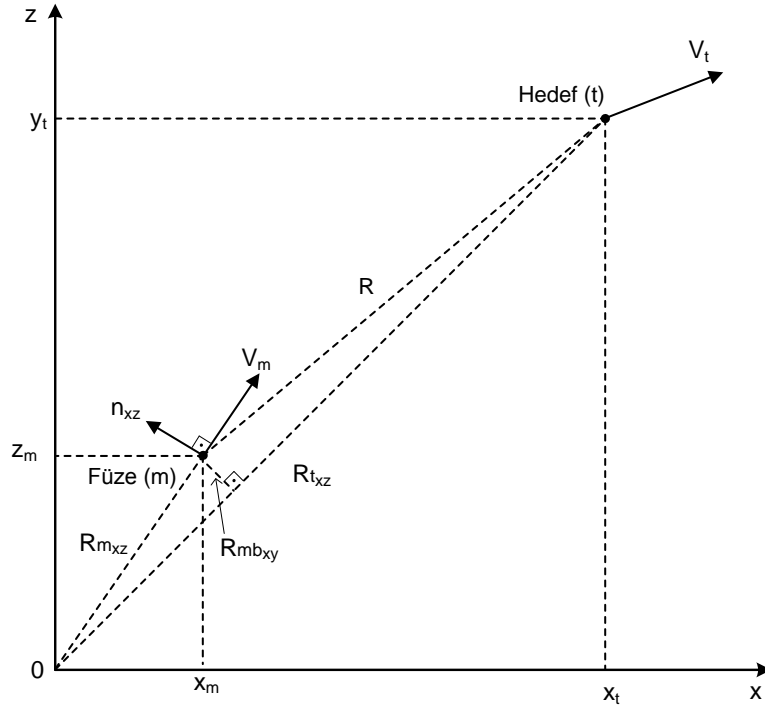
Daha önce bahsedildiği üzere, görüş hattı güdümü, komuta kontrollü görüş hattı güdümü ve ışın izleme güdümü yöntemlerini kapsayan genel yöntemin adıdır. Bu bölümde, önce bu iki görüş hattı güdüm yöntemi için ortak olarak kullanılacak olan  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$ ,  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze-hedef angajmanları ifade edilecektir.

Şekil 3.10' da  $S_{xy}$  düzleminde görüş hattı güdüm yönteminde kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterilmektedir.



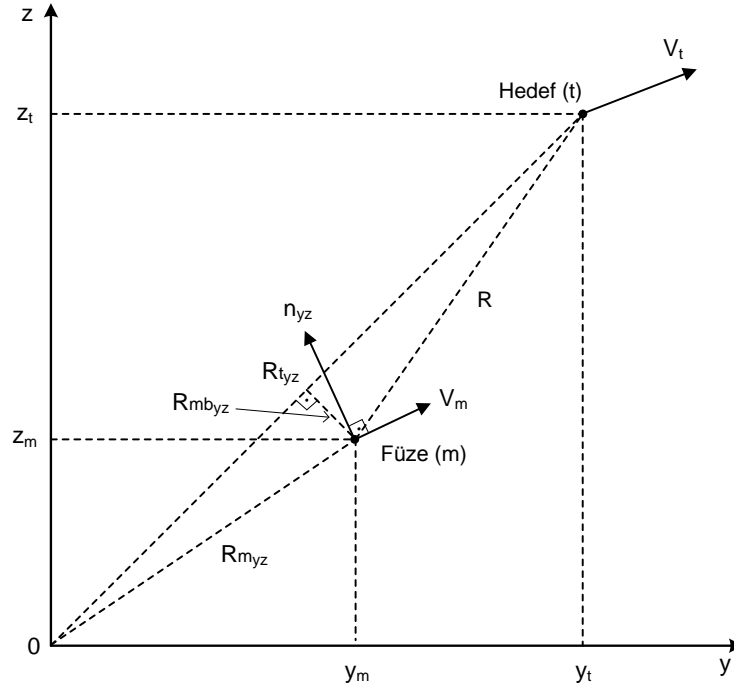
**Şekil 3.10** Görüş hattı güdümü için  $S_{xy}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı

Şekil 3.11'de,  $S_{xz}$  düzleminde görüş hattı güdüm yönteminde kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterilmektedir.



**Şekil 3.11** Görüş hattı güdümü için  $S_{xz}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı

Aşağıdaki şekilde  $S_{yz}$  düzleminde görüş hattı güdüm yönteminde kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterilmektedir.



**Şekil 3.12** Görüş hattı güdümü için  $S_{yz}$  düzlemindeki füze-hedef angajmanı

### 3.3.3.1. 3B Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

Füzeyi aydınlatan ışının  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerinde yatay eksenle yaptığı açılar,

$$\theta_{m_{xy}} = \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \quad (3.71)$$

$$\theta_{m_{xz}} = \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \quad (3.72)$$

$$\theta_{m_{yz}} = \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \quad (3.73)$$

Hedefi aydınlatan ışının  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerinde yatay eksenle yaptığı açılar,

$$\theta_{t_{xy}} = \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) \quad (3.74)$$

$$\theta_{t_{xz}} = \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) \quad (3.75)$$

$$\theta_{t_{yz}} = \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) \quad (3.76)$$

olarak tanımlanmıştır.

Komuta kontrollü görüş hattı güdümü için  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmeleri,

$$nc_{xy} = K(\theta_{t_{xy}} - \theta_{m_{xy}}) \quad (3.77)$$

$$nc_{xz} = K(\theta_{t_{xz}} - \theta_{m_{xz}}) \quad (3.78)$$

$$nc_{yz} = K(\theta_{t_{yz}} - \theta_{m_{yz}}) \quad (3.79)$$

olarak tanımlanır.

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin son halleri,

$$n_{xy} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \quad (3.80)$$

$$n_{xz} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \right) \quad (3.81)$$

$$n_{yz} = K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \right) \quad (3.82)$$

olarak ifade edilirler.

Yalın kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \sin(\gamma_{xy}) \\ - K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \right) \sin(\gamma_{xz}) \quad (3.83)$$

$$\begin{aligned}
a_{my} &= K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \cos(\gamma_{xy}) \\
&\quad - K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \right) \sin(\gamma_{yz})
\end{aligned} \tag{3.84}$$

$$\begin{aligned}
a_{mz} &= K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \right) \cos(\gamma_{xz}) \\
&\quad + K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \right) \cos(\gamma_{yz})
\end{aligned} \tag{3.85}$$

olarak elde edilir.

Gerçek kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$\begin{aligned}
a_{mx} &= -K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \sin(\lambda_{xy}) \\
&\quad - K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \right) \sin(\lambda_{xz})
\end{aligned} \tag{3.86}$$

$$\begin{aligned}
a_{my} &= K \left( \tan^{-1} \left( \frac{y_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{y_m}{x_m} \right) \right) \cos(\lambda_{xy}) \\
&\quad - K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \right) \sin(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.87}$$

$$\begin{aligned}
a_{mz} &= K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{x_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{x_m} \right) \right) \cos(\lambda_{xz}) \\
&\quad + K \left( \tan^{-1} \left( \frac{z_t}{y_t} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{z_m}{y_m} \right) \right) \cos(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.88}$$

olarak ifade edilir.

### 3.3.3.2. 3B Işın İzleme Güdümü

Füzenin  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerine göre izleme istasyonundan olan uzaklıkları,

$$R_{m_{xy}} = \sqrt{x_m^2 + y_m^2} \quad (3.89)$$

$$R_{m_{xz}} = \sqrt{x_m^2 + z_m^2} \quad (3.90)$$

$$R_{m_{yz}} = \sqrt{y_m^2 + z_m^2} \quad (3.91)$$

olarak tanımlanır.

Hedefin  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerine göre izleme istasyonundan olan uzaklıkları,

$$R_{t_{xy}} = \sqrt{x_t^2 + y_t^2} \quad (3.92)$$

$$R_{t_{xz}} = \sqrt{x_t^2 + z_t^2} \quad (3.93)$$

$$R_{t_{yz}} = \sqrt{y_t^2 + z_t^2} \quad (3.94)$$

olarak tanımlanır.

İzleme istasyonundan hedefe olan görüş hattı ile füzenin arasındaki mesafe değeri  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerinde,

$$R_{mb_{xy}} = R_{m_{xy}} \sin(\theta_{t_{xy}} - \theta_{m_{xy}}) \quad (3.95)$$

$$R_{mb_{xz}} = R_{m_{xz}} \sin(\theta_{t_{xz}} - \theta_{m_{xz}}) \quad (3.96)$$

$$R_{mb_{yz}} = R_{m_{yz}} \sin(\theta_{t_{yz}} - \theta_{m_{yz}}) \quad (3.97)$$

olarak ifade edilirler.



Işın izleme güdümü için  $S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki komuta ivmeleri,

$$nc_{xy} = KRmb_{xy} \quad (3.98)$$

$$nc_{xz} = KRmb_{xz} \quad (3.99)$$

$$nc_{yz} = KRmb_{yz} \quad (3.100)$$

olarak tanımlanabilir.

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin son halleri,

$$n_{xy} = K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \quad (3.101)$$

$$n_{xz} = K\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \quad (3.102)$$

$$n_{yz} = K\sqrt{y_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \quad (3.103)$$

olarak elde edilirler.

Yalın kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \sin(\gamma_{xy}) \\ - K\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \sin(\gamma_{xz}) \quad (3.104)$$

$$a_{my} = K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \cos(\gamma_{xy}) \\ - K\sqrt{y_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \sin(\gamma_{yz}) \quad (3.105)$$

$$\begin{aligned}
a_{mz} &= K\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \cos(\gamma_{xz}) \\
&+ K\sqrt{y_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \cos(\gamma_{yz})
\end{aligned} \tag{3.106}$$

olarak elde edilirler.

Gerçek kontrol uygulayan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$\begin{aligned}
a_{mx} &= -K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \sin(\lambda_{xy}) \\
&- K\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \sin(\lambda_{xz})
\end{aligned} \tag{3.107}$$

$$\begin{aligned}
a_{my} &= K\sqrt{x_m^2 + y_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \cos(\lambda_{xy}) \\
&- K\sqrt{y_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \sin(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.108}$$

$$\begin{aligned}
a_{mz} &= K\sqrt{x_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \cos(\lambda_{xz}) \\
&+ K\sqrt{y_m^2 + z_m^2} \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \cos(\lambda_{yz})
\end{aligned} \tag{3.109}$$

olarak ifade edilir.

### 3.3.4. 3B Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmeleri frekans uzamında,

$$N_{xy}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{txy}(s) - \theta_{mxy}(s)) \tag{3.110}$$

$$N_{xz}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{txz}(s) - \theta_{mxz}(s)) \tag{3.111}$$

$$N_{yz}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{tyz}(s) - \theta_{myz}(s)) \quad (3.112)$$

olarak tanımlanmıştır.

Yalın kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\gamma_{xy}) - n_{xz} \sin(\gamma_{xz}) \quad (3.113)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\gamma_{xy}) - n_{yz} \sin(\gamma_{yz}) \quad (3.114)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\gamma_{xz}) + n_{yz} \cos(\gamma_{yz}) \quad (3.115)$$

olarak elde edilirler.

Gerçek kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\lambda_{xy}) - n_{xz} \sin(\lambda_{xz}) \quad (3.116)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\lambda_{xy}) - n_{yz} \sin(\lambda_{yz}) \quad (3.117)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\lambda_{xz}) + n_{yz} \cos(\lambda_{yz}) \quad (3.118)$$

olarak ifade edilir.

### 3.3.5. 3B Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü

$S_{xy}$ ,  $S_{xz}$  ve  $S_{yz}$  düzlemlerindeki füze komuta ivmeleri frekans düzleminde,

$$N_{xy}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{txy}(s) - \theta_{mxy}(s)) R_{mxy}(s) \quad (3.119)$$

$$N_{xz}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{txz}(s) - \theta_{mxz}(s)) R_{mxz}(s) \quad (3.120)$$

$$N_{yz}(s) = \left[ \frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1} \right] (\theta_{tyz}(s) - \theta_{myz}(s)) R_{myz}(s) \quad (3.121)$$

olarak tanımlanmıştır.

Yalın kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x, y ve z yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\gamma_{xy}) - n_{xz} \sin(\gamma_{xz}) \quad (3.122)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\gamma_{xy}) - n_{yz} \sin(\gamma_{yz}) \quad (3.123)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\gamma_{xz}) + n_{yz} \cos(\gamma_{yz}) \quad (3.124)$$

olarak elde edilirler.

Gerçek kontrol yöntemi kullanan bir füzenin x ve y yönlerindeki ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy} \sin(\lambda_{xy}) - n_{xz} \sin(\lambda_{xz}) \quad (3.125)$$

$$a_{my} = n_{xy} \cos(\lambda_{xy}) - n_{yz} \sin(\lambda_{yz}) \quad (3.126)$$

$$a_{mz} = n_{xz} \cos(\lambda_{xz}) + n_{yz} \cos(\lambda_{yz}) \quad (3.127)$$

olarak ifade edilir.

## 4. DOĞRUSAL-OLMAYAN BENZETİM ANALİZLERİ

### 4.1. Üç Boyutlu Benzetim Çalışmaları

Bu kısımda yapılacak çalışmalarda, daha önce tanımı yapılmış olan, oransal seyir güdümü, takip güdümü, komuta kontrollü görüş hattı güdümü, ışın izleme güdümü, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü ve düzeltilmiş ışın izleme güdümü yöntemlerinin üç boyutlu benzetim çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan benzetim çalışmalarında, farklı senaryolar denenmiş, her bir güdüm yönteminin, her bir senaryodaki performansı belirlenmiştir. Böylece hangi senaryoda, hangi yöntemin daha güçlü olduğu ortaya çıkarılmıştır. Benzetim çalışmaları sonrasında, güdüm yöntemlerinin performansları incelenirken, sapma mesafesi esas alınmıştır.

Bahsedilen güdüm yöntemlerinin performansları incelenirken, aşağıda gösterilen senaryolar kullanılacaktır.

- Hareketsiz hedef senaryosu
- Sabit hızlı hedef senaryosu
- Sabit ivmeli hedef senaryosu
- Fıçı dönüşü (barrel roll) manevrası yapan hedef senaryosu

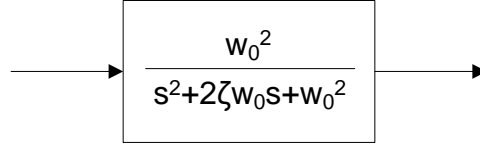
Yukarıda gösterilen senaryo isimlerinden de anlaşılacağı üzere, senaryolarda belirleyici olan ölçüt hedefin hareket tipidir. Tüm senaryolarda yalın kontrol uygulandığı varsayılmıştır.

#### 4.1.1. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Modellemeler

Üç boyutlu güdüm probleminin daha gerçekçi çözülmesi ve elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından, yapılan füze modellemesinin olabildiğince gerçeğe yakın olması gerekmektedir. Bu kısımda, benzetim çalışmalarında kullanılabilecek olan füze bileşenlerinden bazılarının modellenmesinden bahsedilecektir. Bu bölümde, generik arayıcı ve aerodinamik yapı ile kanatçıkları süren servoların (airframe+servo) nasıl modellenebileceği gösterilmektedir. Ayrıca, benzetim çalışmaları esnasında füzenin ve güdüm probleminin gerçekçiliği açısından,

füzeye her bir yönde uygulanan ivme değeri maksimum bir değer ile sınırlandırılmıştır.

Şekil 3.13' de arayıcı ve aerodinamik yapı + servo modeli için kullanılabilecek olan aktarım işlevi (transfer function) gösterilmektedir.



**Şekil 4.1** Arayıcı ve aerodinamik yapı + servo modeli için kullanılan model

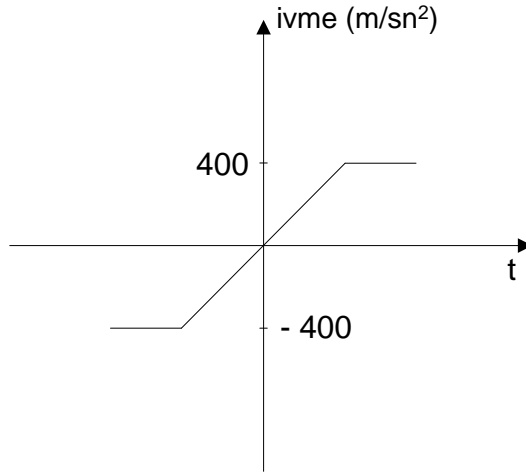
Şekil 4.1' de arayıcı ve aerodinamik yapı + servo modeli için kullanılabilecek olan model gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere bu model, 2. dereceden doğrusal bir sistemdir. Şekil 4.1' de gösterilen 2. dereceden sistemdeki parametreler,

$w_0$  : Sönümlenmemiş doğal frekans (undamped natural frequency)

$\zeta$  : Sönüm oranı (damping ratio)

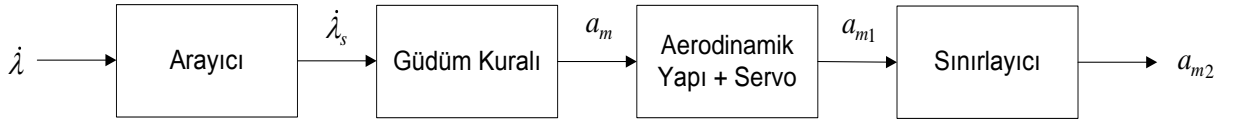
olarak tanımlanırlar [Ogata, 1997.].

Şekil 4.2' de, füze modelinin gerçekçi olması açısından gerekli olan sınırlayıcı (limiter) modeli gösterilmektedir. Benzetim çalışmaları esnasında, füze modelinin her bir kanalı (x,y ve z), maksimum  $400 \text{ m/sn}^2$  ivme değeri çekebilecek şekilde sınırlandırılmıştır. Şekil 4.2' de her bir ivme kanalından çekilen ivmeyi kısıtlamak için kullanılan sınırlayıcı (limiter) modeli gösterilmektedir.



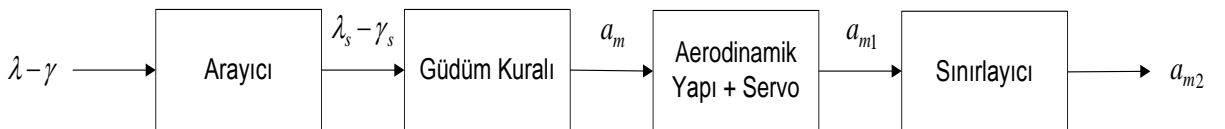
**Şekil 4.2** Her bir ivme kanalında kullanılan sınırlayıcı

Şekil 4.3' de oransal seyir güdüm yapan füzenin her bir ivme kanalında kullanılacak olan arayıcı, aerodinamik yapı+servo modeli ve sınırlayıcı modelinin güdüm kuralını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



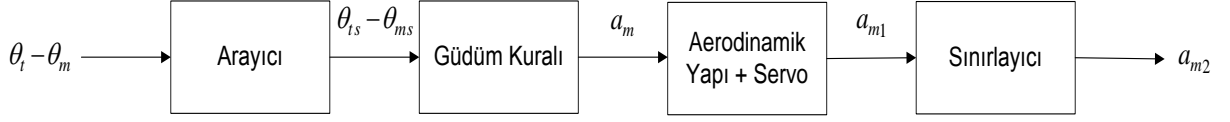
**Şekil 4.3** PN için modellemeler

Şekil 4.4' de takip güdümü yapan füzenin her bir ivme kanalında kullanılacak olan arayıcı, aerodinamik yapı+servo modeli ve sınırlayıcı modelinin güdüm kuralını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



**Şekil 4.4** PG için modellemeler

Şekil 4.5' de komuta kontrollü görüş hattı güdümü, ışın izleme güdümü, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü ve düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füzenin her bir ivme kanalında kullanılacak olan arayıcı, aerodinamik yapı+servo modeli ve sınırlayıcı modelinin güdüm kuralını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



**Şekil 4.5** CLOS, BR, MCLOS ve MBR için modellemeler

Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5' de gösterilen parametreler,

$\dot{\lambda}$  : Görüş hattı açısının zamanla değişimi,

$\dot{\lambda}_s$  : Algılayıcı tarafından ölçülen görüş hattı açısının zamanla değişimi,

$\lambda - \gamma$  : Öndelik açısı,

$\lambda_s - \gamma_s$  : Algılayıcı tarafından ölçülen öndelik açısı,

$\theta_t - \theta_m$  : Hedefin yatayla yaptığı açı ile füzenin yatayla yaptığı açılarının farkı,

$\theta_{ts} - \theta_{ms}$  : Algılayıcı tarafından ölçülen hedefin yatayla yaptığı açı ile füzenin yatayla yaptığı açının farkı

$a_m$  : Güdüm kuralı kullanılarak elde edilen füze ivmesi,

$a_{m1}$  : Füze aerodinamik yapısı ve servolara giden füze ivmesi,

$a_{m2}$  : Sınırlayıcı sonrasında elde edilen ve güdüm ivmesi olarak kullanılacak olan ivme değeri,

olarak tanımlanırlar.



Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5' de tüm güdüm yöntemleri için benzetim çalışmaları esnasında kullanılacak olan modellemelerin öbekleri gösterilmiştir. Tüm yöntemler için, arayıcı girişindeki değerler, güdüm yöntemlerinde kullanılan açı değerleridir. Ancak algılayıcılar bu açı değerini Şekil 4.1' de gösterilen 2. dereceden sistemden geçirilmiş şekilde ölçerler. Dolayısıyla güdüm kuralının oluşturulması sırasında algılayıcı tarafından ölçülen değerler kullanılır. Kullanılan güdüm kuralına göre füze ivme değeri üretilir. Bu değer yine Şekil 4.1' de gösterilen 2. dereceden sisteme giriş olarak verilmesi ile sistem çıkışında elde edilen değer ise aerodinamik yapı ve servolara gidecek olan ivme değeri olarak bulunmuş olur. Son olarak güdüm ivmesi olarak kullanılacak olan ivme değeri maksimum değer ile sınırlandırılarak oluşturulmuş olur.

#### 4.1.2. Hareketsiz Hedef Senaryosu

Bu senaryoda, hedef, belirli bir konumda hareketsiz olarak bulunmaktadır. Füze ise yine belirli bir konumdan ilk hız ve ivmesi sıfır olacak şekilde hedefe yönelmeye çalışacaktır.

Aşağıda hareketsiz hedef senaryosu gösterilmektedir.

Senaryo:

Füze:

$$a_{mx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{my} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{mz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

Hedef:

$$a_{tx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{ty} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{tz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

Aşağıda bu senaryo için kullanılacak olan başlangıç koşulları gösterilmektedir.

İlk Koşullar:

Füze:

$$X_m = 0 \text{ m}$$

$$Y_m = 0 \text{ m}$$

$$Z_m = 0 \text{ m}$$

Hedef:

$$X_t = 2000 \text{ m}$$

$$Y_t = 2000 \text{ m}$$

$$Z_t = 0 \text{ m}$$

$$V_{mx} = 120 \text{ m/s} \quad V_{tx} = 0 \text{ m/s}$$

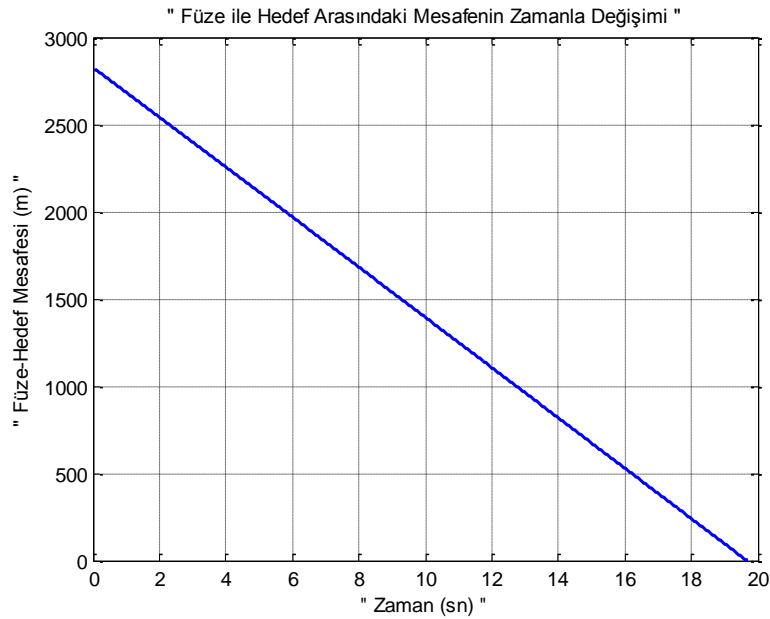
$$V_{my} = 80 \text{ m/s} \quad V_{ty} = 0 \text{ m/s}$$

$$V_{mz} = 0 \text{ m/s} \quad V_{tz} = 0 \text{ m/s}$$

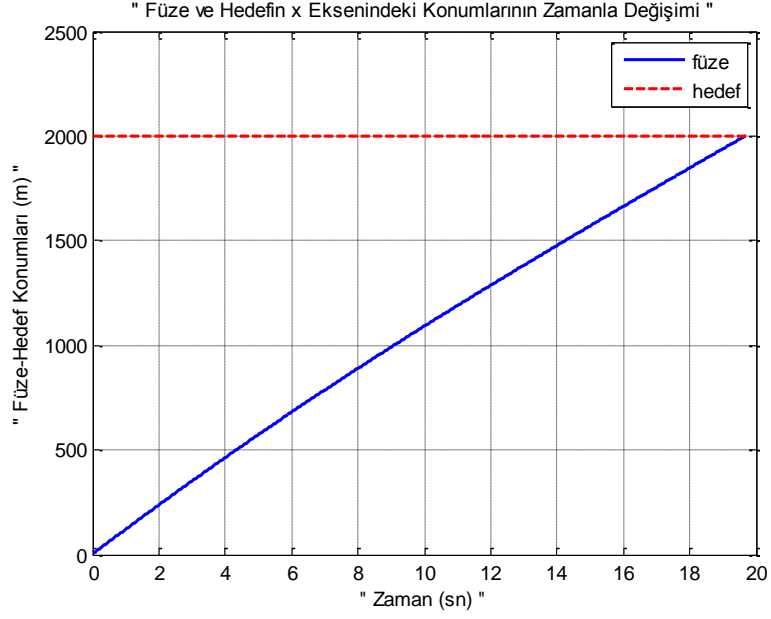
#### 4.1.2.1. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Oransal Seyir GÜdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için oransal seyir güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

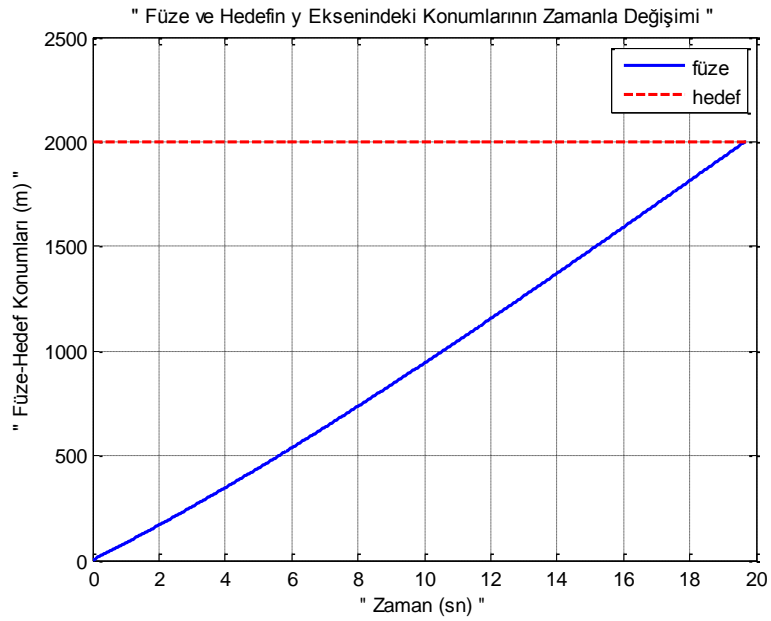
Benzetim çalışması sırasında oransal güdüm sabiti  $N=3$  alınmıştır.



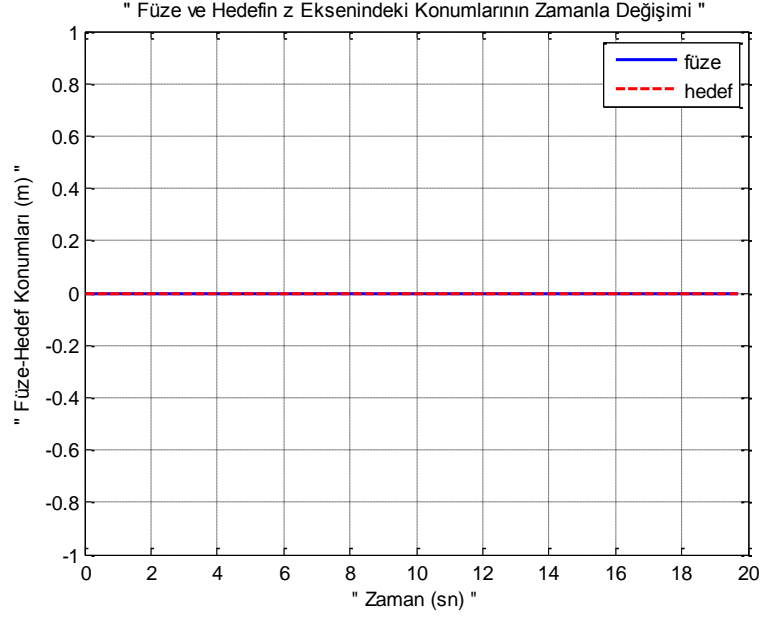
**Şekil 4.6** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



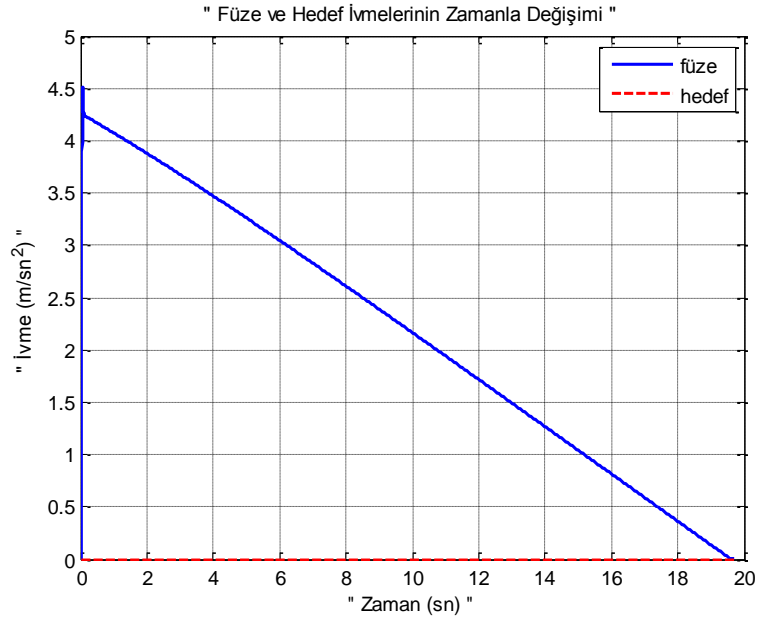
**Şekil 4.7** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



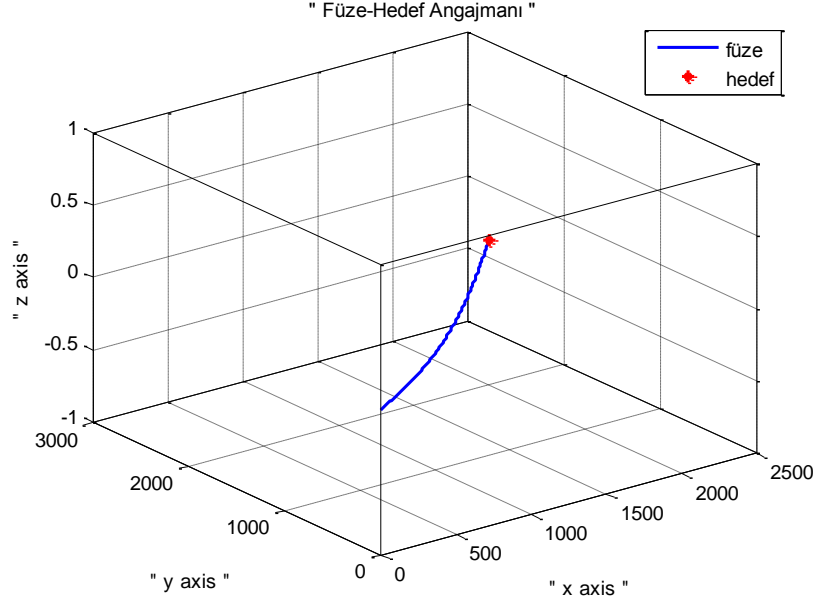
**Şekil 4.8** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



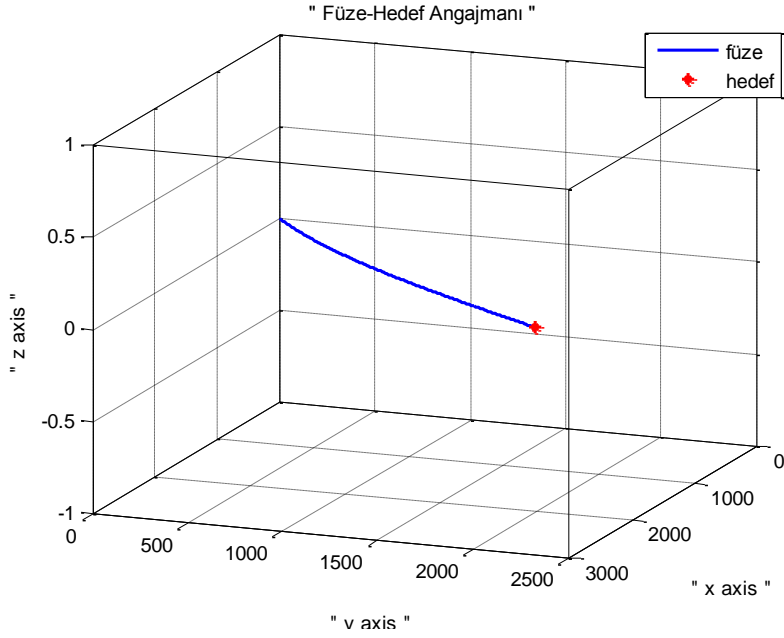
**Şekil 4.9** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yöntemi yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.10** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.11** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

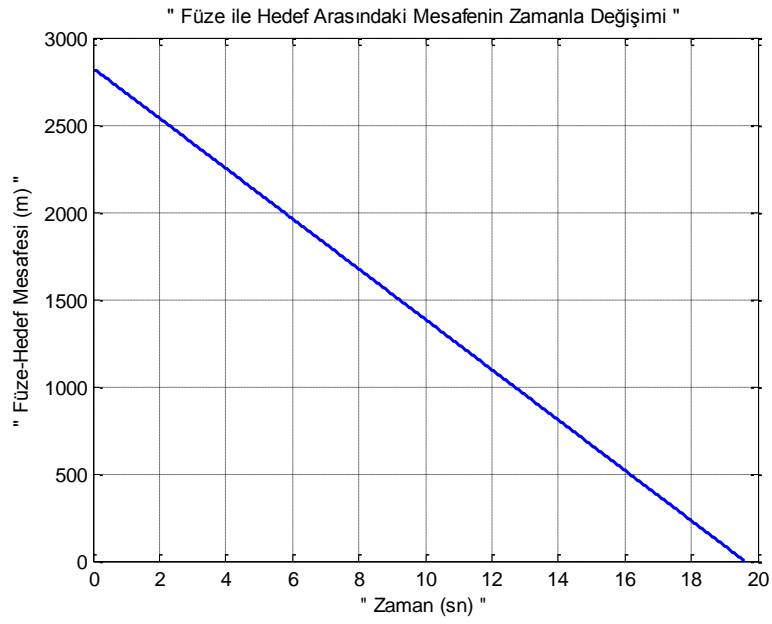


**Şekil 4.12** Hareketsiz hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

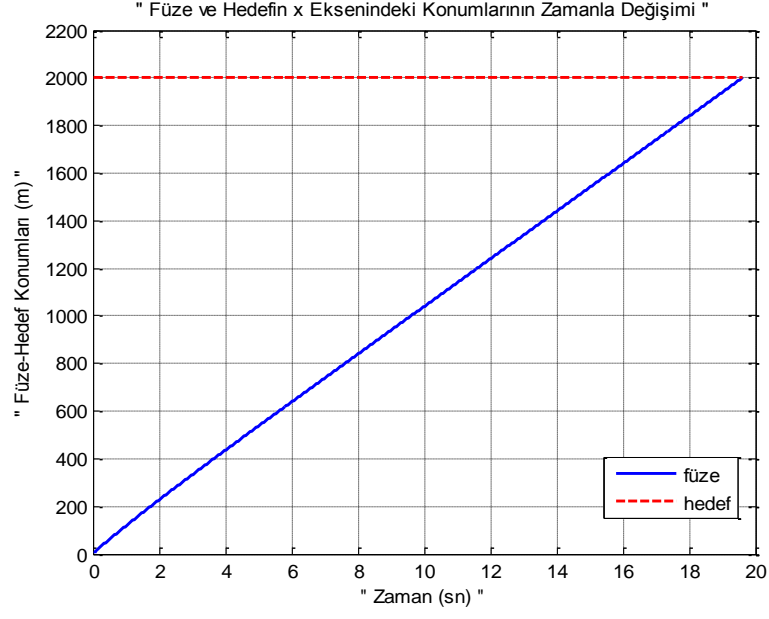
#### 4.1.2.2. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Takip GÜdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

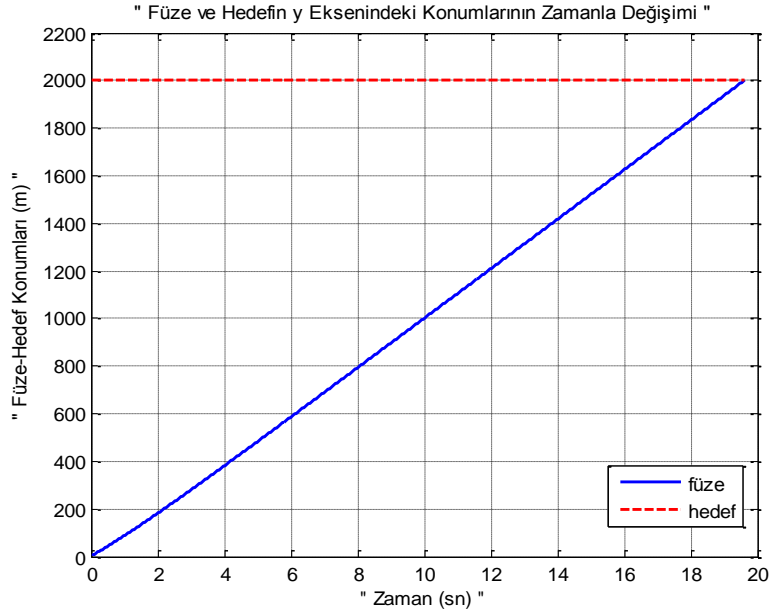
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=90$  alınmıştır.



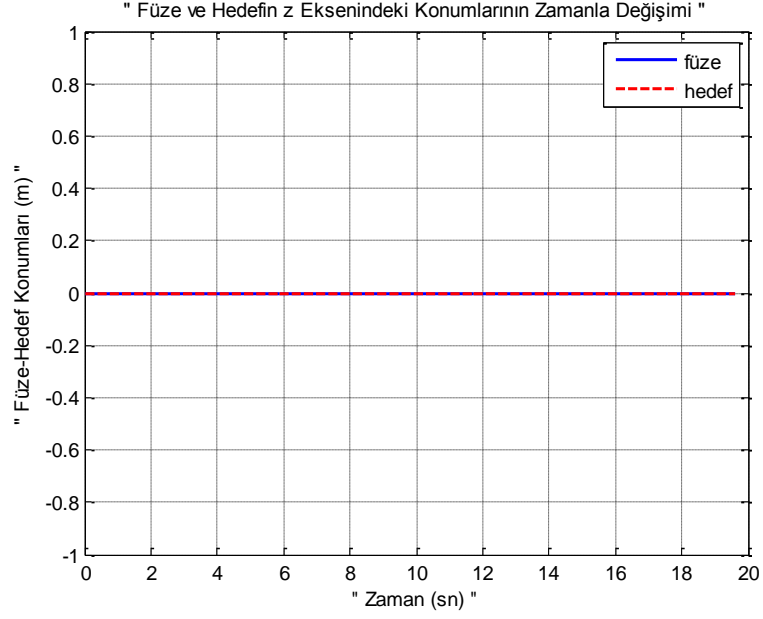
**Şekil 4.13** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



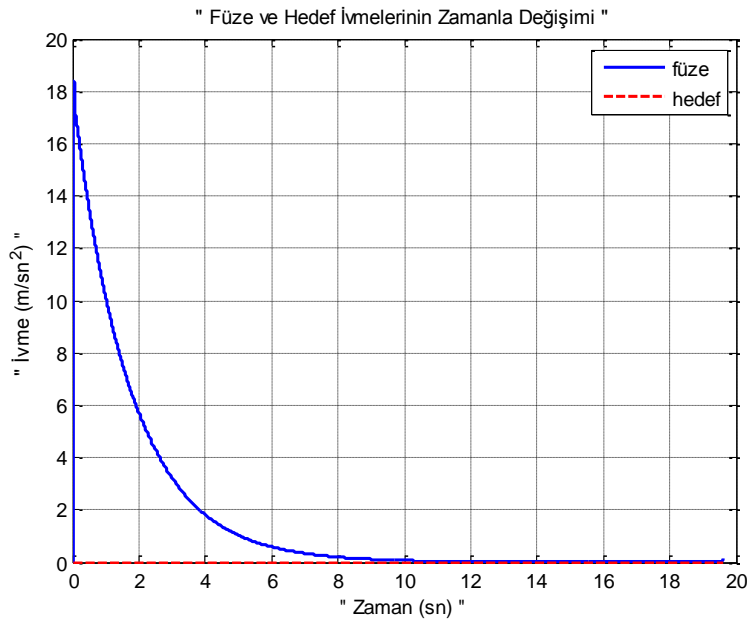
**Şekil 4.14** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.15** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

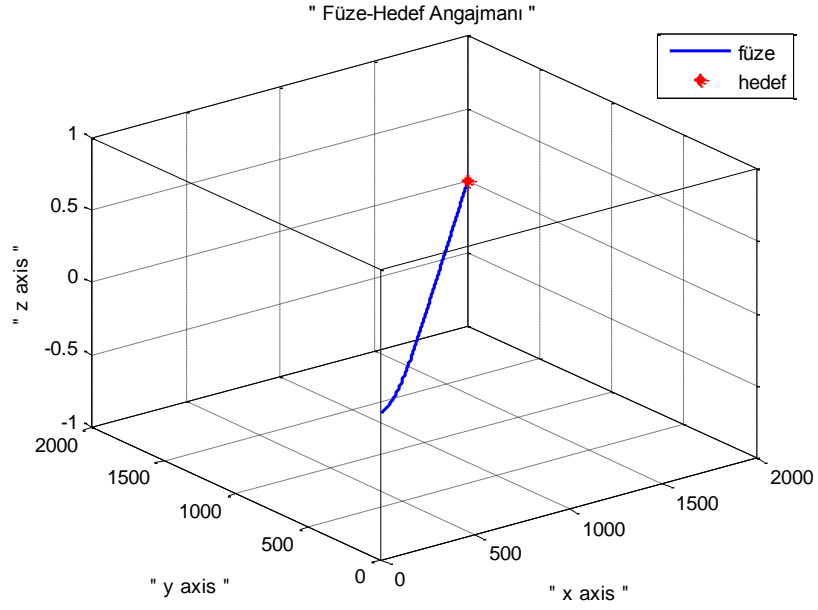


**Şekil 4.16** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

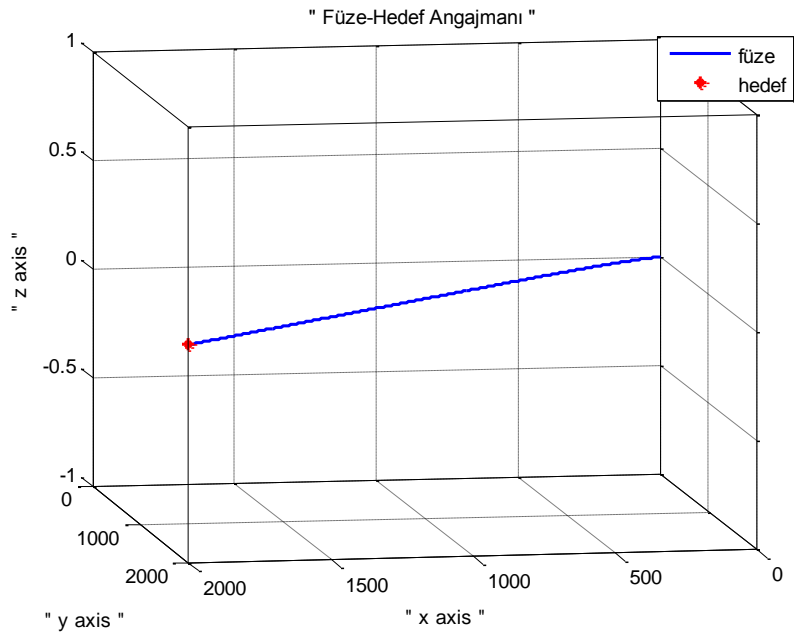


**Şekil 4.17** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.18** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

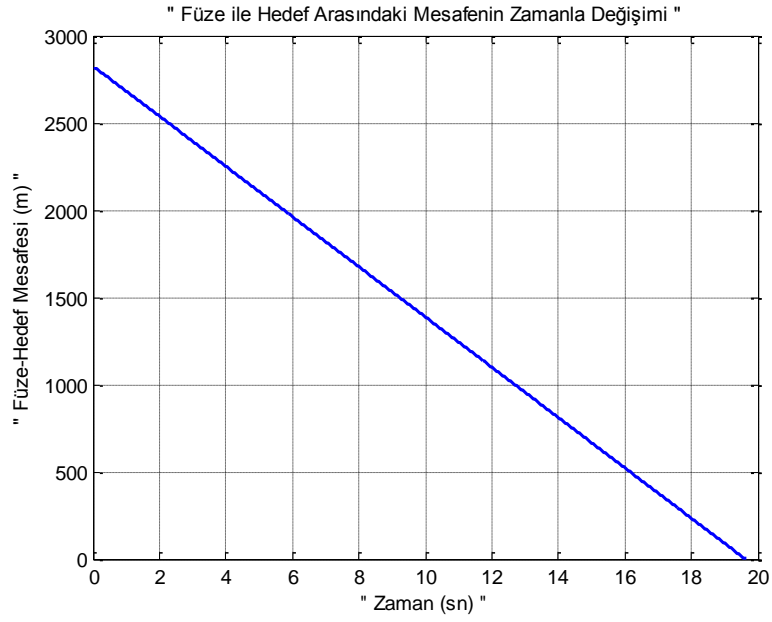


**Şekil 4.19** Hareketsiz hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

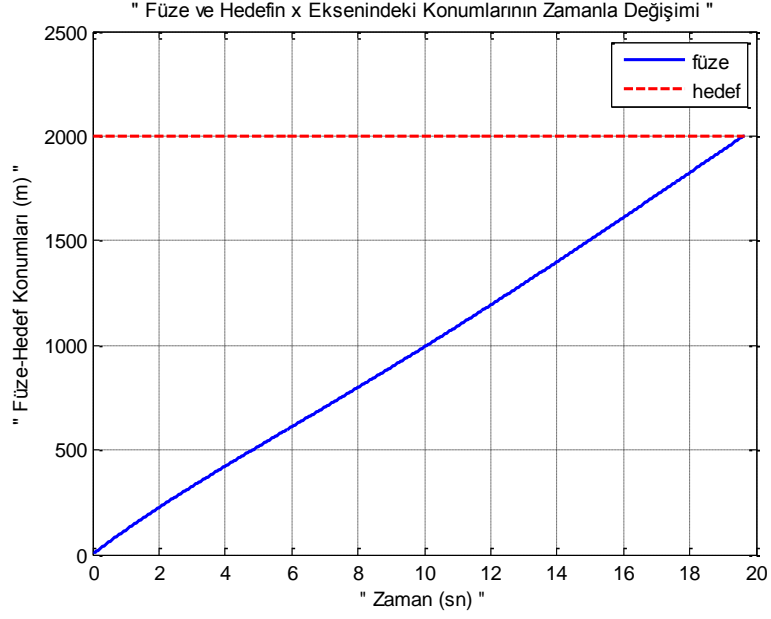
#### 4.1.2.3. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için komuta kontrollü görüş hattı güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

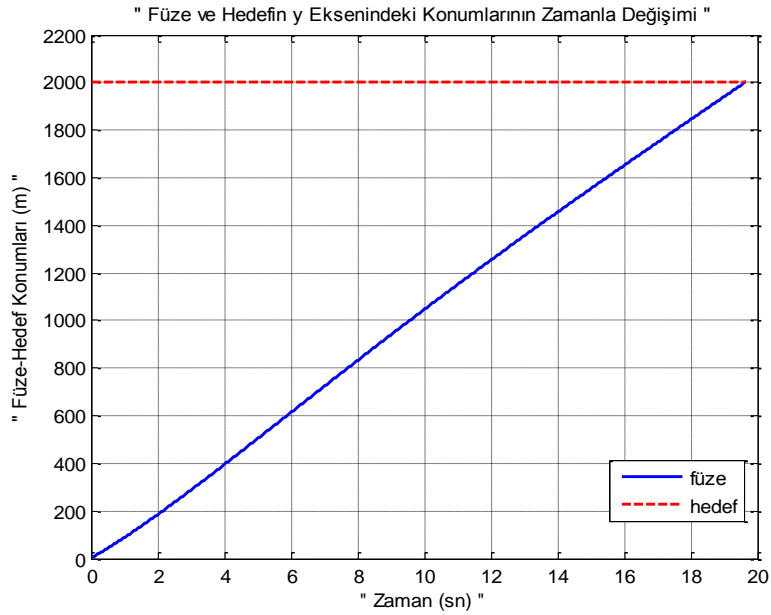
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=90$  alınmıştır.



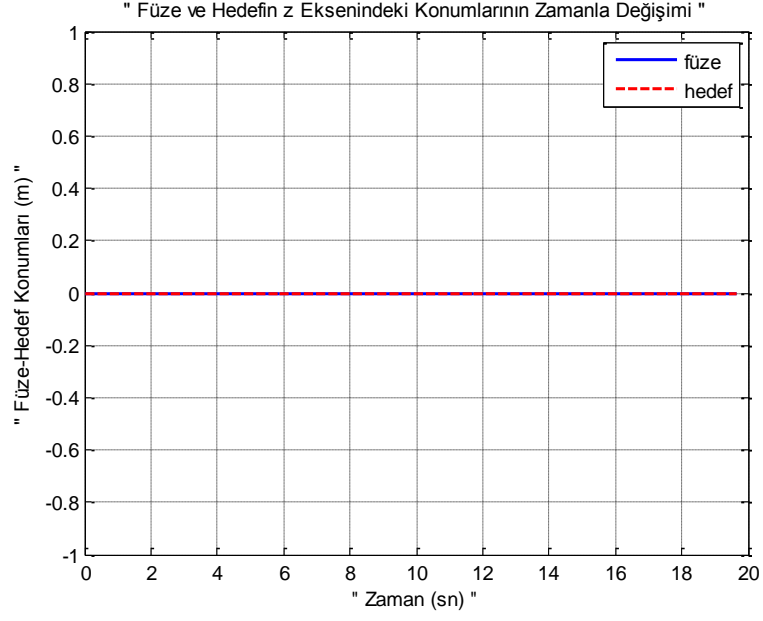
**Şekil 4.20** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



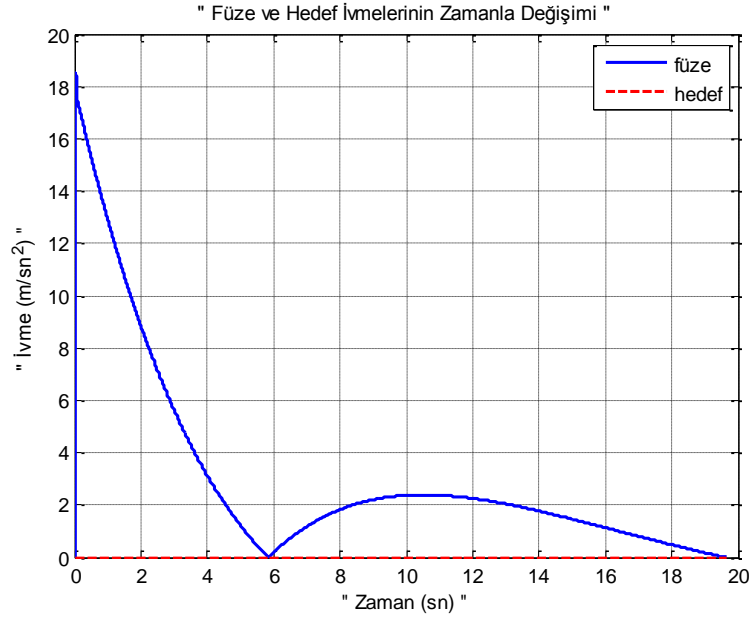
**Şekil 4.21** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



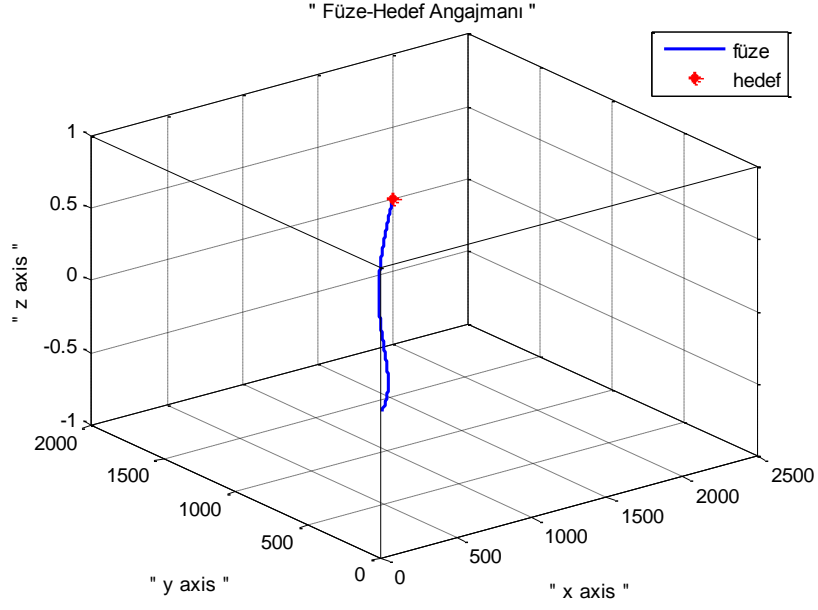
**Şekil 4.22** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



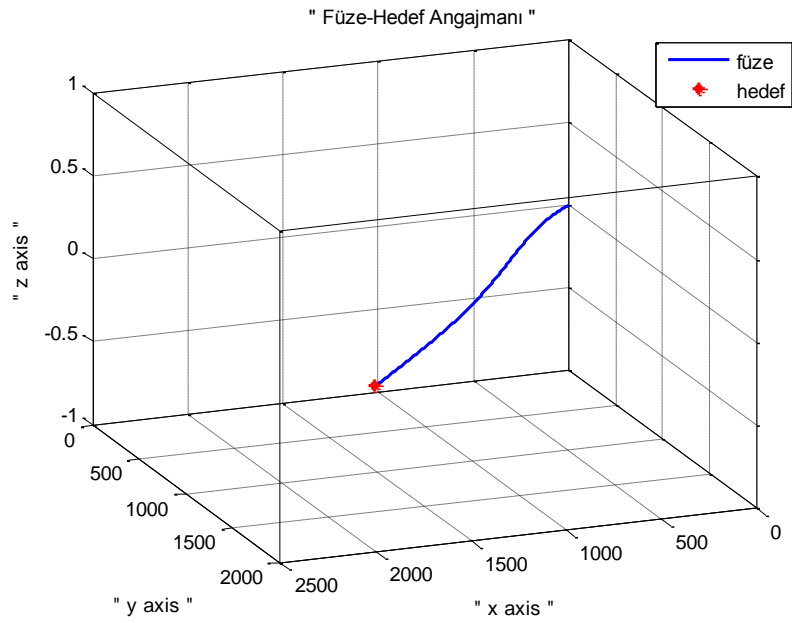
**Şekil 4.23** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.24** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.25** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

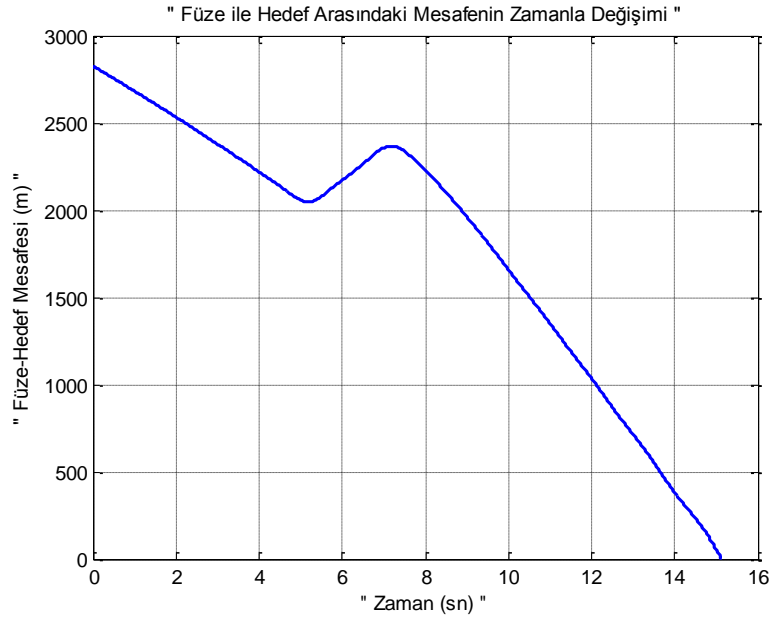


**Şekil 4.26** Hareketsiz hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

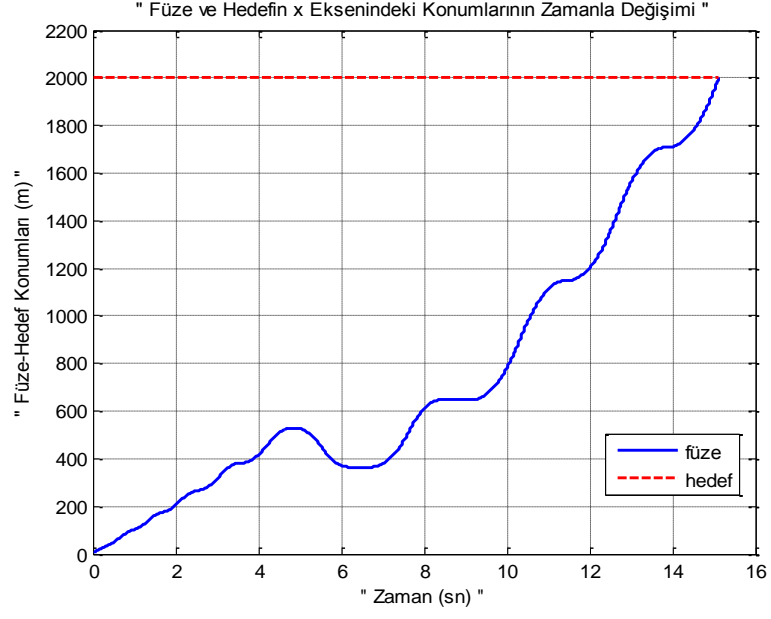
#### 4.1.2.4. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Işın İzleme GÜdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için ışın izleme güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

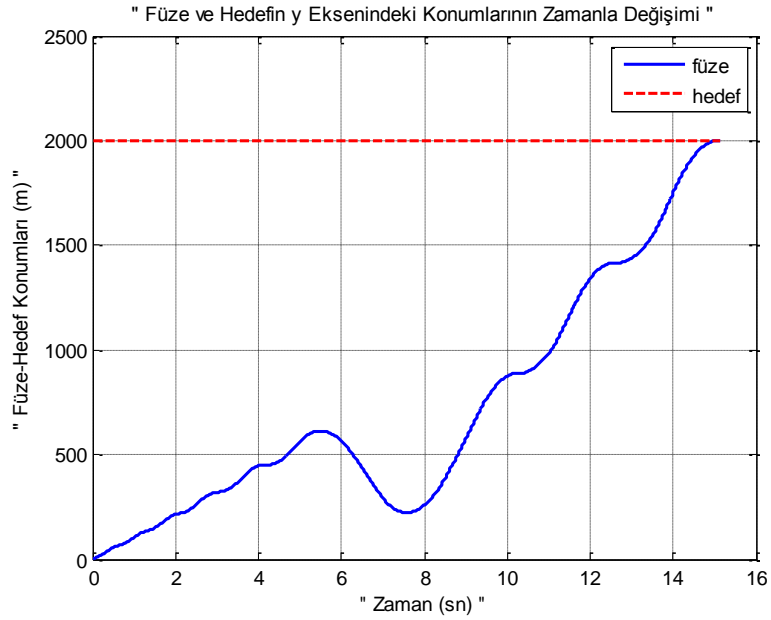
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=92$  alınmıştır.



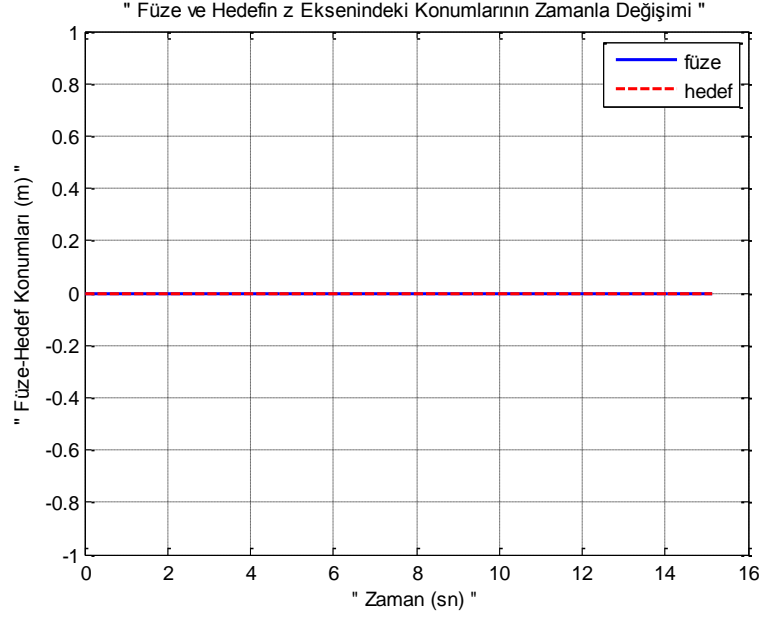
**Şekil 4.27** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



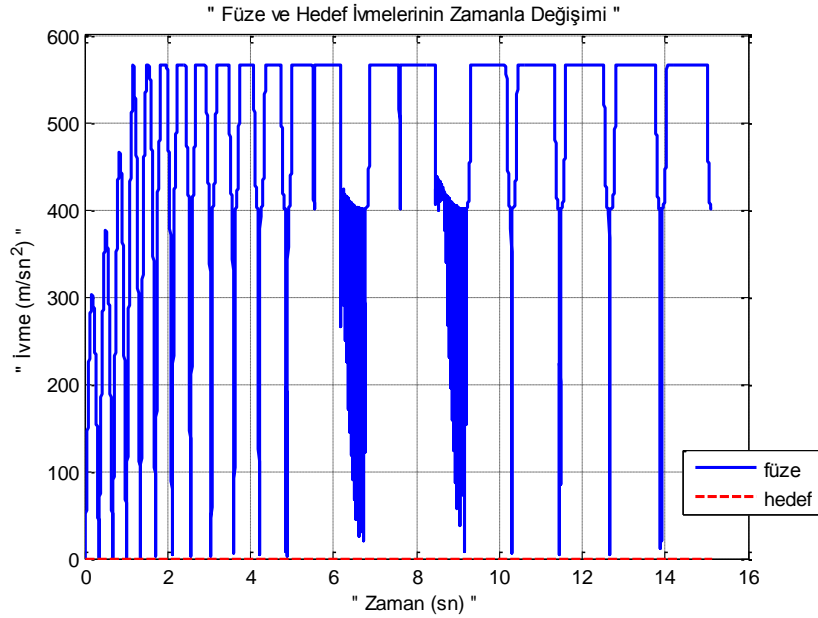
**Şekil 4.28** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.29** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

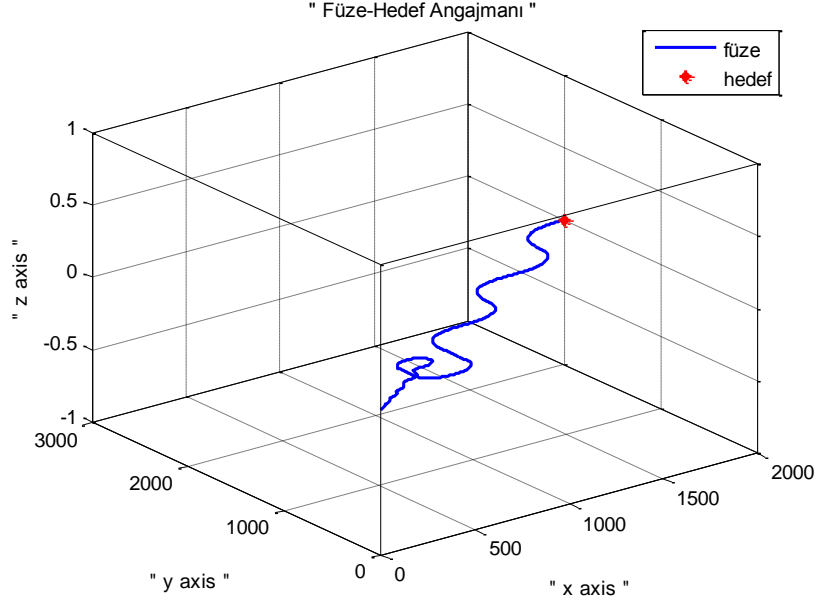


**Şekil 4.30** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

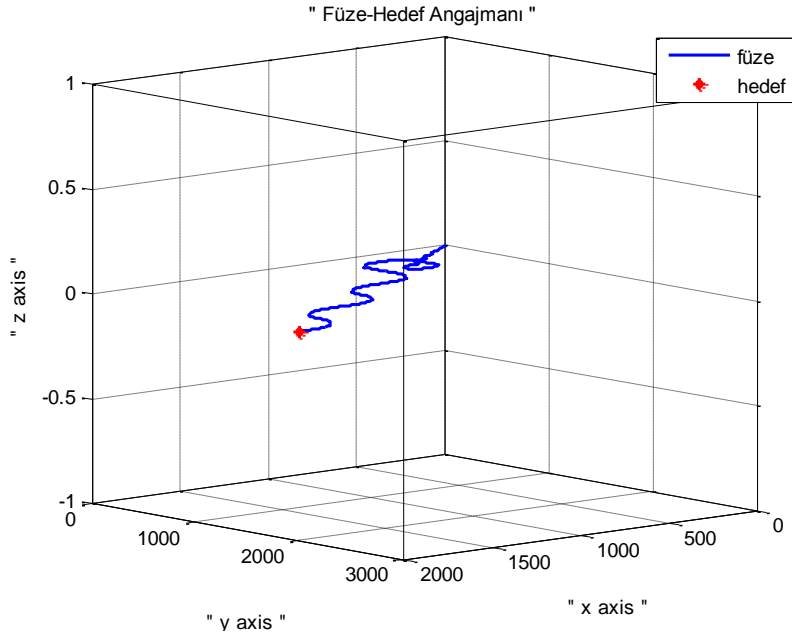


**Şekil 4.31** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.32** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

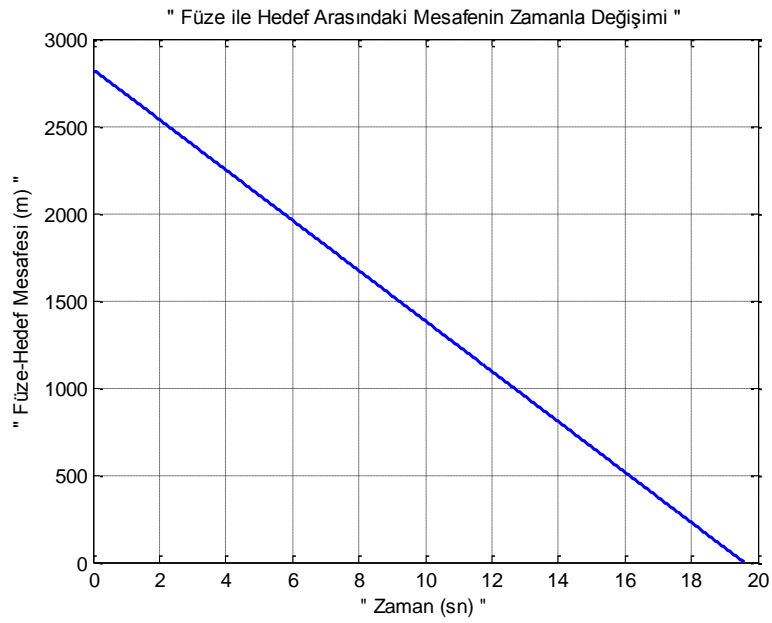


**Şekil 4.33** Hareketsiz hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

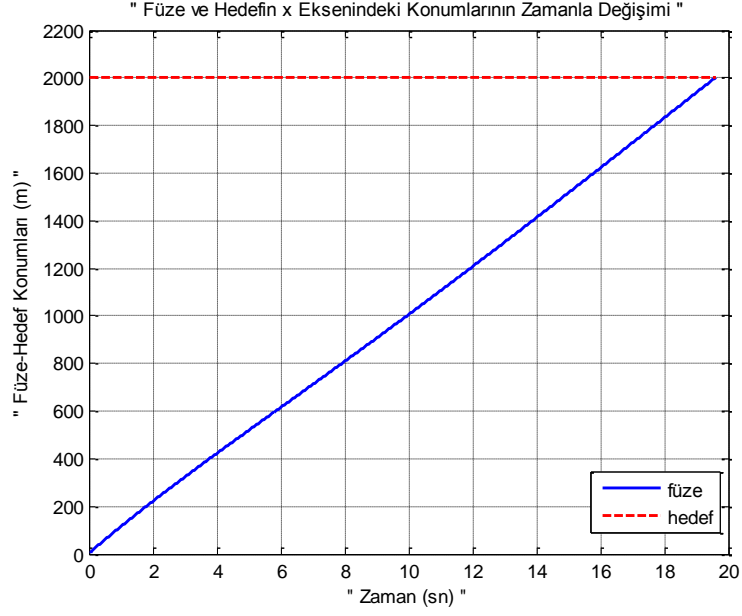
#### 4.1.2.5. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için düzeltilmiş komuta kontrollü güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

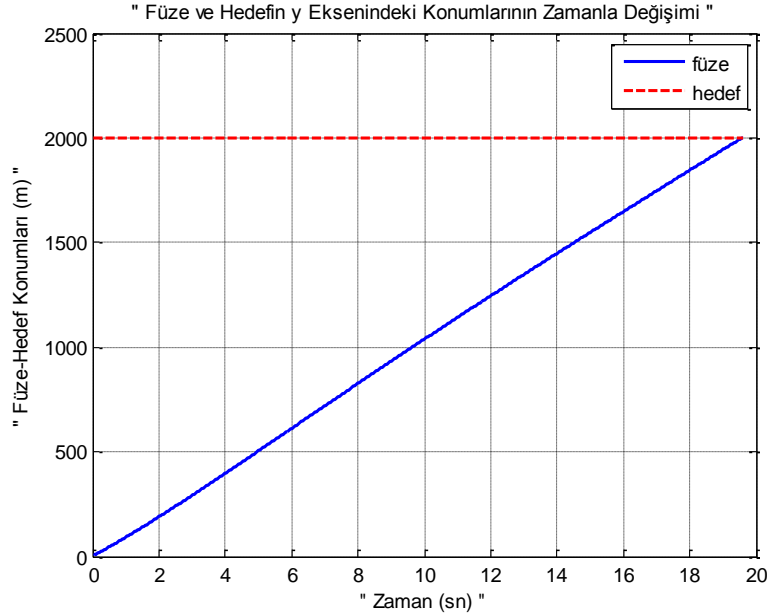
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 100$ ,  $K_d = 40$  ve  $K_f = 0.001$  olarak alınmıştır.



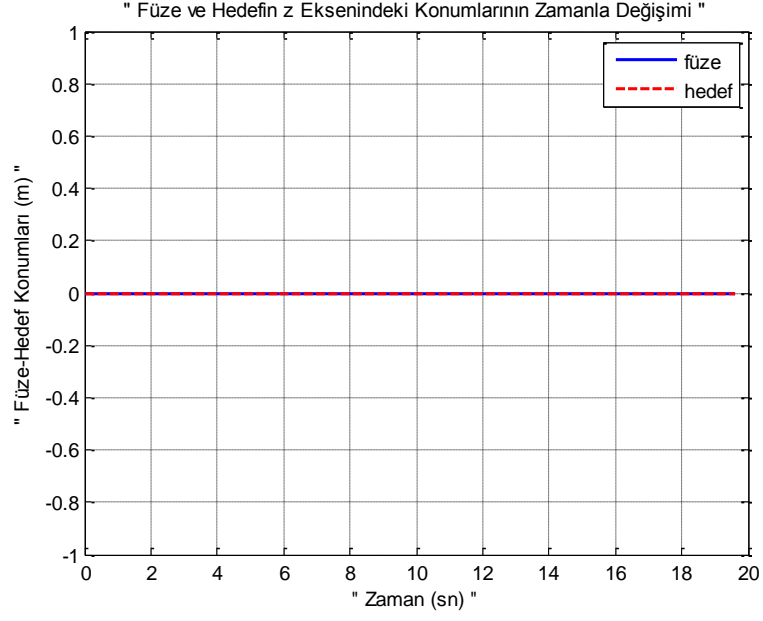
**Şekil 4.34** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



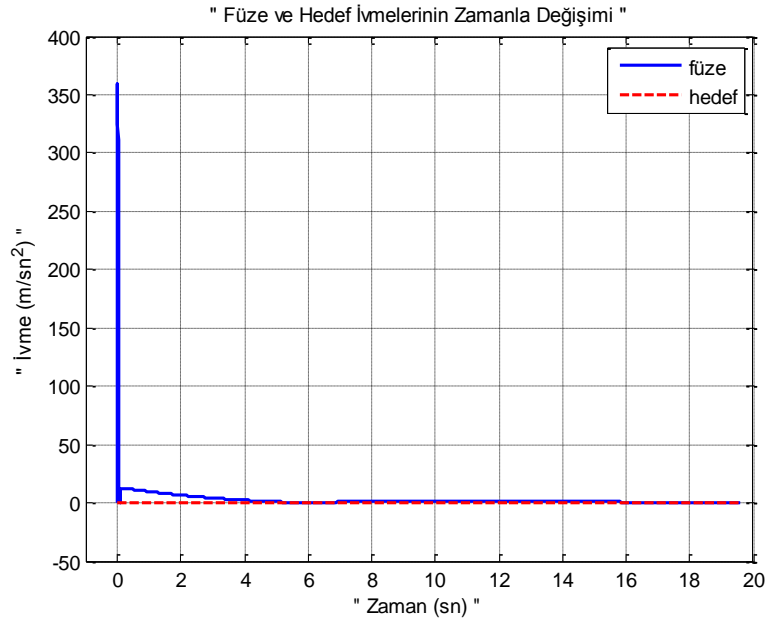
**Şekil 4.35** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



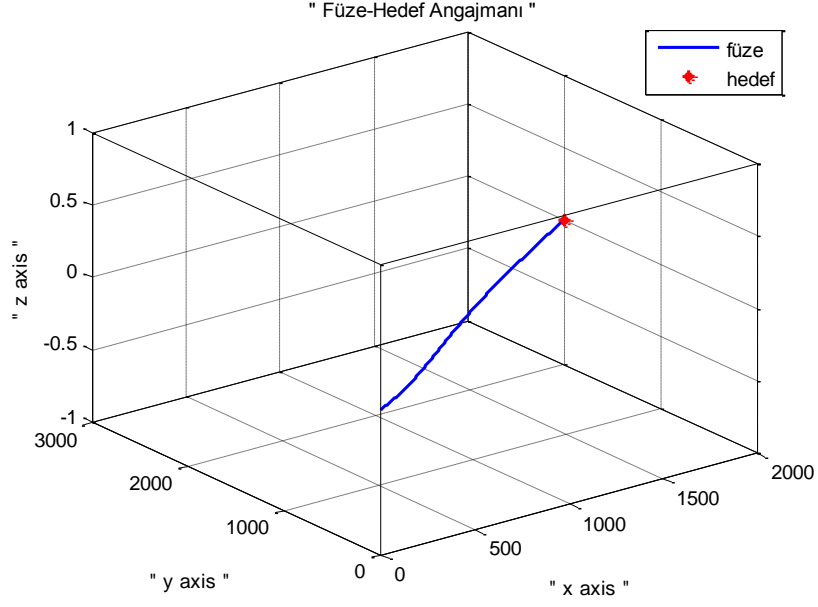
**Şekil 4.36** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



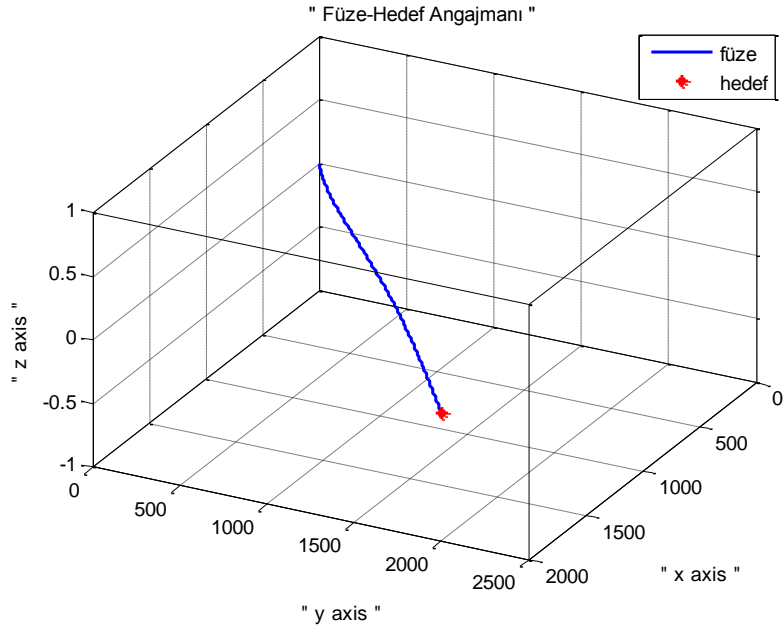
**Şekil 4.37** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.38** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.39** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

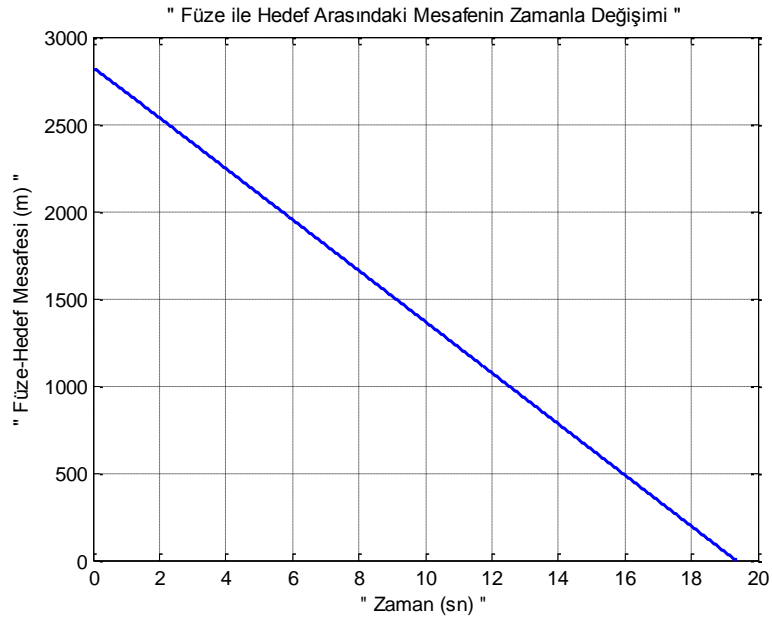


**Şekil 4.40** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

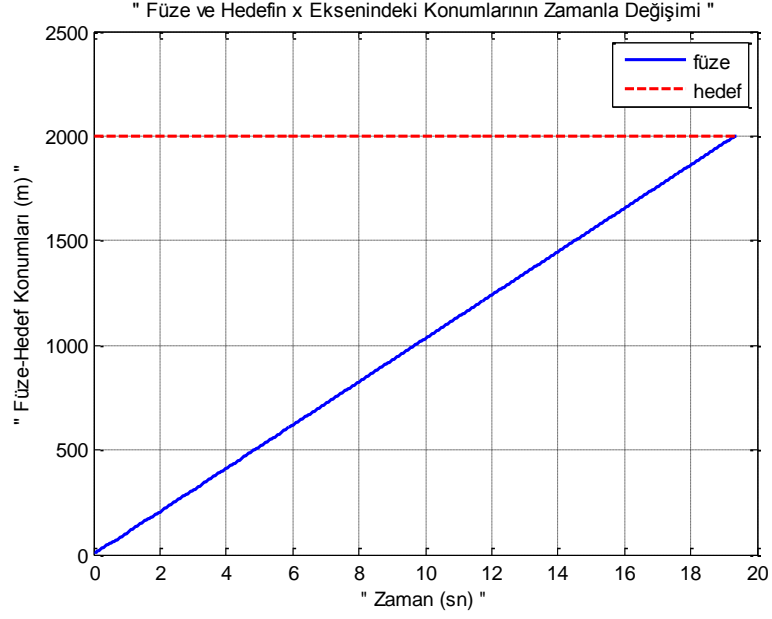
#### 4.1.2.6. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

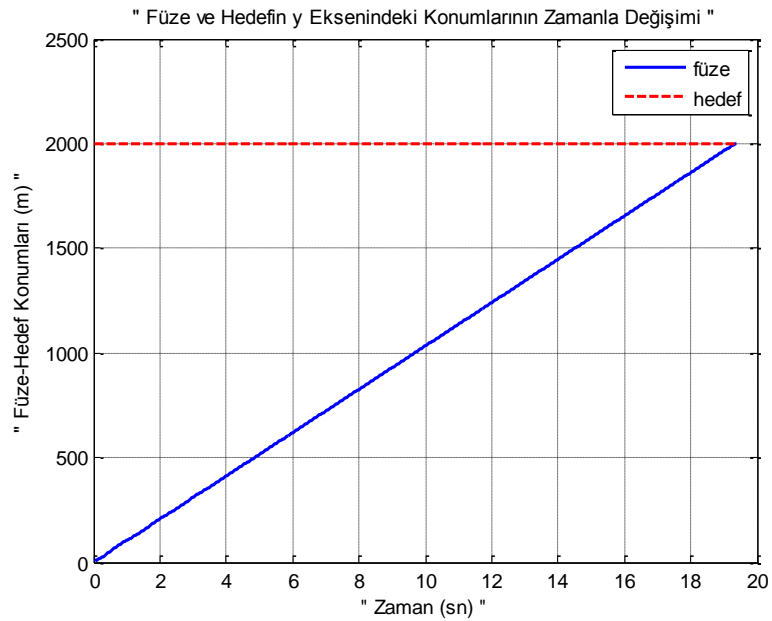
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 30$ ,  $K_d = 1$  ve  $K_f = 0.001$  alınmıştır.



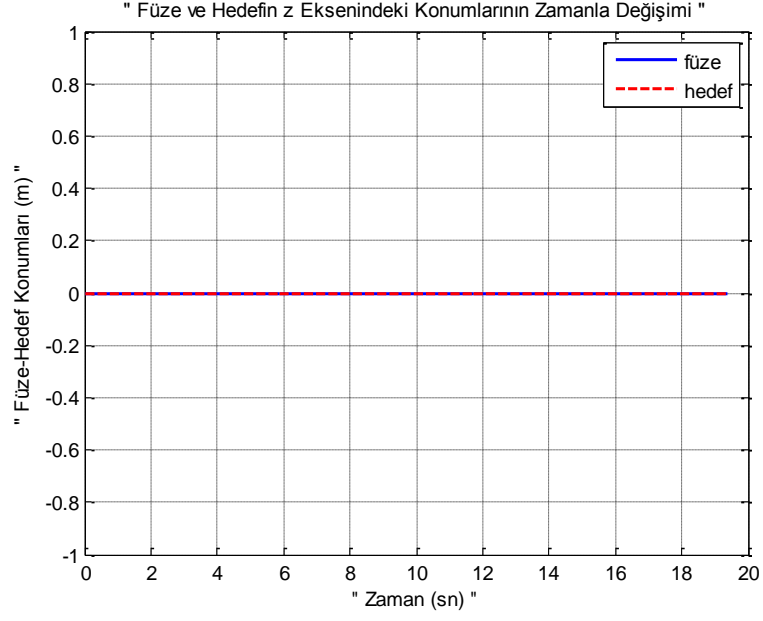
**Şekil 4.41** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



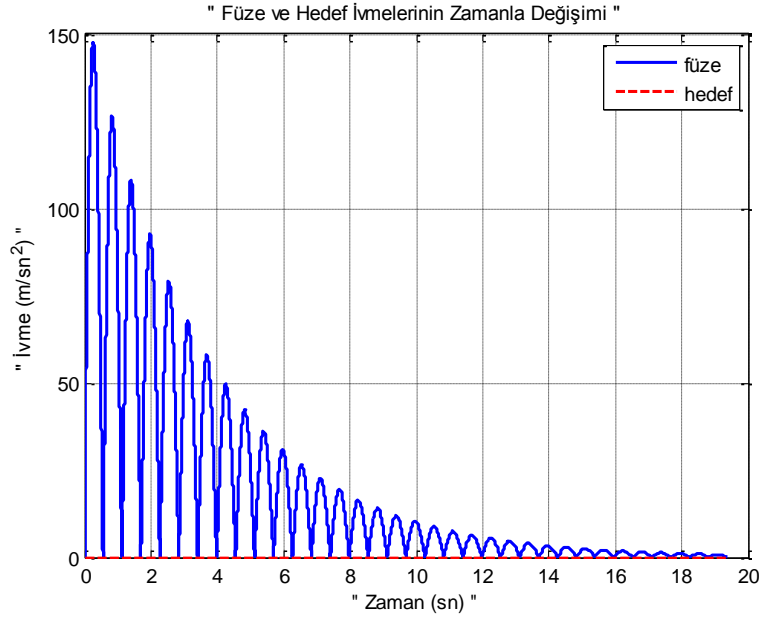
**Şekil 4.42** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.43** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

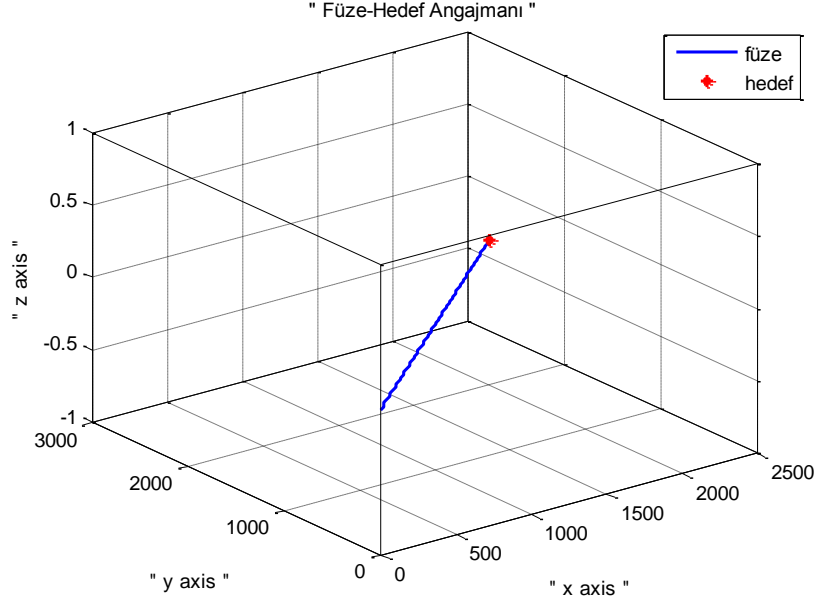


**Şekil 4.44** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

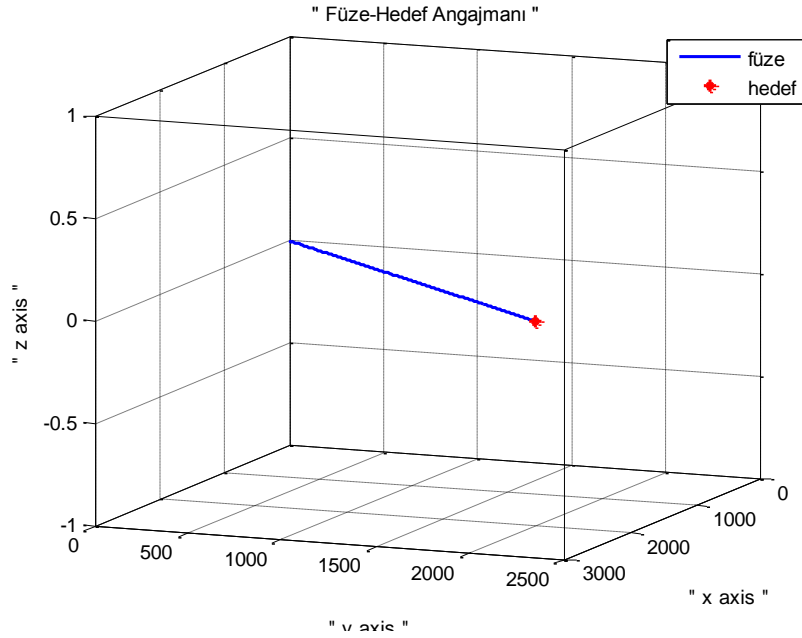


**Şekil 4.45** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.46** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.47** Hareketsiz hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.2.7. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar

Bu kısımda, hareketsiz hedef senaryosu için gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile elde edilmiş sonuçlar verilecek ve daha önce grafiklerle de gösterilmiş olan bazı sonuçlar çizelgelerle daha net şekilde tartışılacaktır. Böylece hareketsiz hedef senaryosu için farklı güdüm yöntemlerinden hangisinin ya da hangilerinin daha iyi performans verdiği belirlenecektir.

**Çizelge 4.1** Hareketsiz hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0626	0.0390	0.1083	0.6342	0.7272	0.0374

Çizelge 4.1' de hareketsiz hedef senaryosu için tüm güdüm yöntemlerinin koşturulması sonucunda elde edilen füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere tüm güdüm yöntemlerinde sapma mesafesi değeri neredeyse sıfırdır. Yani hareketsiz hedef senaryosu için tüm güdüm yöntemlerinin hedefi sıfır hata ile vurduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.2** Hareketsiz hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri

	<b>Hedef</b>	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>	0	2.1761	1.5962	3.0733	482.9485	2.5988	19.0700

Çizelge 4.2' de, hedef toplam ivmesinin ve füzeye uygulanan toplam ivmenin, benzetim çalışması esnasındaki ortalama değeri gösterilmektedir. Hedef bu senaryoda sabit olmasından dolayı herhangi bir ivme değerine sahip değildir. Bu nedenle, daha önce benzetim grafiklerinde de görüldüğü gibi, BR güdümü dışındaki tüm güdüm yöntemlerinde, füze, hedefine çok küçük ivme değerleriyle ulaşmıştır.

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, tüm güdüm yöntemlerinde, füze hedefini vurmuştur. BR güdümü dışındaki tüm yöntemlerde de benzer füze ivme değerleri

elde edilmiştir. Buradan hareketle, hareketsiz hedef senaryosu için BR hariç tüm yöntemlerinin benzer performans gösterdikleri söylenebilir.

#### 4.1.3. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu

Bu senaryoda, hedef, hızı sabit bir değere eşit olacak şekilde hareket etmektedir. Füze ise belirli bir konumdan belirli bir ilk hıza sahip olacak şekilde hedefe yönlenecek çalışacaktır.

Aşağıda sabit hızlı hedef senaryosu gösterilmektedir.

##### Senaryo:

##### Füze:

$$a_{mx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{my} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{mz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

##### Hedef:

$$a_{tx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{ty} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{tz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

Aşağıda bu senaryo için kullanılacak olan başlangıç koşulları gösterilmektedir.

##### İlk Koşullar:

##### Füze:

$$X_m = 0 \text{ m}$$

$$Y_m = 0 \text{ m}$$

$$Z_m = 0 \text{ m}$$

$$V_{mx} = 200 \text{ m/s}$$

$$V_{my} = 100 \text{ m/s}$$

$$V_{mz} = 0 \text{ m/s}$$

##### Hedef:

$$X_t = 2000 \text{ m}$$

$$Y_t = 2000 \text{ m}$$

$$Z_t = 0 \text{ m}$$

$$V_{tx} = 100 \text{ m/s}$$

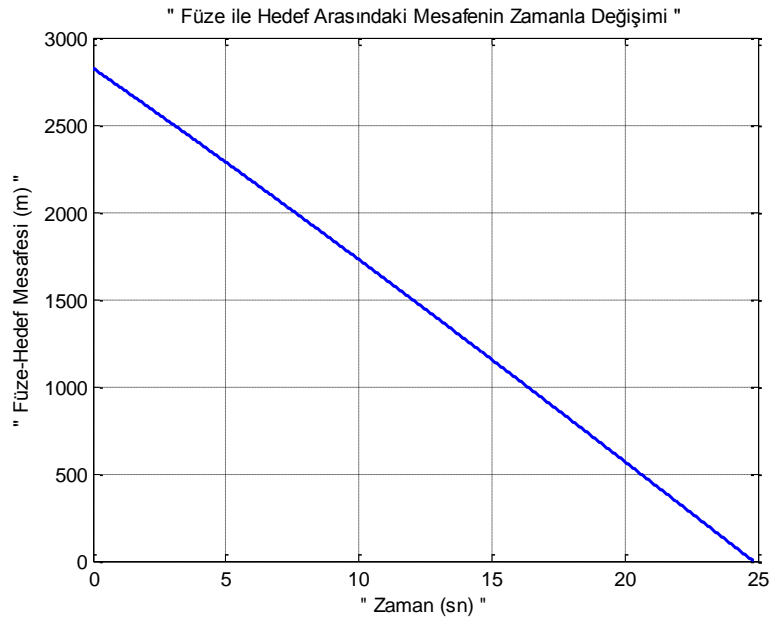
$$V_{ty} = 50 \text{ m/s}$$

$$V_{tz} = 10 \text{ m/s}$$

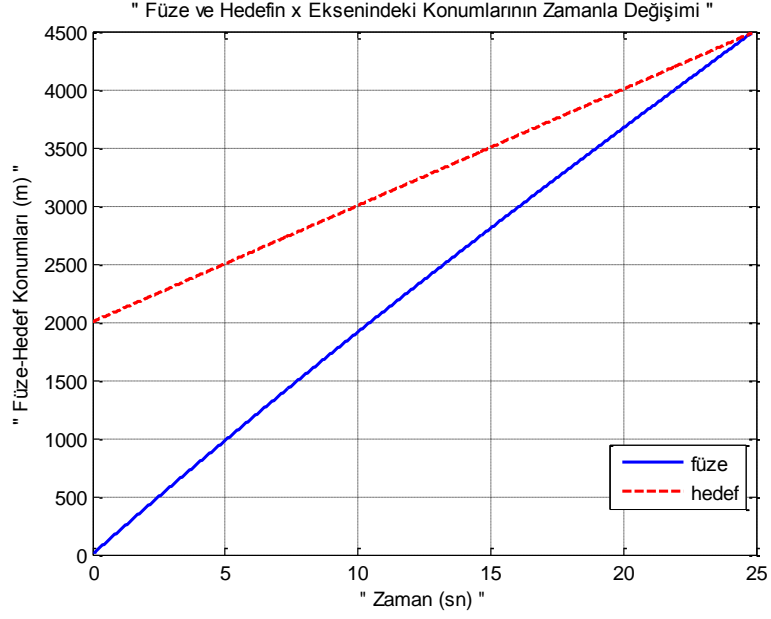
#### 4.1.3.1. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için oransal seyir güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

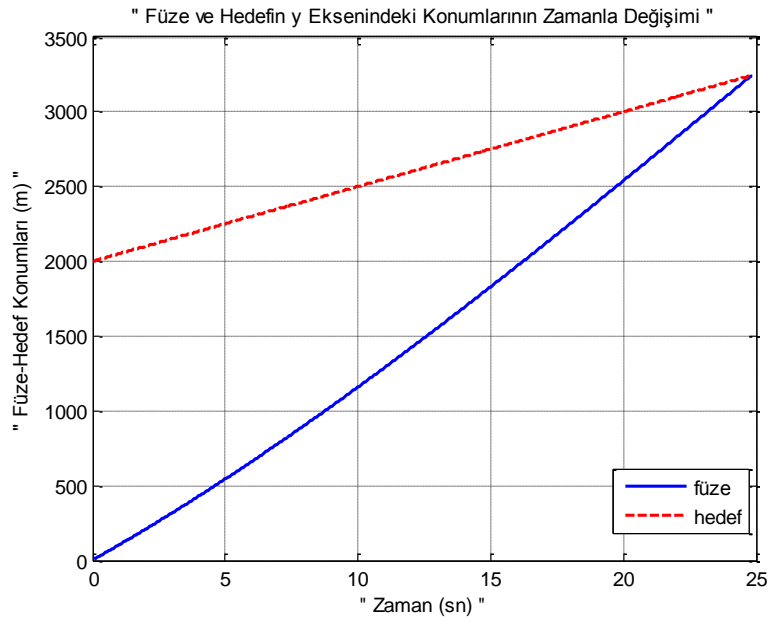
Benzetim alıması sırasında oransal güdüm sabiti  $N=3$  alınmıştır.



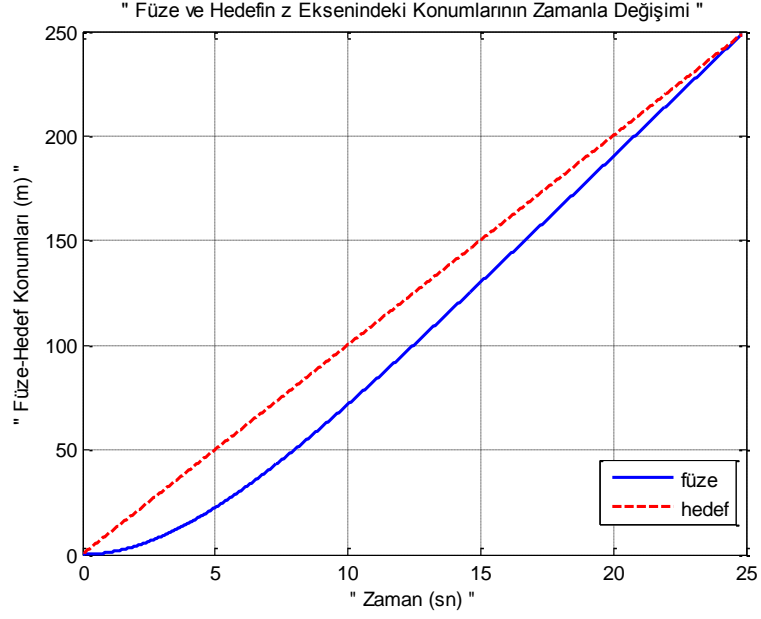
**Şekil 4.48** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



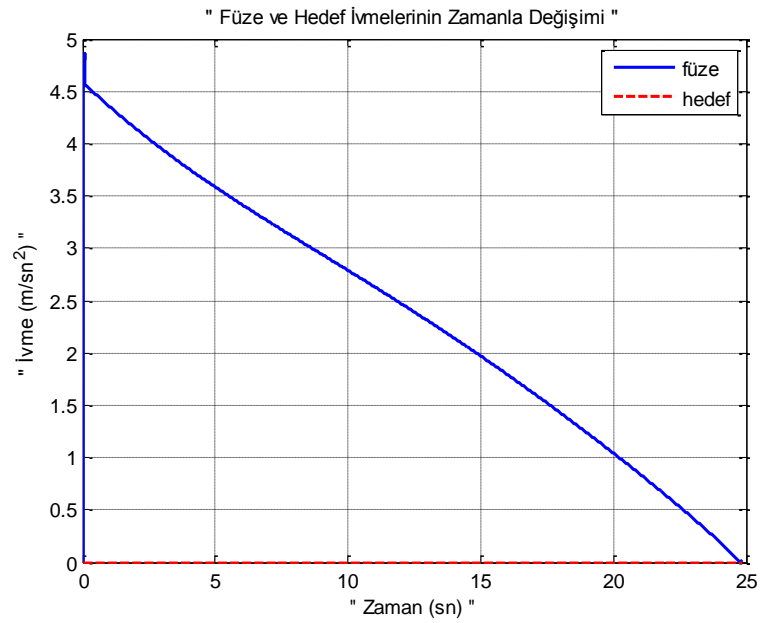
**Şekil 4.49** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



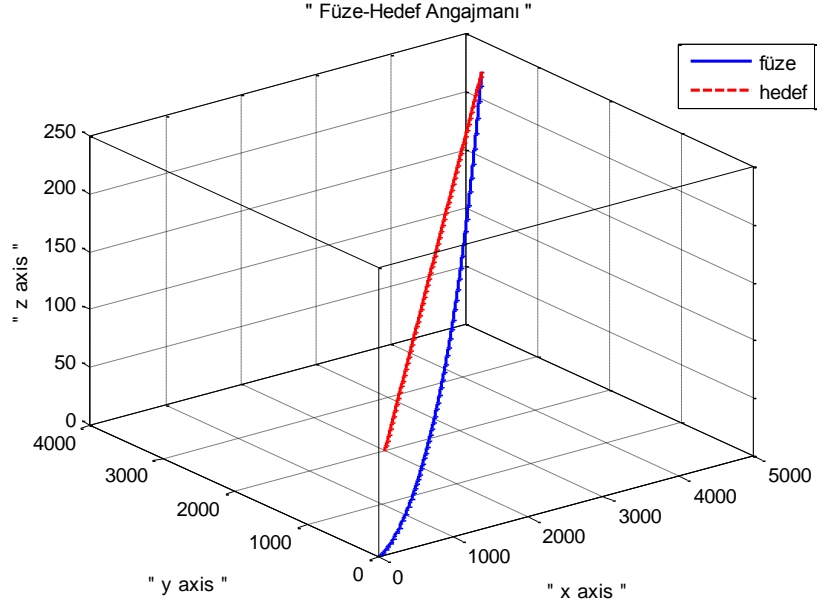
**Şekil 4.50** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



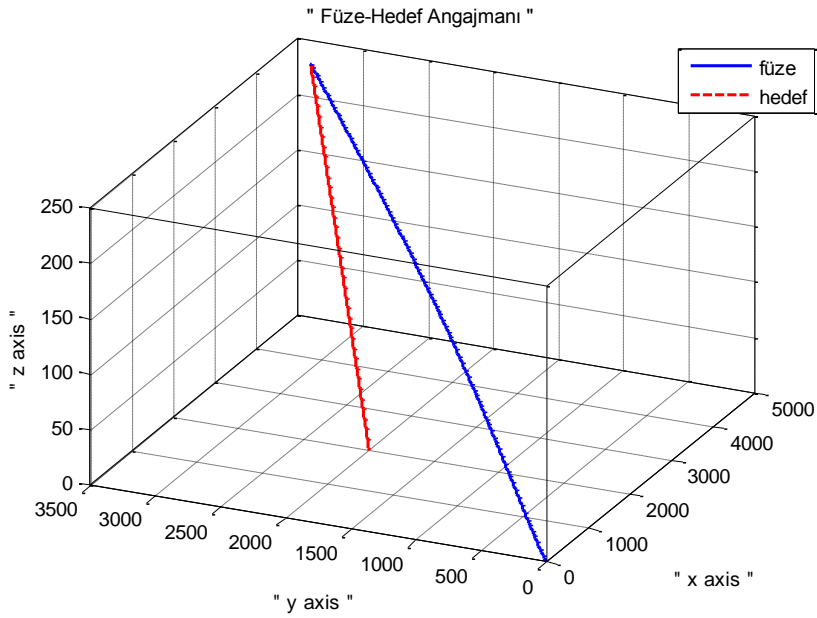
**Şekil 4.51** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.52** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.53** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

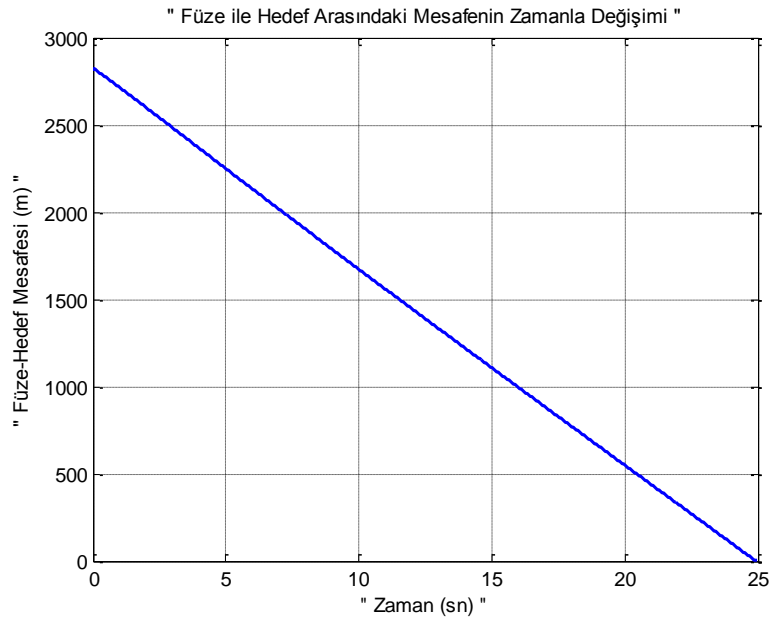


**Şekil 4.54** Sabit hızlı hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.3.2. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

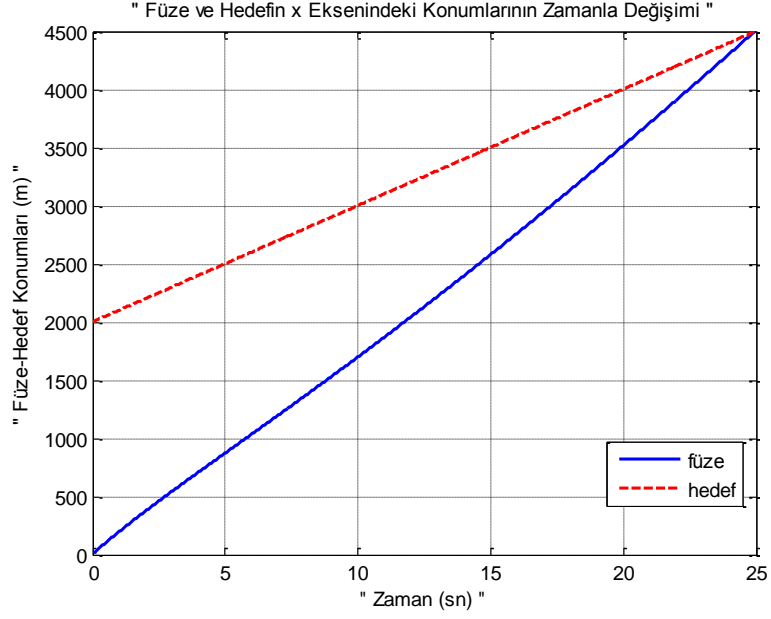
Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

Benzetim alıması sırasında güdüm sabiti  $K=120$  alınmıştır.

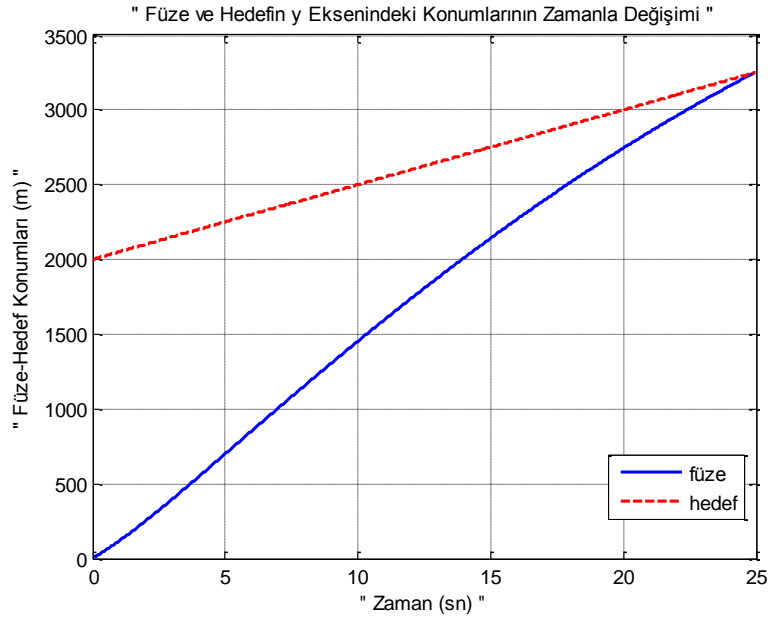


**Şekil 4.55** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi

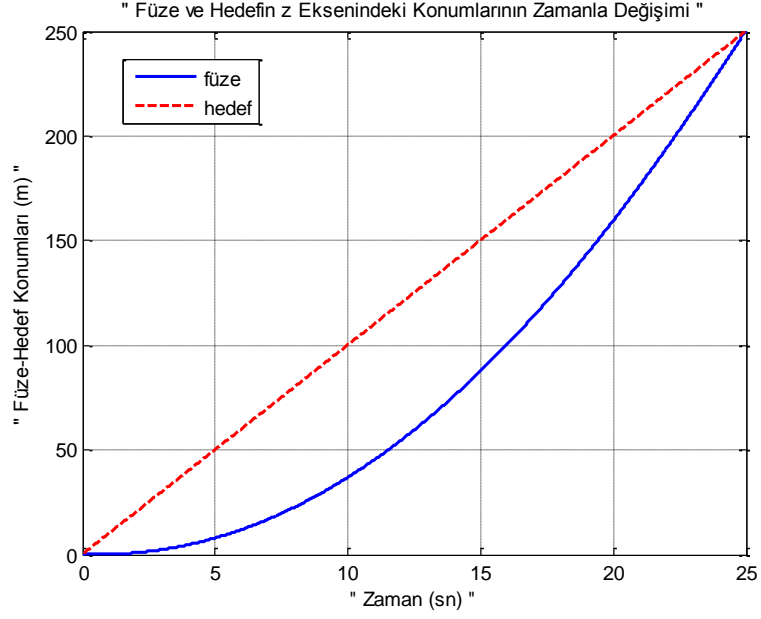




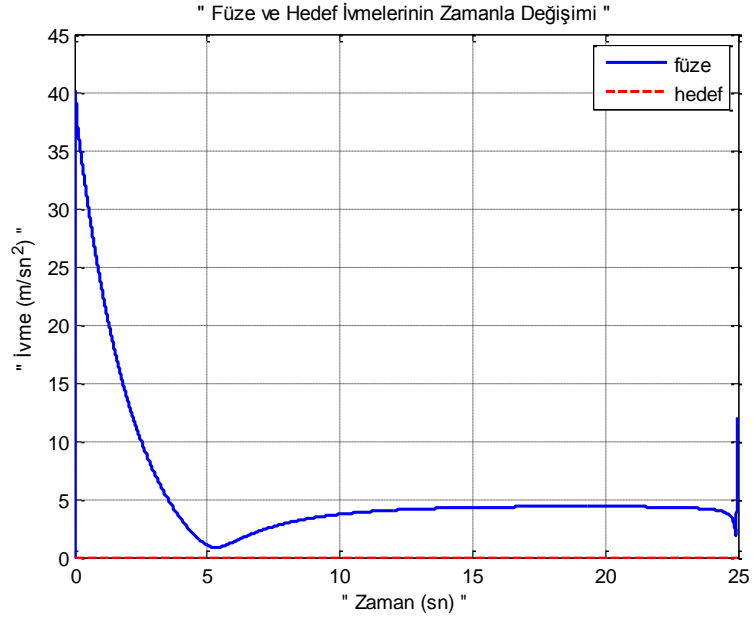
**Şekil 4.56** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



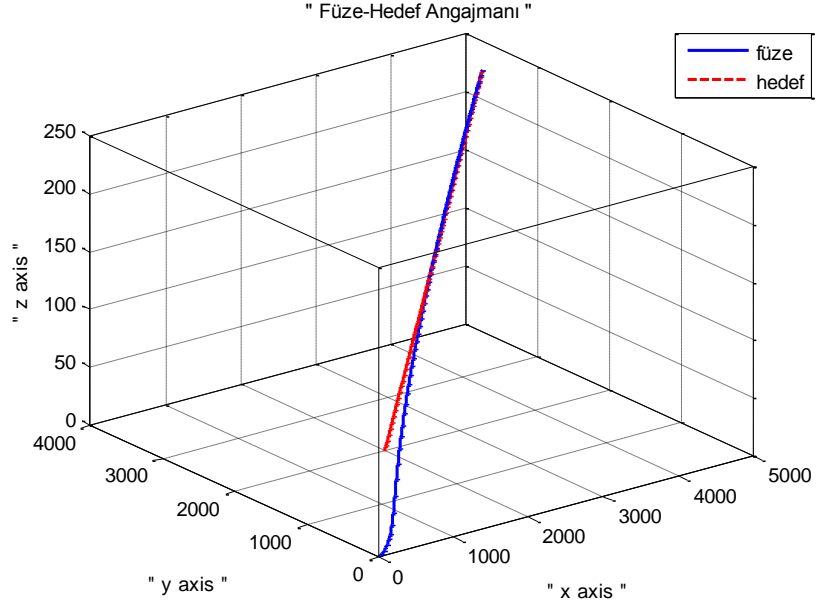
**Şekil 4.57** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



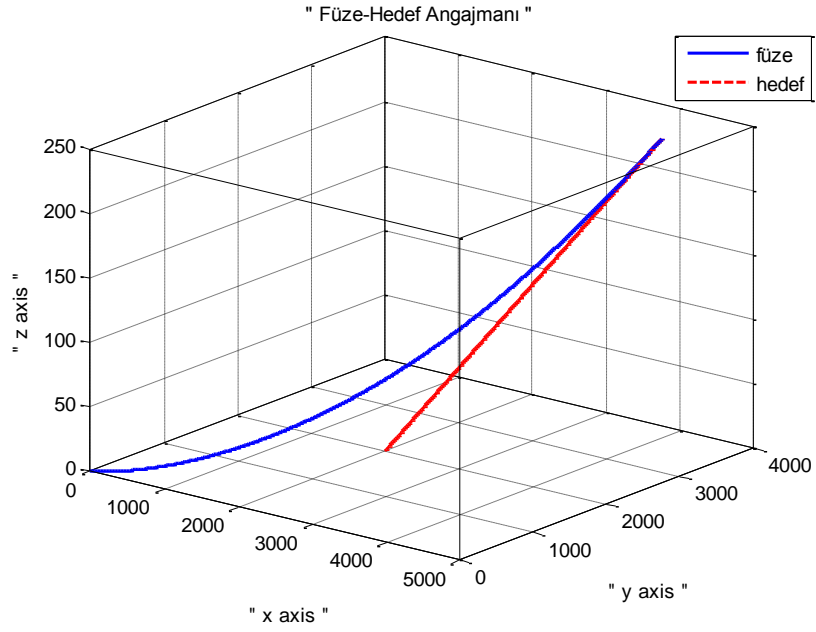
**Şekil 4.58** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.59** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.60** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

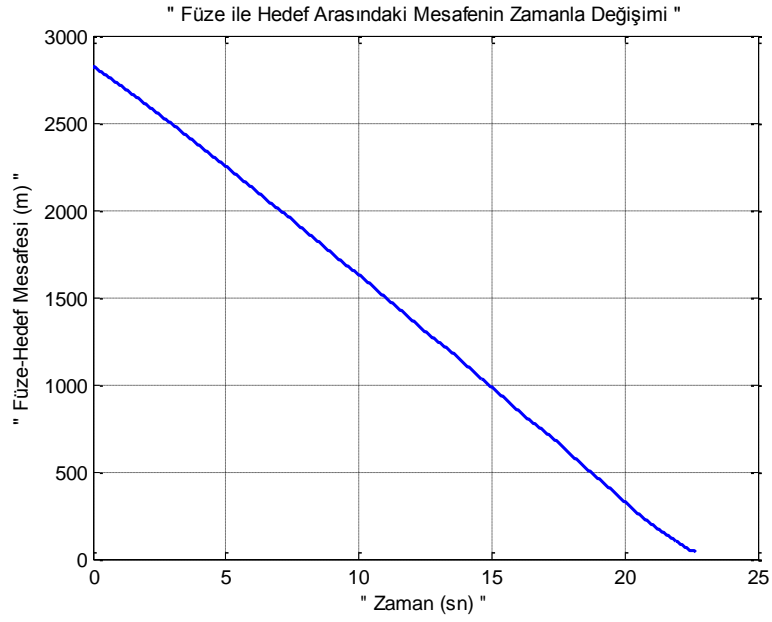


**Şekil 4.61** Sabit hızlı hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

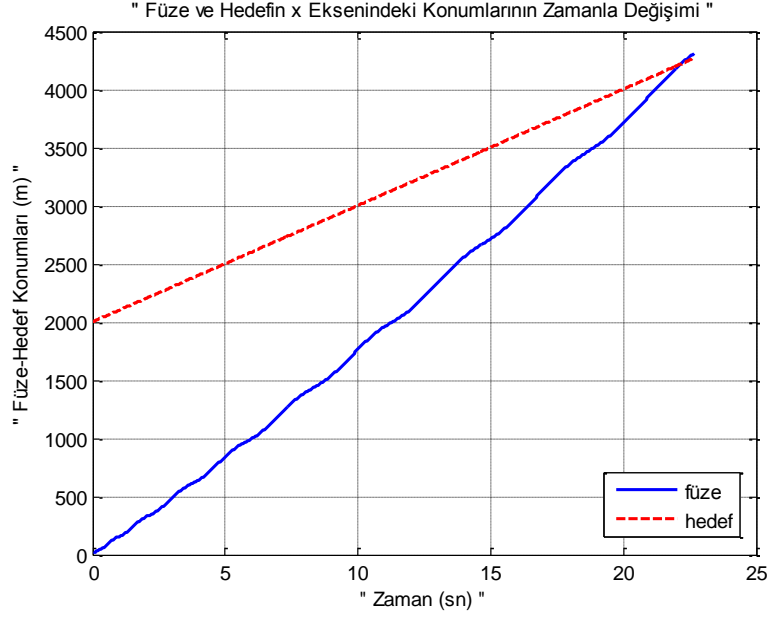
#### 4.1.3.3. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için komuta kontrollü görüş hattı güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

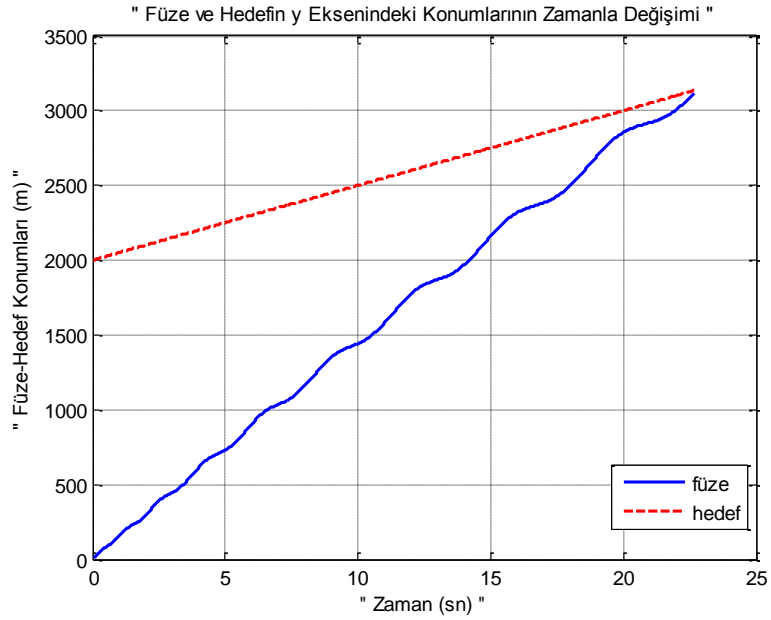
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=10000$  alınmıştır.



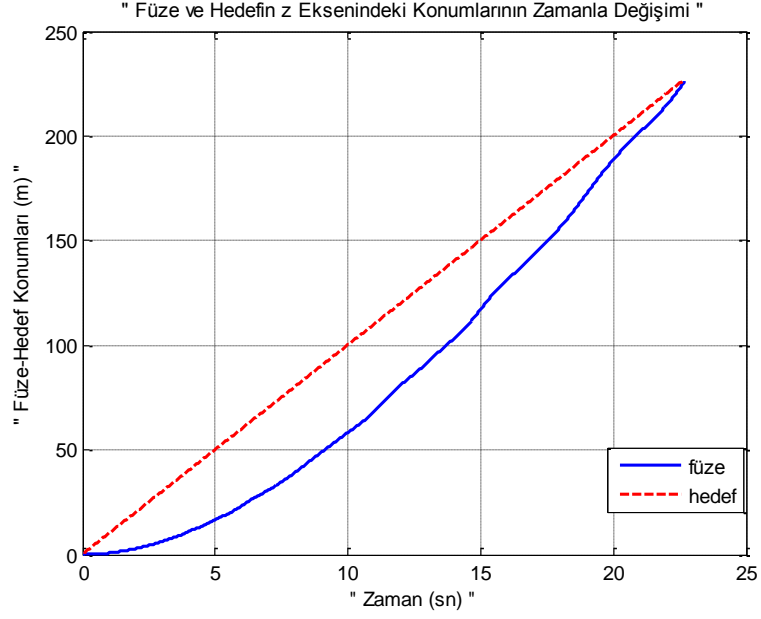
**Şekil 4.62** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



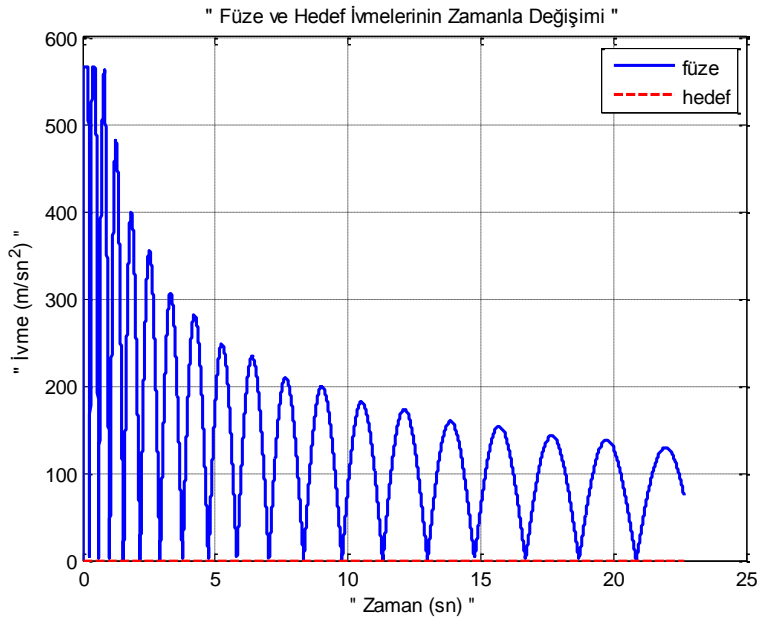
**Şekil 4.63** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



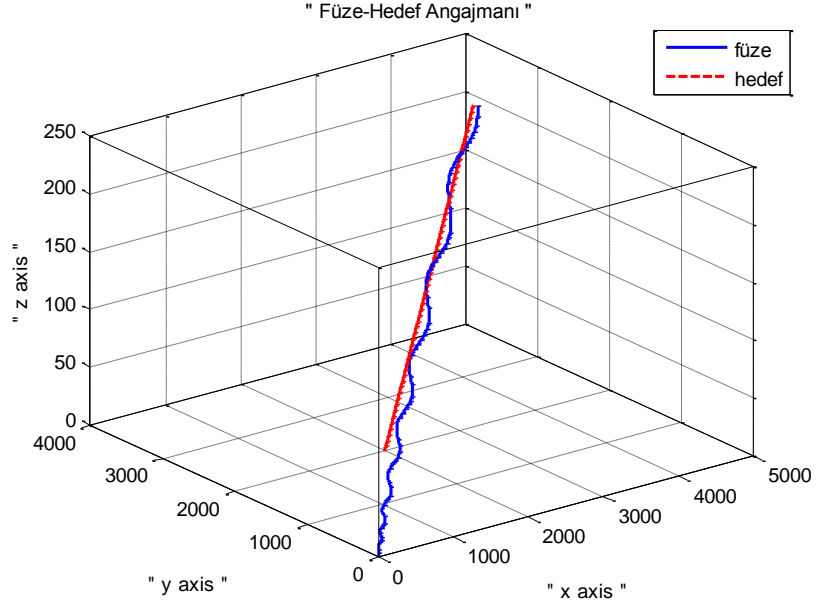
**Şekil 4.64** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



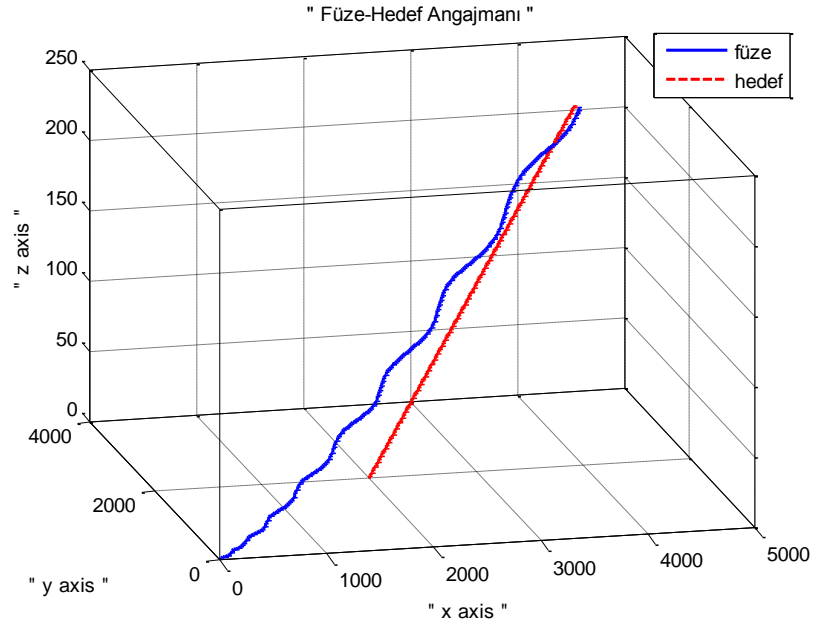
**Şekil 4.65** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.66** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.67** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

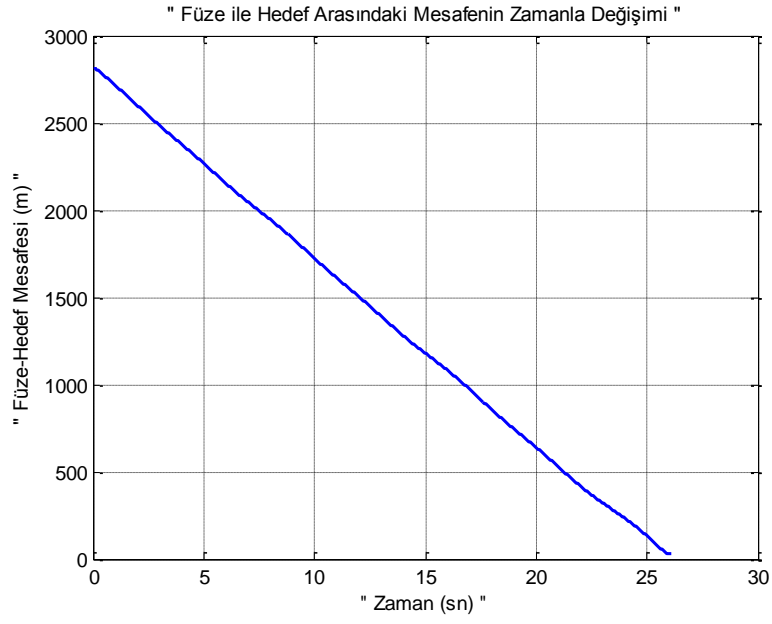


**Şekil 4.68** Sabit hızlı hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.3.4. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Işın İzleme GÜdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

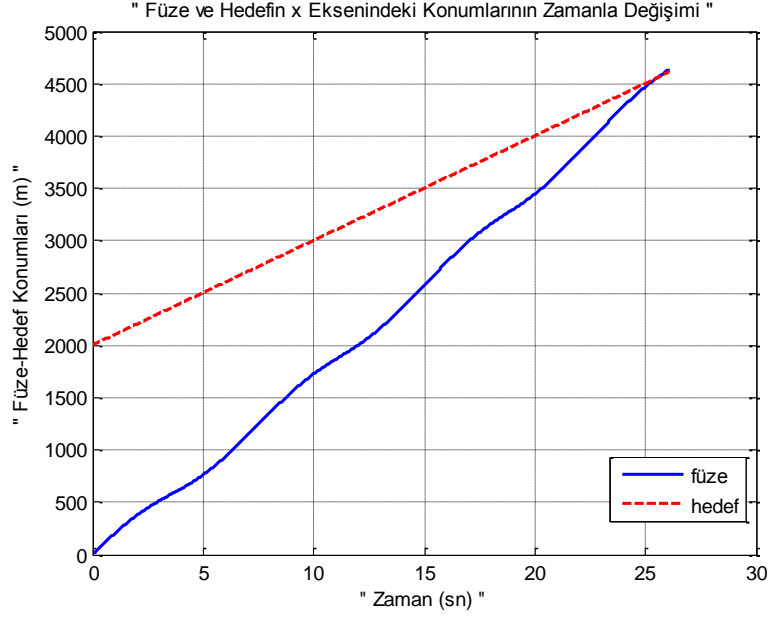
Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için ışın izleme güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=0.7$  alınmıştır.

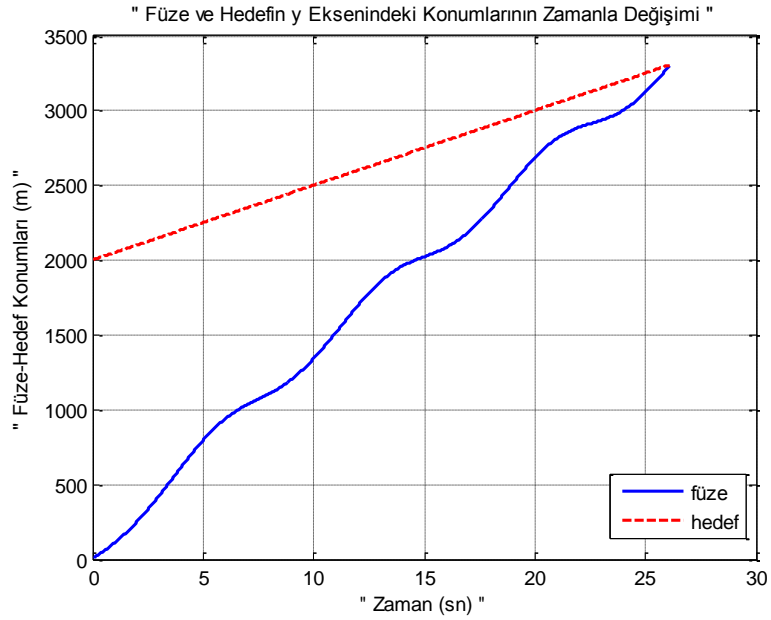


**Şekil 4.69** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi

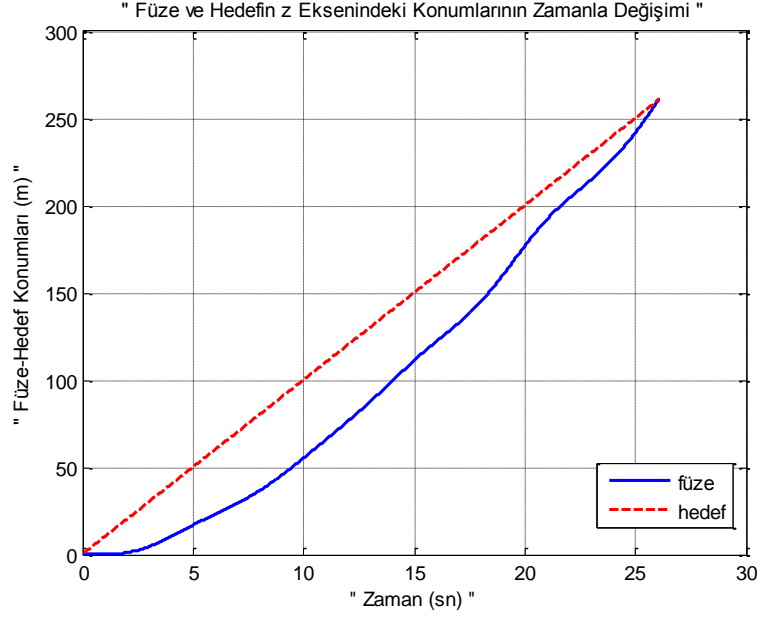




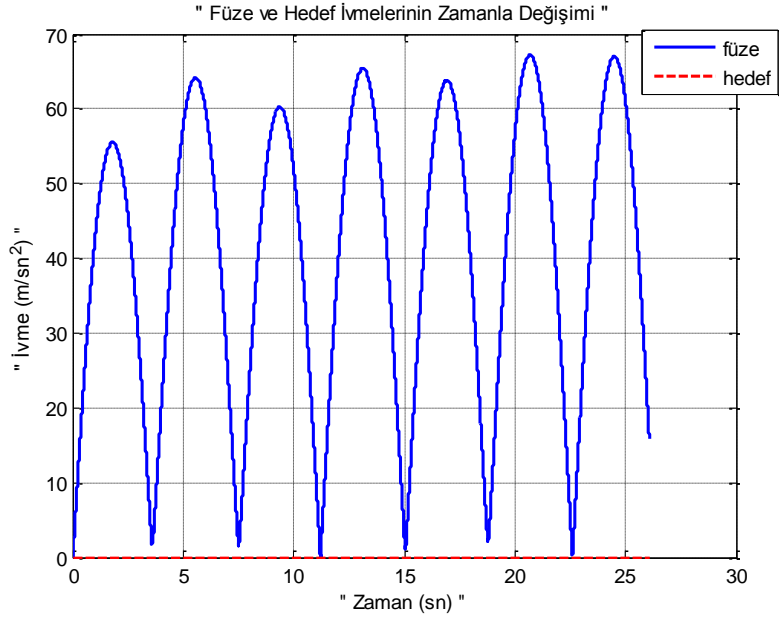
**Şekil 4.70** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



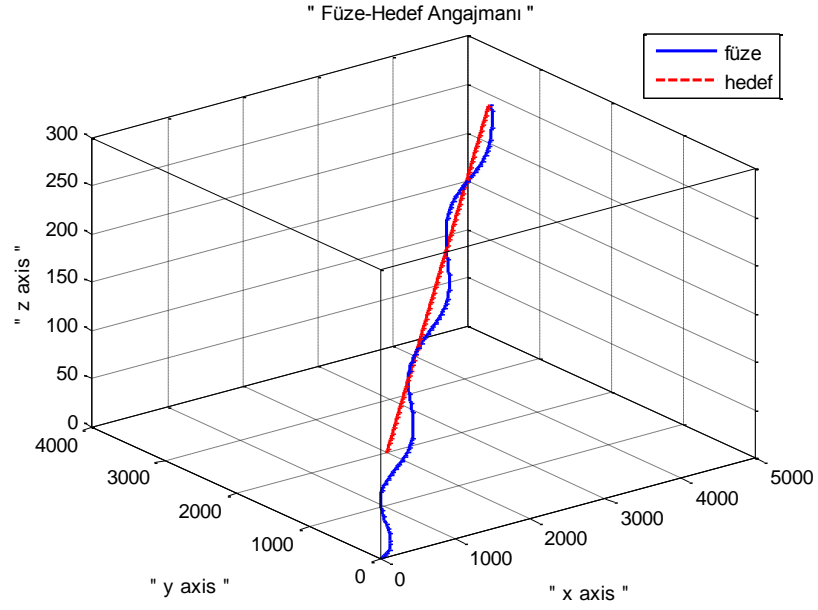
**Şekil 4.71** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



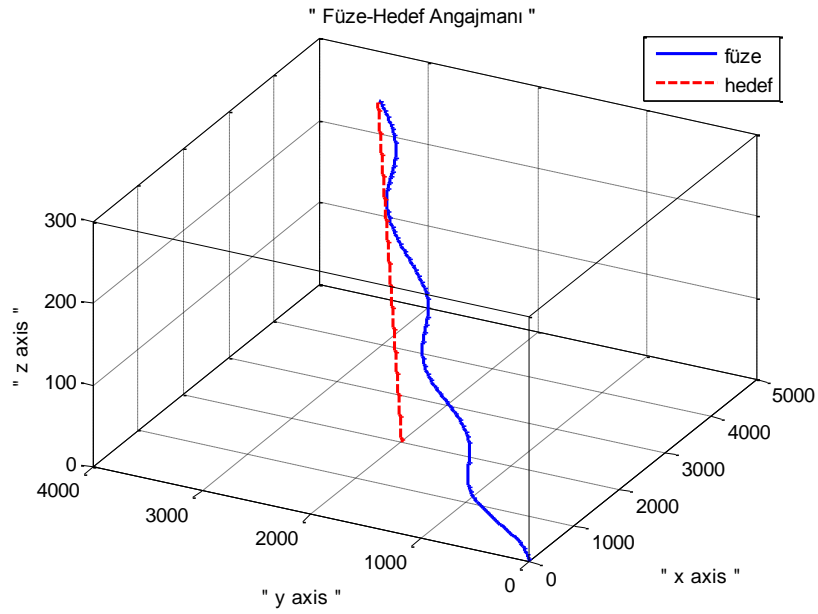
**Şekil 4.72** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.73** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.74** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

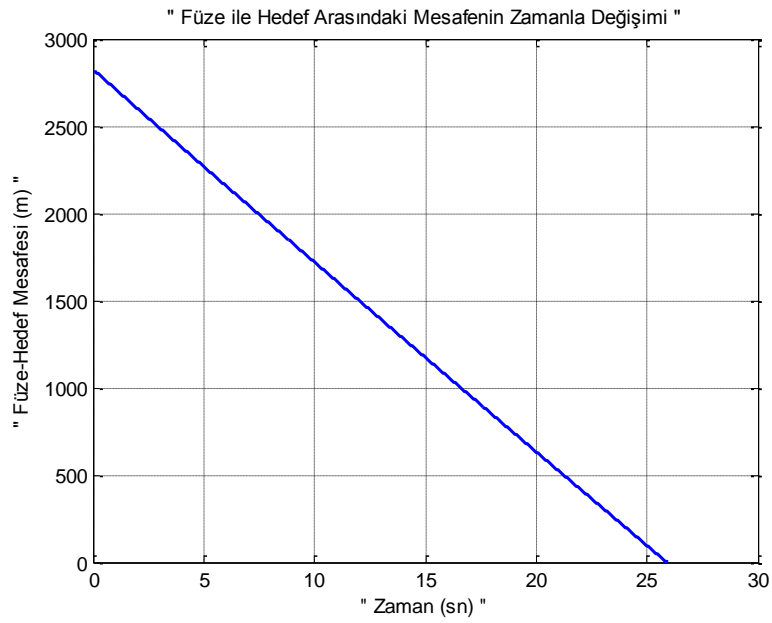


**Şekil 4.75** Sabit hızlı hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

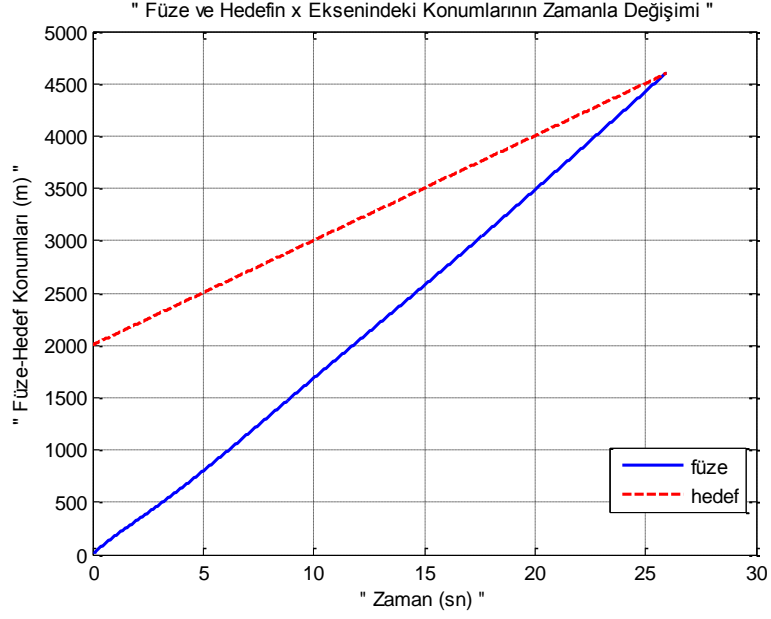
#### 4.1.3.5. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için düzeltilmiş komuta kontrollü güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

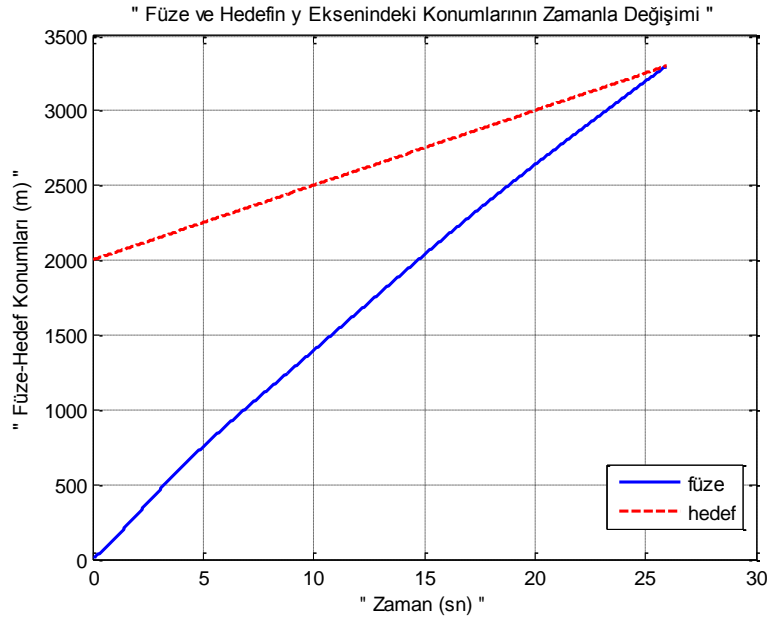
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 500$ ,  $K_d = 200$  ve  $K_f = 0.001$  olarak alınmıştır.



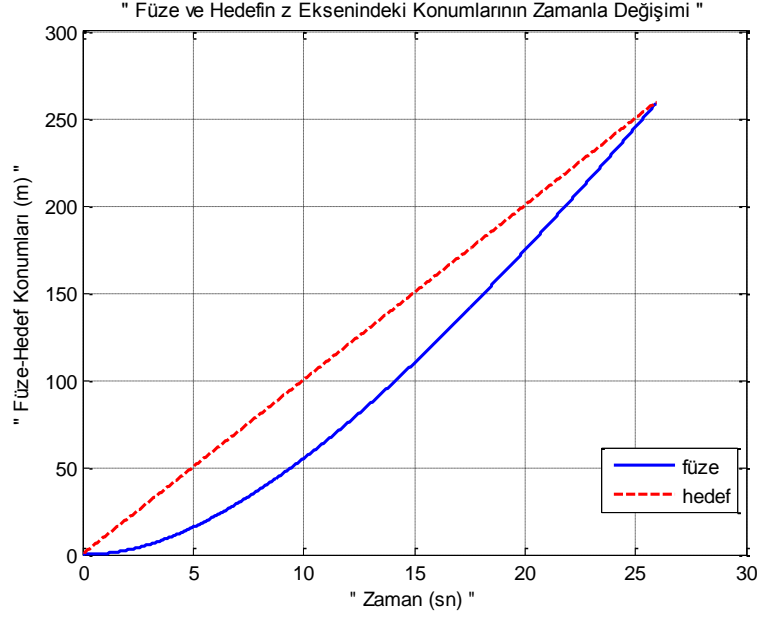
**Şekil 4.76** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



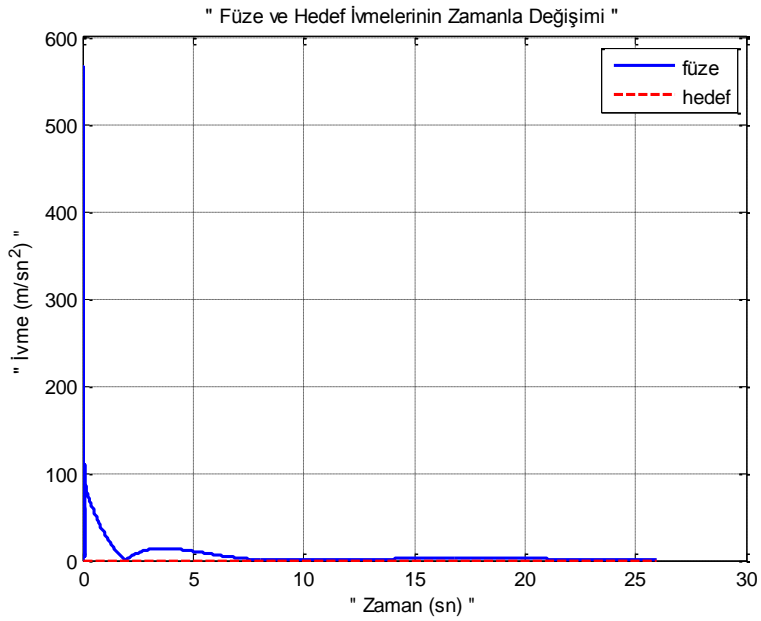
**Şekil 4.77** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



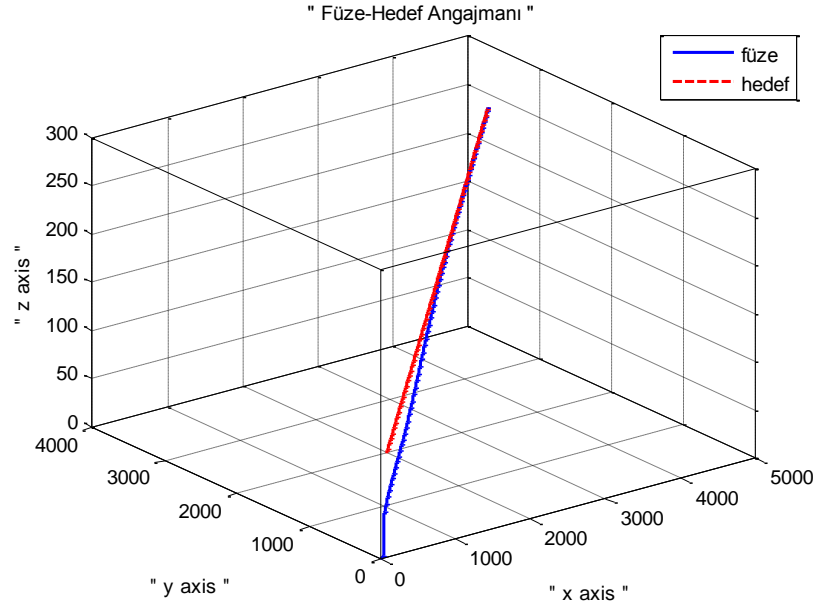
**Şekil 4.78** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



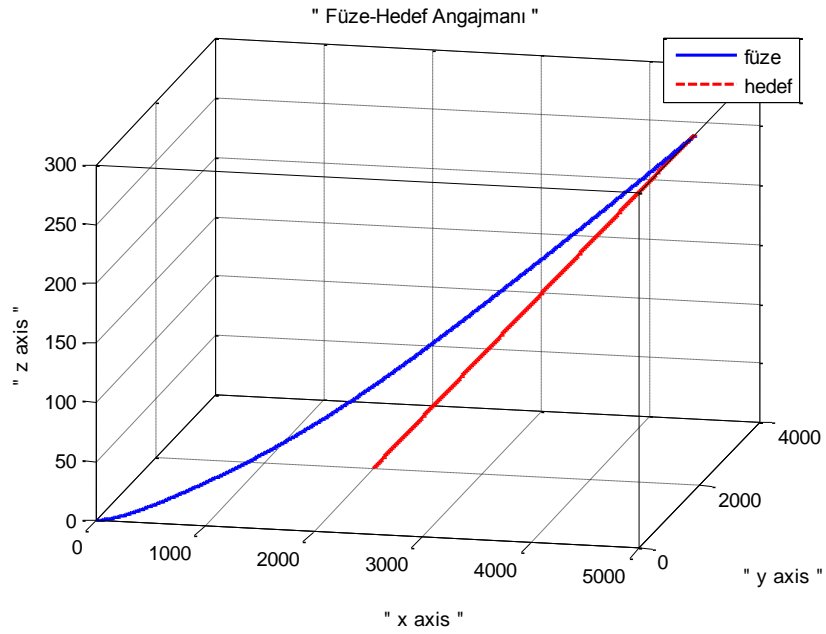
**Şekil 4.79** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.80** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.81** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

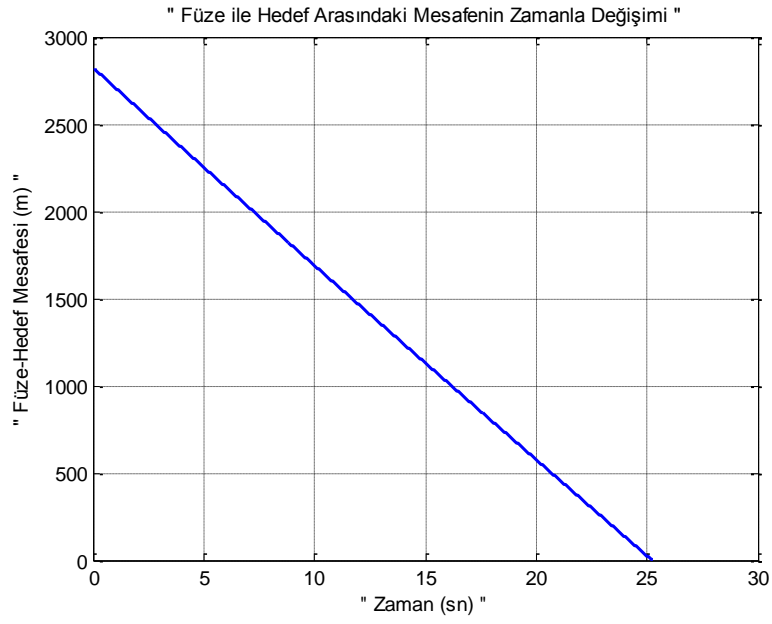


**Şekil 4.82** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.3.6. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

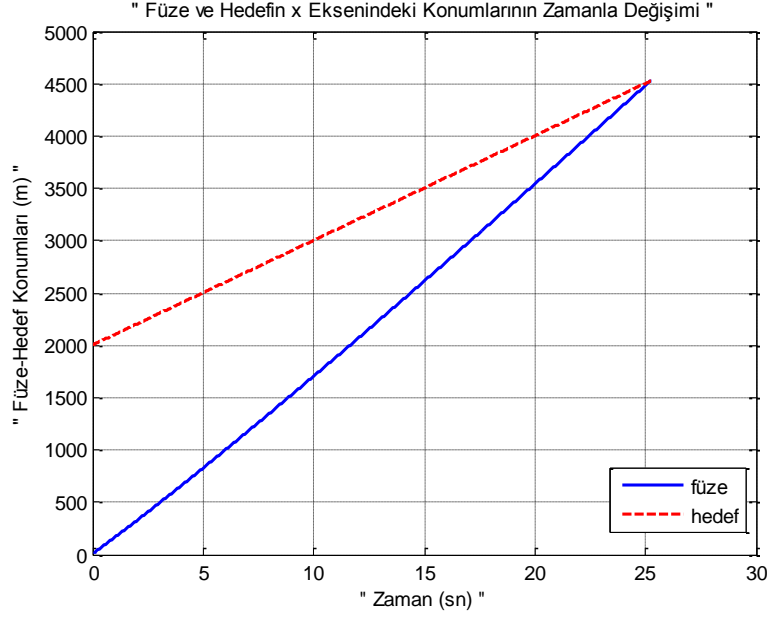
Bu kısımda, sabit hızlı hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 10$ ,  $K_d = 10$  ve  $K_f = 0.001$  alınmıştır.

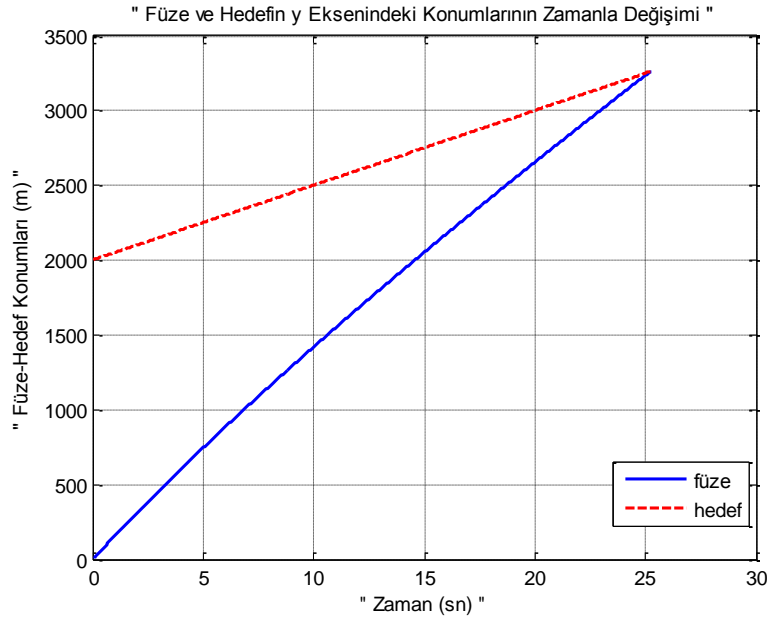


**Şekil 4.83** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi

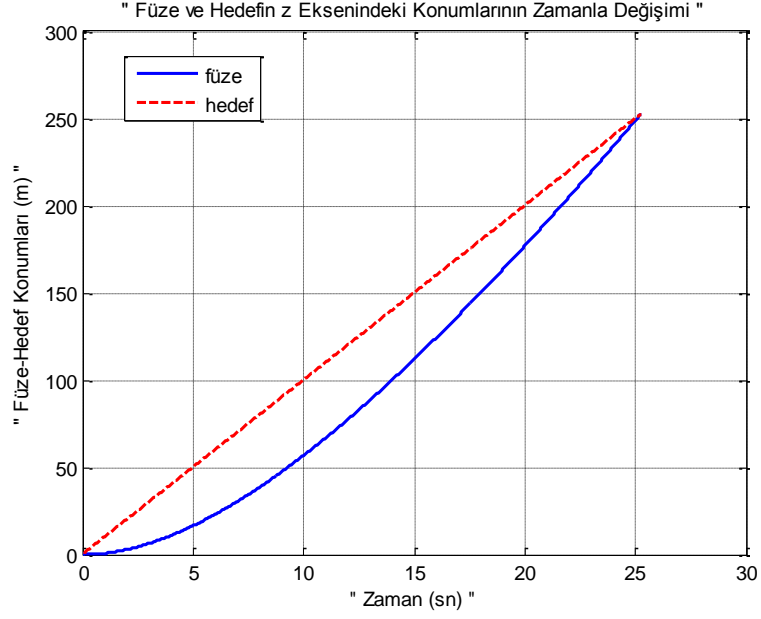




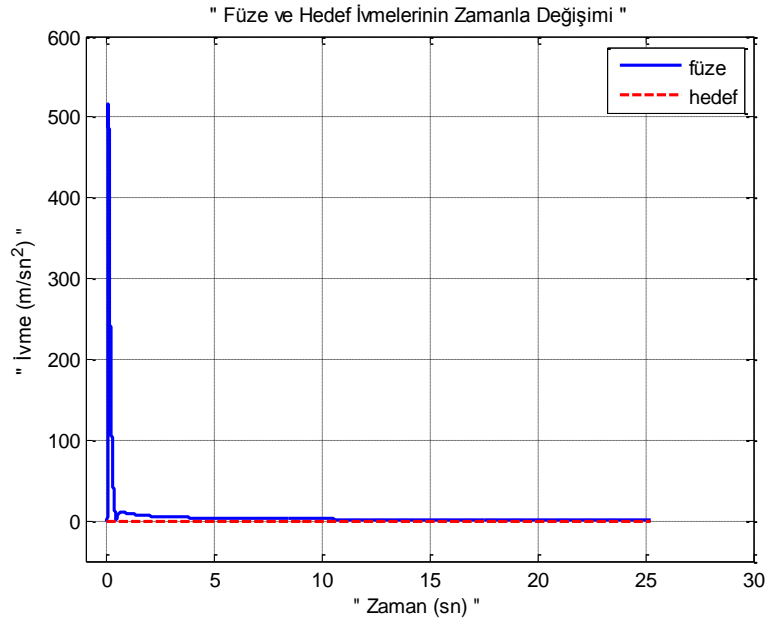
**Şekil 4.84** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



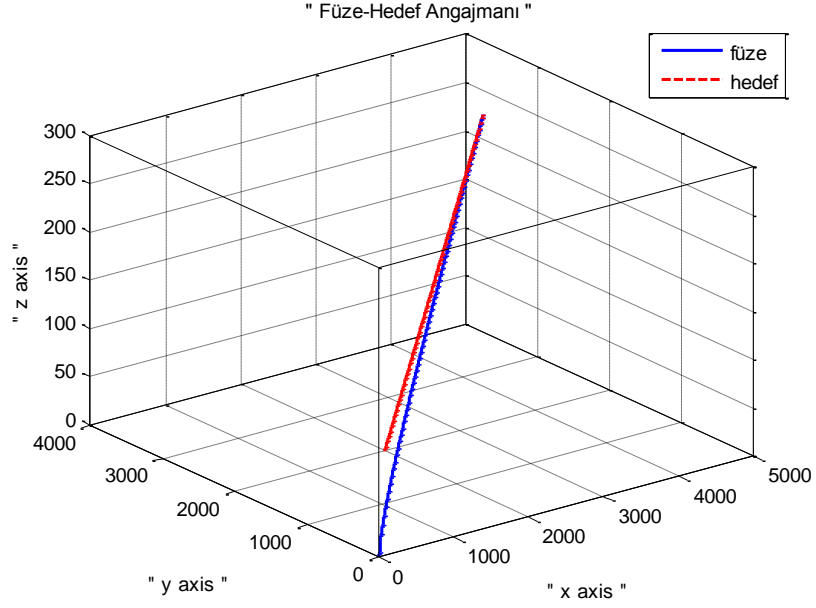
**Şekil 4.85** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



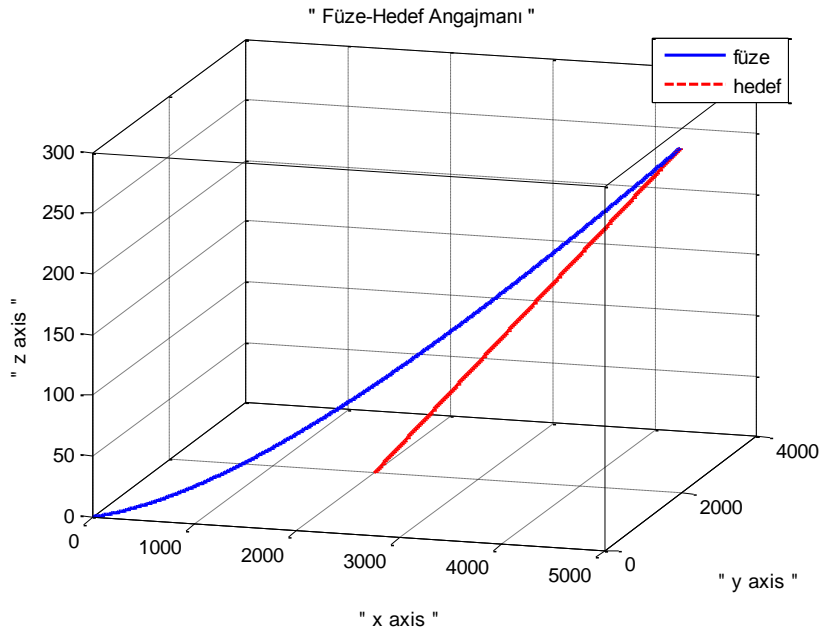
**Şekil 4.86** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.87** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.88** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.89** Sabit hızlı hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.3.7. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde, sabit hızlı hedef senaryosu için gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile elde edilmiş sonuçlar verilecek ve daha önce grafiklerle de gösterilmiş olan bazı sonuçlar çizelgelerle daha net şekilde tartışılacaktır. Böylece sabit hızlı hedef senaryosu için farklı güdüm yöntemlerinden hangisinin ya da hangilerinin daha iyi performans verdiği belirlenecektir.

**Çizelge 4.3** Sabit hızlı hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0087	0.1235	43.7603	26.4612	1.7189	0.0752

Çizelge 4.3' de sabit hızlı hedef senaryosu için tüm güdüm yöntemlerinin koşturulması sonucunda elde edilen füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere PN, PG ve MBR güdüm yöntemleri, hedefi tam olarak vurmaya başarmışlardır. MCLOS yönteminin koşturulması sonucunda ise çok küçük bir kaçırma mesafesi ortaya çıkmıştır. CLOS ve BR yöntemleri ise bu senaryo için diğer yöntemlere göre daha düşük performans sergilemişlerdir.

**Çizelge 4.4** Sabit hızlı hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri

	<b>Hedef</b>	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>	0	2.3464	5.6449	142.8406	40.6814	6.3990	5.3257

Çizelge 4.4' de, hedef toplam ivmesinin ve füzeye uygulanan toplam ivmenin, benzetim çalışması esnasındaki ortalama değeri gösterilmektedir. Bu senaryoda hedef sabit hızlı olarak hareket etmektedir. Bu nedenle ivmesi sıfırdır. Çizelge 4.3' deki veriler ışığında en iyi performansları PN, PG ve MBR yöntemlerinin sağladığı belirtilmişti. Çizelge 4.4' den de görüldüğü üzere bu yöntemler en az toplam ivme çeken yöntemlerdir. Buna ek olarak, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4' deki veriler dikkatle incelendiğinde sapma değerleri ile füzeye uygulanan ivme değerlerinin

birbiriyle orantılı olduğu görülmektedir. Kısaca, hassas biçimde vurmak için yüksek ivmeye gerek yoktur. PN bu açıdan üstündür: en az ivme ile en hassas vuruş!

Benzetim sonrasında elde edilen grafikler ve yukarıda gösterilen çizelgeler incelendiğinde, sabit hızlı hedef senaryosu için PN, PG ve MBR güdüm yöntemleri en iyi performansları sağlamışlardır. Ancak füzeye uygulanan toplam ivme değeri PN yönteminde diğer iki yönteme göre daha küçük olduğu için, bu yöntemin biraz daha avantajlı olduğu söylenebilir.

#### 4.1.4. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu

Bu senaryoda, hedef, belirli bir ilk hız ve ivme değerine sahip olarak hareket etmektedir. Füze ise belirli bir konumdan, yine belirli bir ilk hız ve ivmeye sahip olacak şekilde hedefe yönelmeye çalışacaktır.

Aşağıda sabit ivmeli hedef senaryosu gösterilmektedir.

Senaryo:

Füze:

$$a_{mx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{my} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{mz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

Hedef:

$$a_{tx} = 5 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{ty} = 10 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{tz} = 3 \text{ m/sn}^2$$

Aşağıda bu senaryo için kullanılacak olan başlangıç koşulları gösterilmektedir.

İlk Koşullar:

Füze:

$$X_m = 1000 \text{ m}$$

$$Y_m = 1000 \text{ m}$$

$$Z_m = 0 \text{ m}$$

$$V_{mx} = 400 \text{ m/s}$$

Hedef:

$$X_t = 2000 \text{ m}$$

$$Y_t = 2000 \text{ m}$$

$$Z_t = 0 \text{ m}$$

$$V_{tx} = 100 \text{ m/s}$$

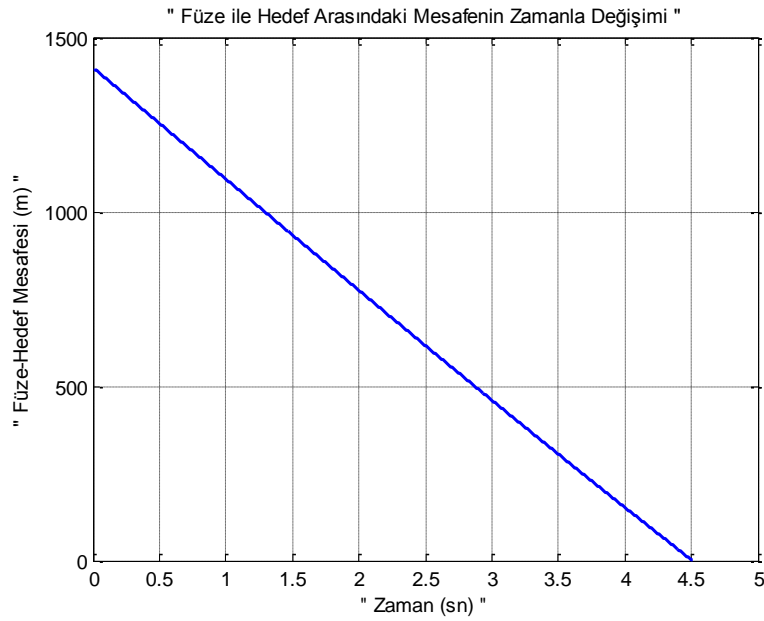
$$V_{my} = 200 \text{ m/s} \quad V_{ty} = 50 \text{ m/s}$$

$$V_{mz} = 20 \text{ m/s} \quad V_{tz} = 10 \text{ m/s}$$

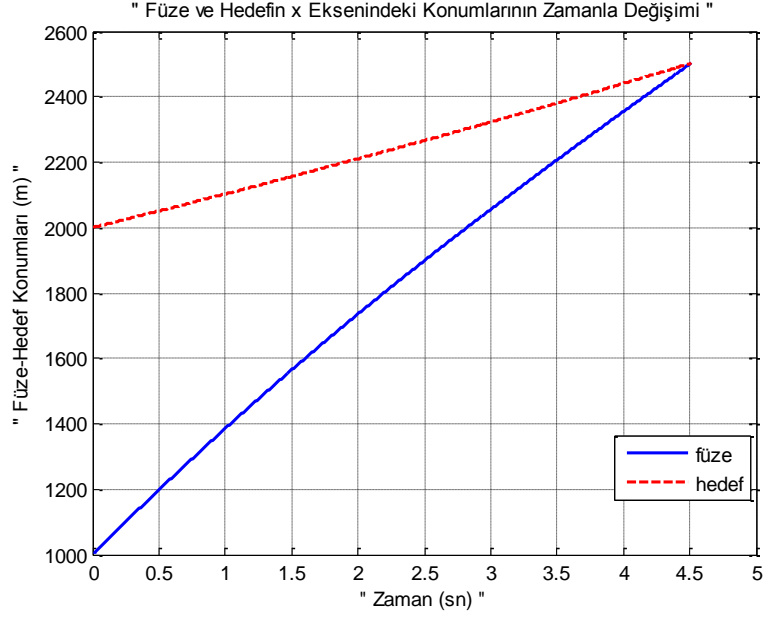
#### 4.1.4.1. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Oransal Seyir GÜdümü Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için oransal seyir güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

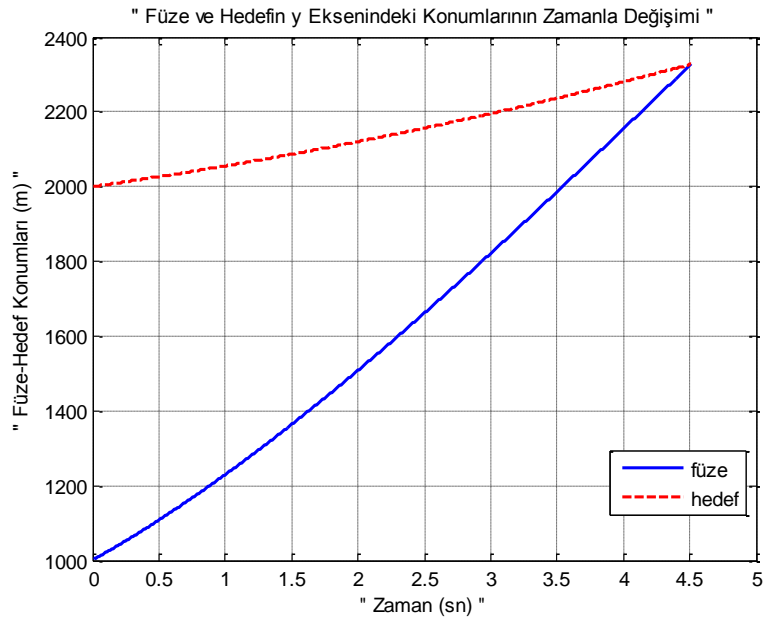
Benzetim çalışması sırasında oransal güdüm sabiti  $N=3$  alınmıştır.



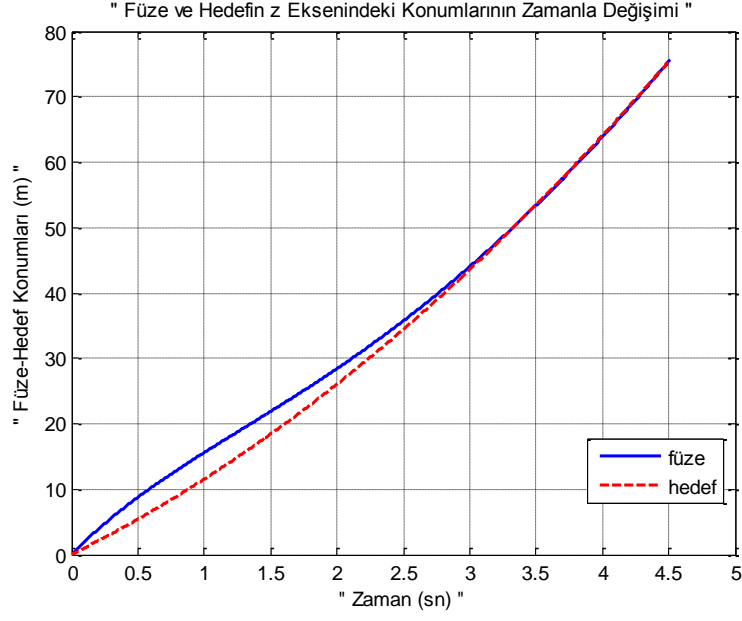
**Şekil 4.90** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



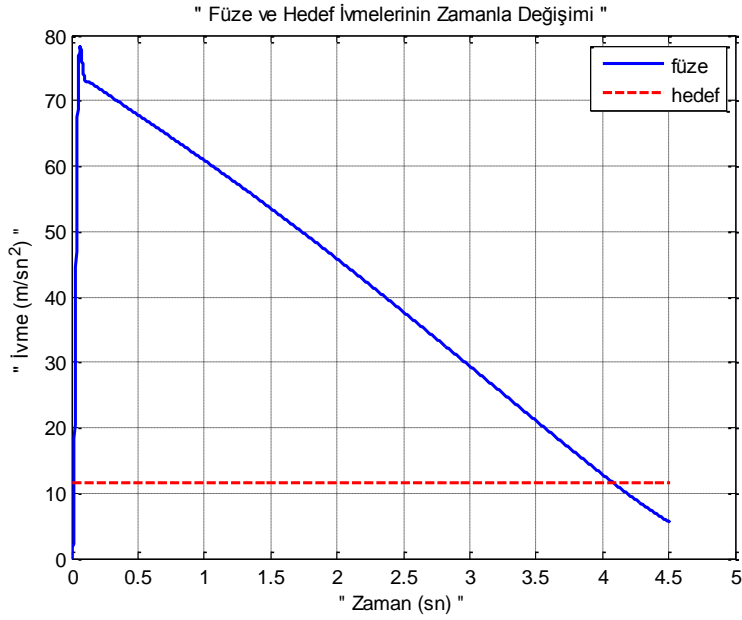
**Şekil 4.91** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.92** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

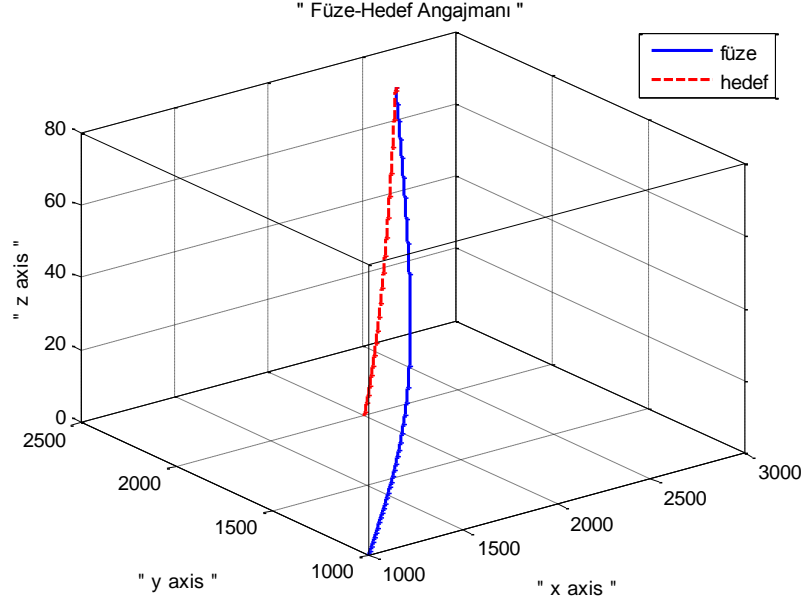


**Şekil 4.93** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdüümü yapan füzve, füzve ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

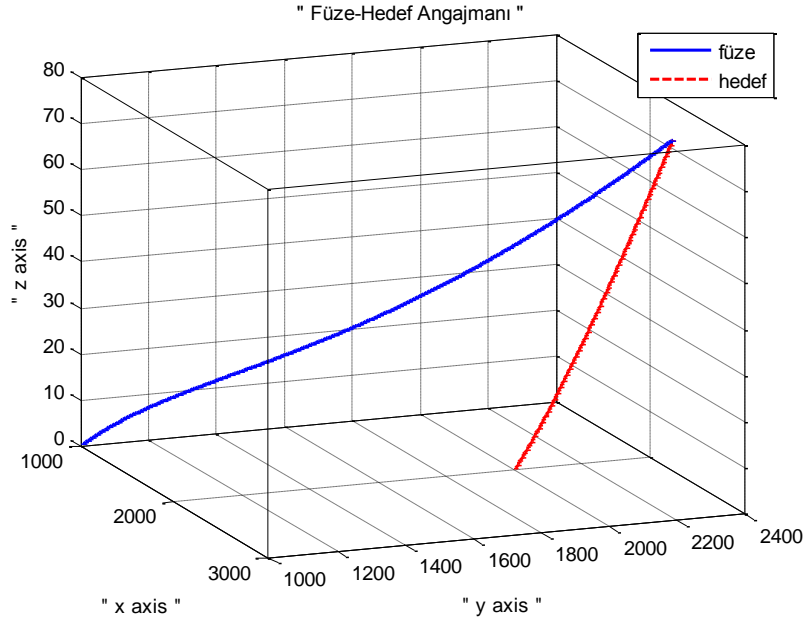


**Şekil 4.94** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdüümü yapan füzve, füzve ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.95** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

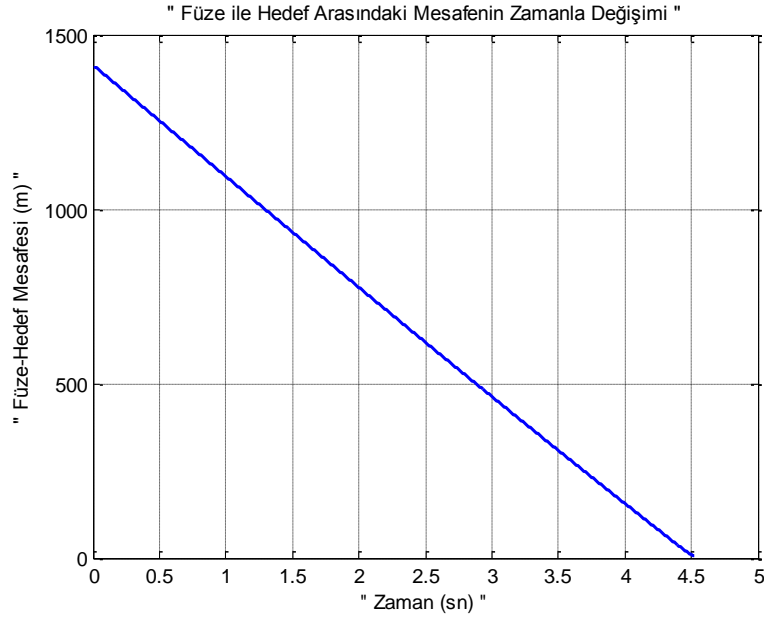


**Şekil 4.96** Sabit ivmeli hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

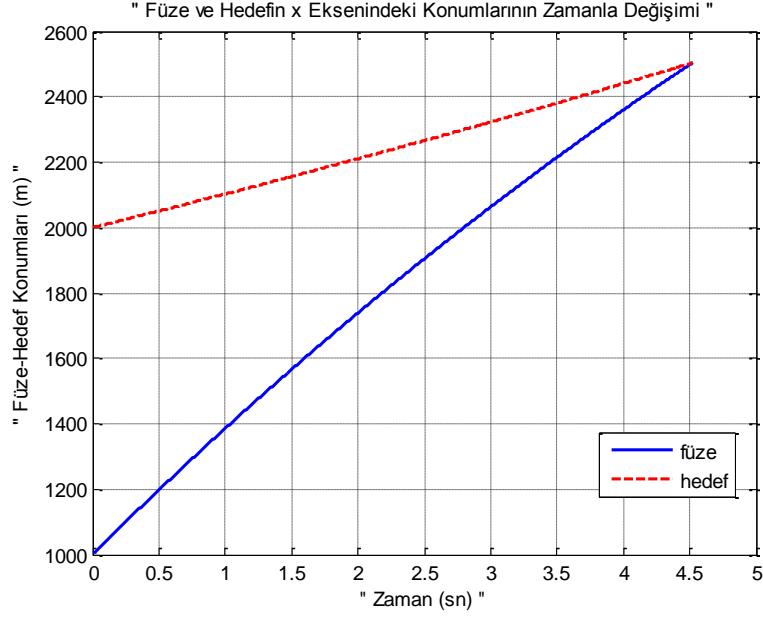
#### 4.1.4.2. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

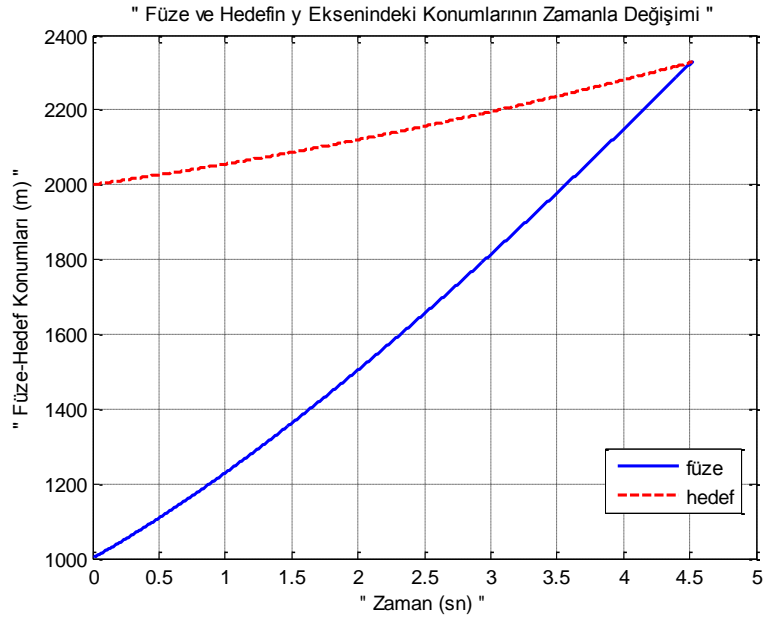
Benzetim alışması sırasında güdüm sabiti  $K=220$  alınmıştır.



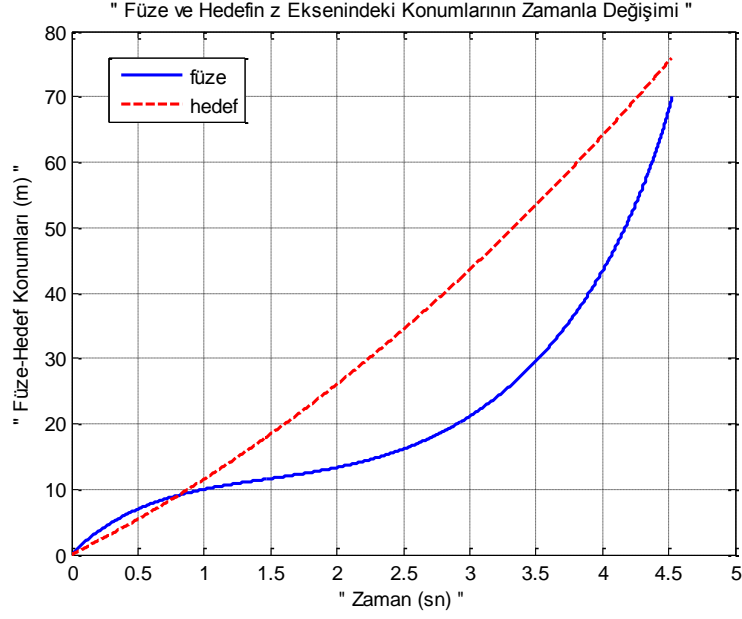
**şekil 4.97** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



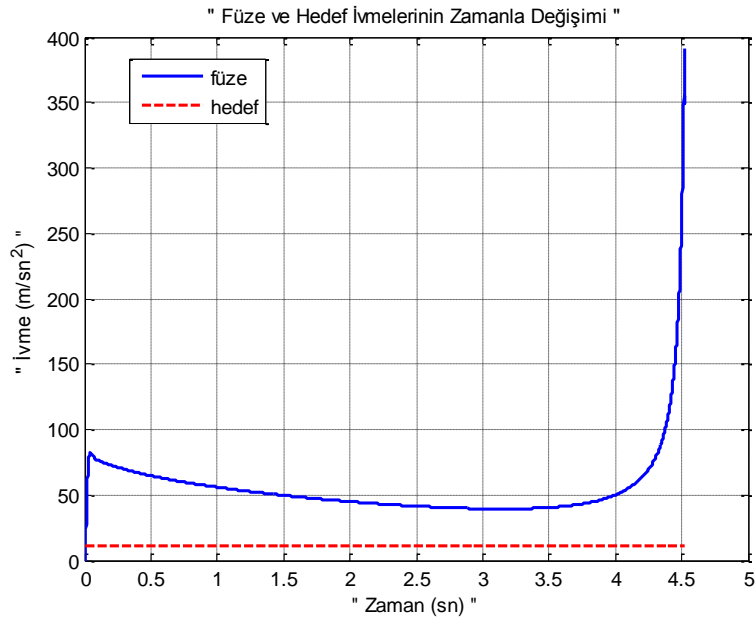
**Şekil 4.98** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



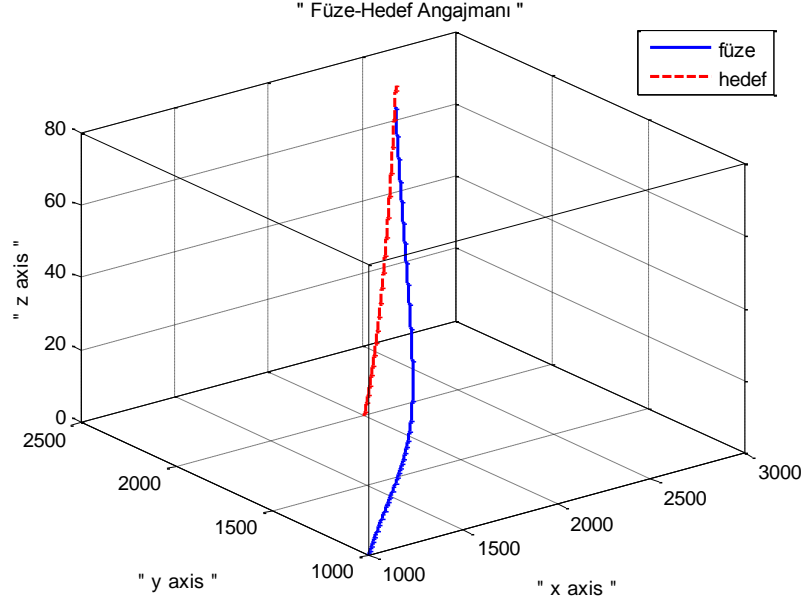
**Şekil 4.99** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



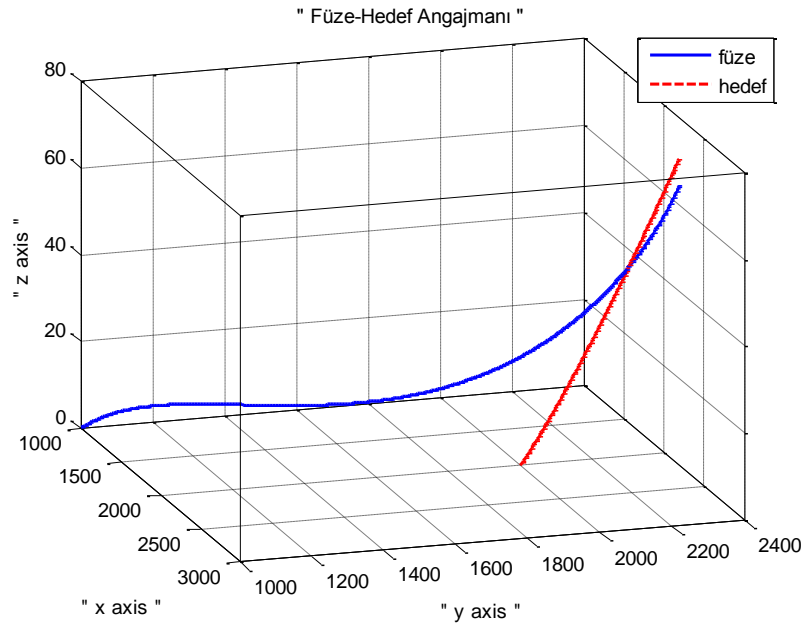
**Şekil 4.100** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.101** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füzeye, füzeye ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.102** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

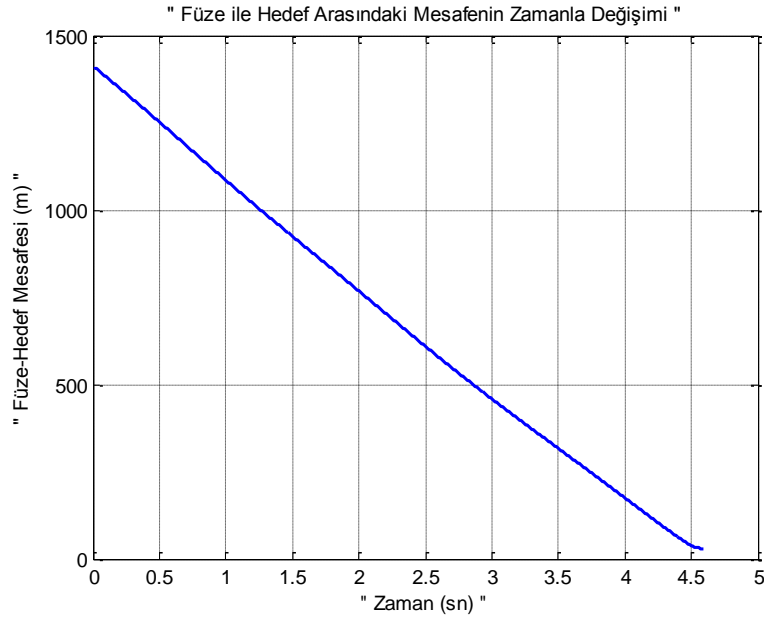


**Şekil 4.103** Sabit ivmeli hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

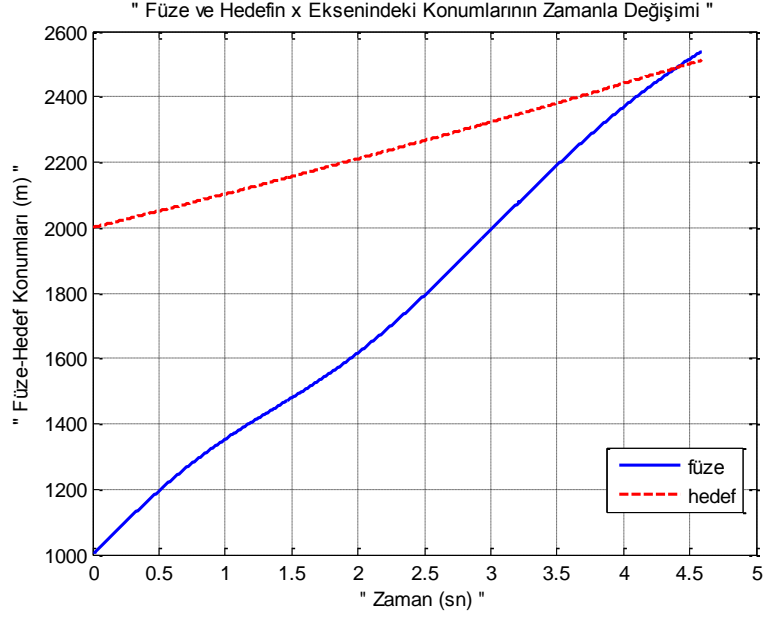
#### 4.1.4.3. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için komuta kontrollü görüş hattı güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

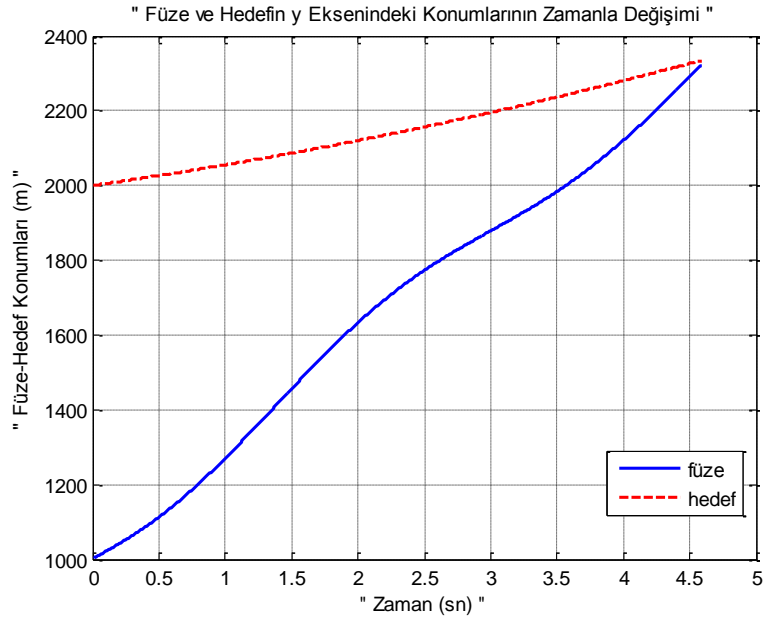
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=9000$  alınmıştır.



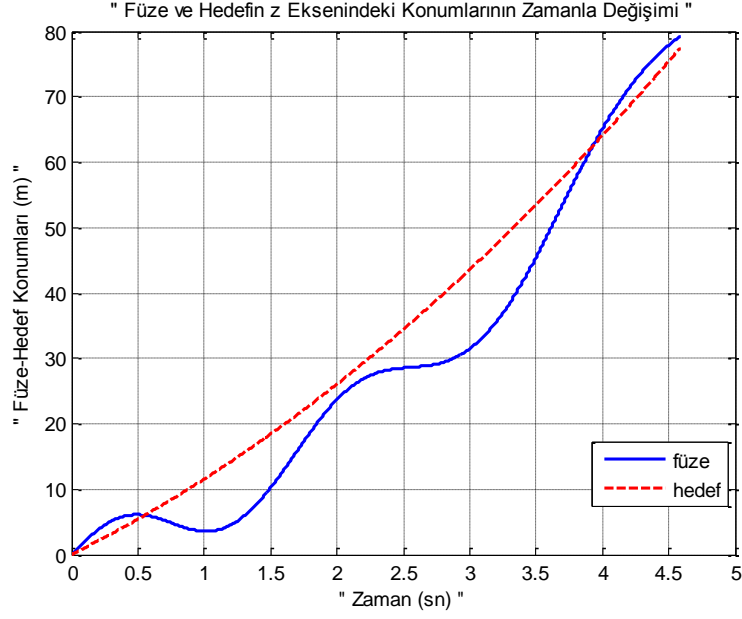
**Şekil 4.104** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



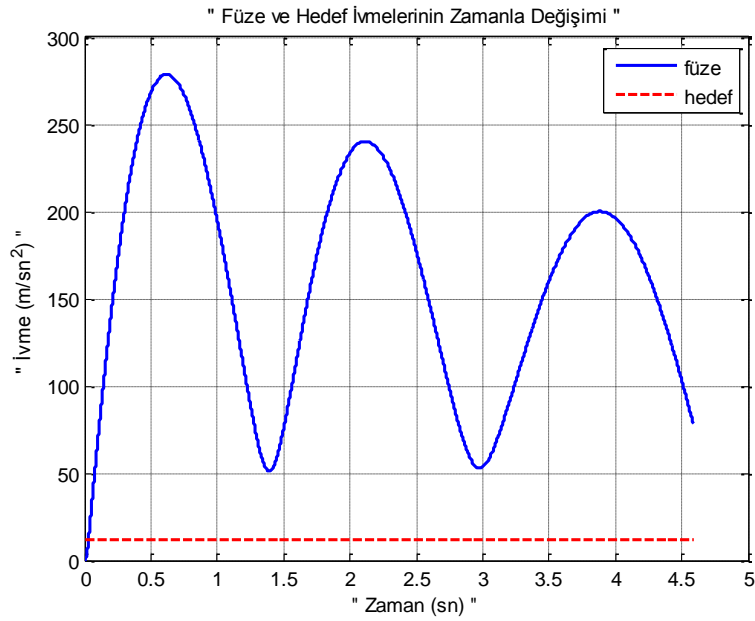
**Şekil 4.105** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.106** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

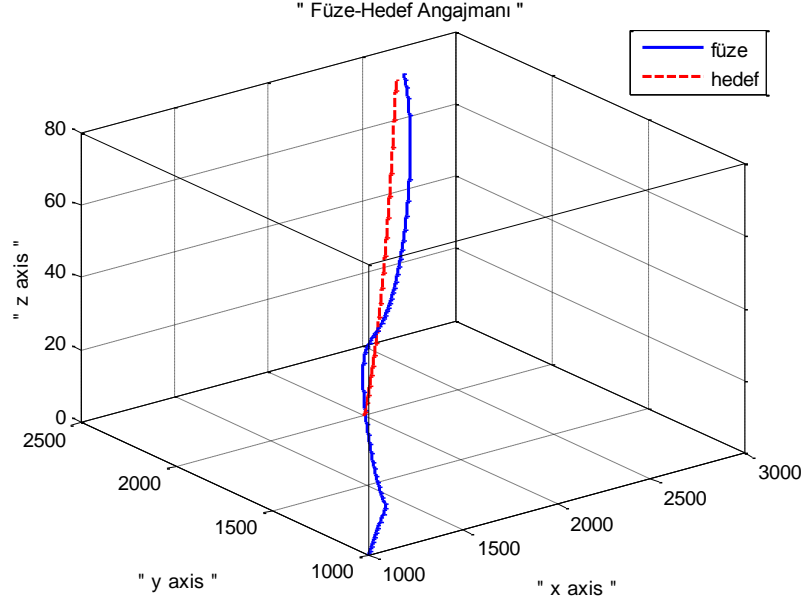


**Şekil 4.107** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

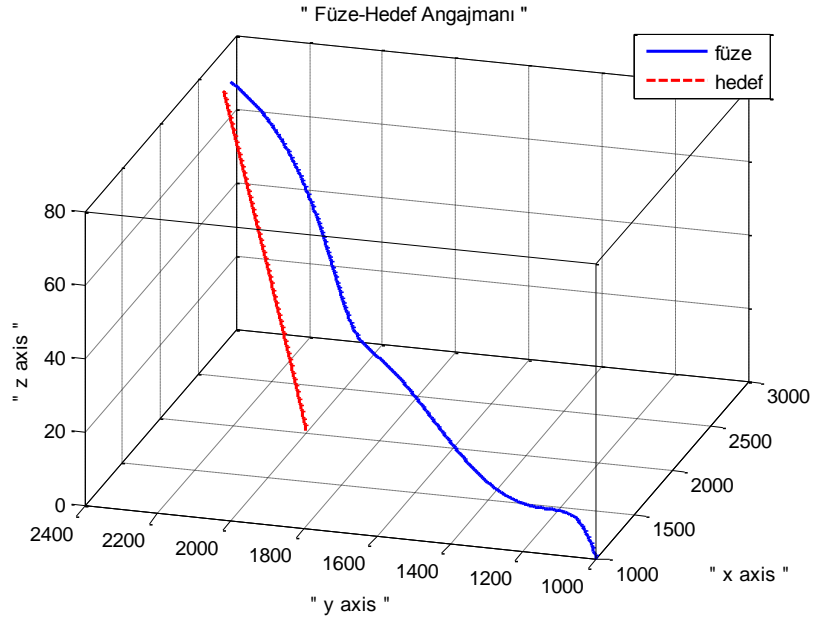


**Şekil 4.108** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.109** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

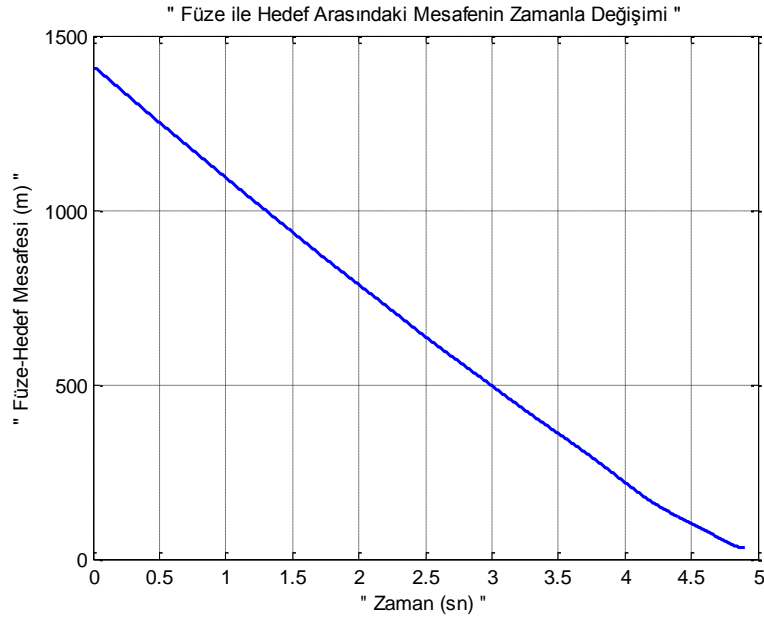


**Şekil 4.110** Sabit ivmeli hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

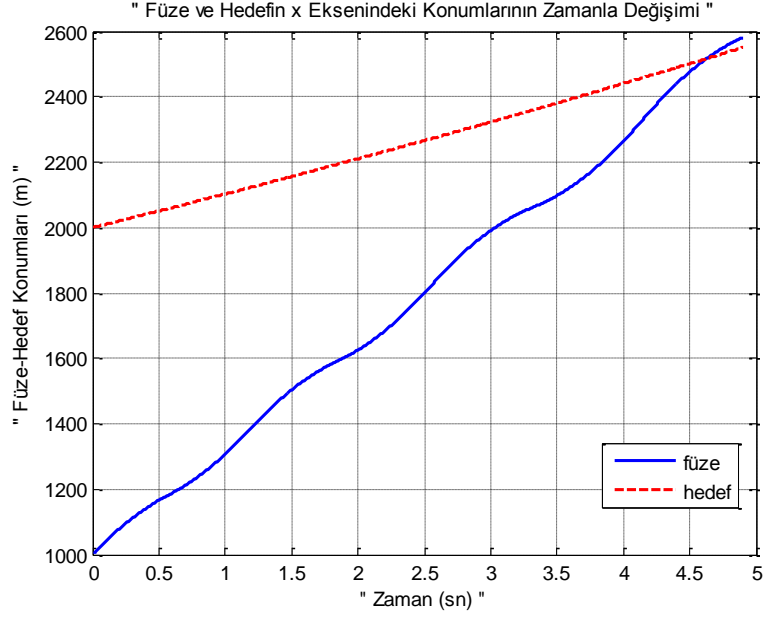
#### 4.1.4.4. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Işın İzleme GÜdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için ışın izleme güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

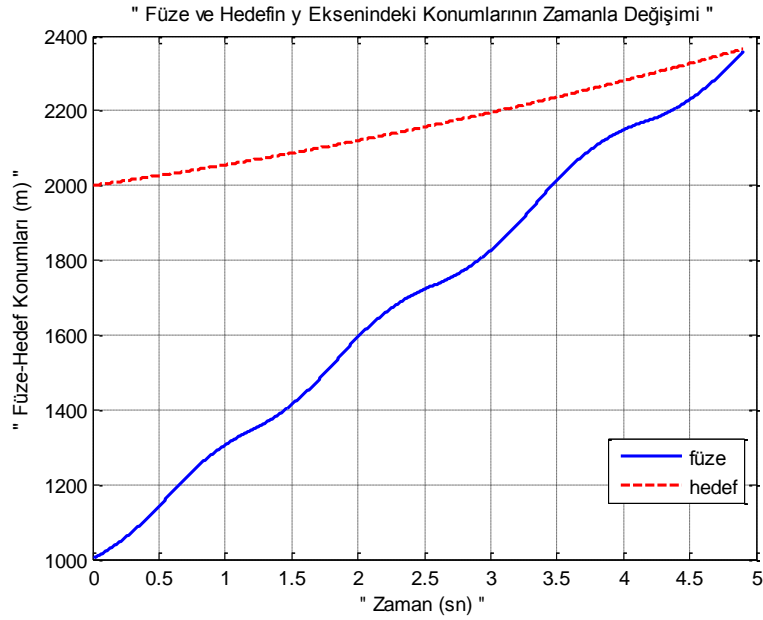
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=50$  alınmıştır.



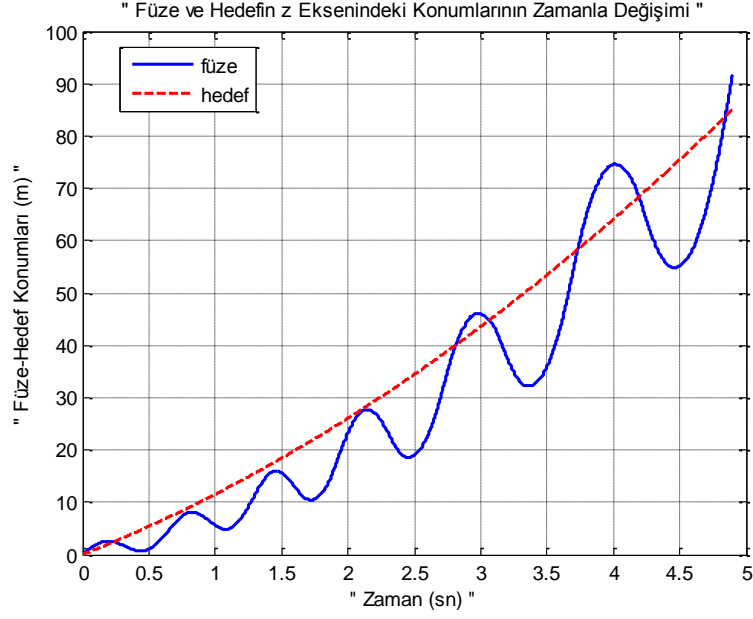
**Şekil 4.111** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzle, füzle ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



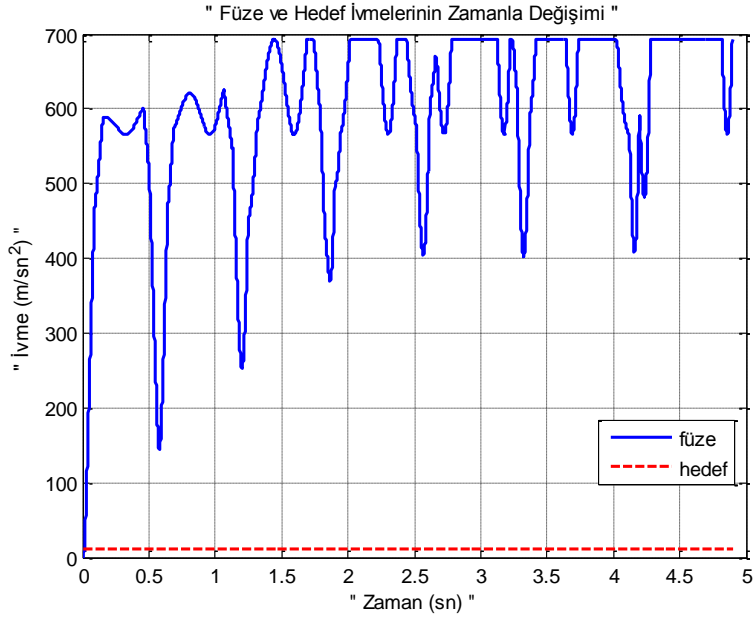
**Şekil 4.112** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



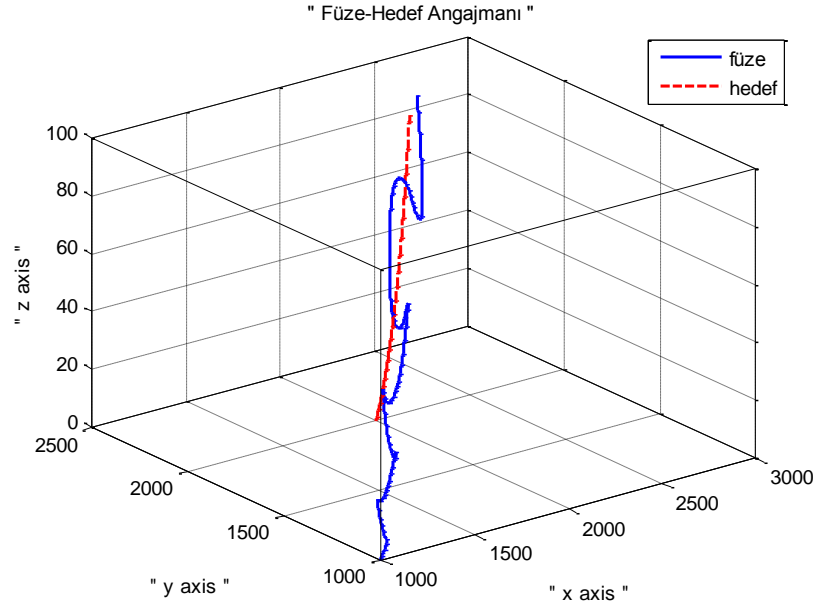
**Şekil 4.113** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzeye, füzeye ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



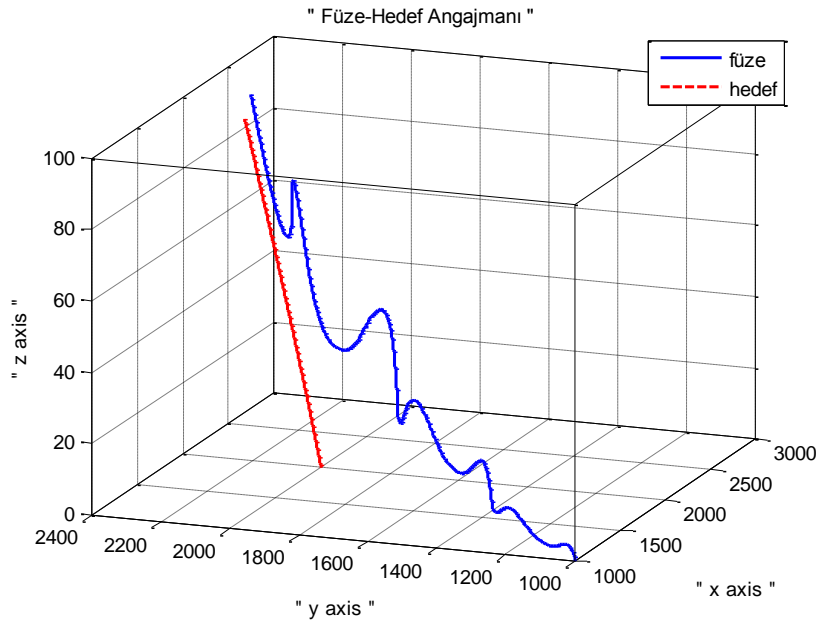
**Şekil 4.114** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.115** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.116** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

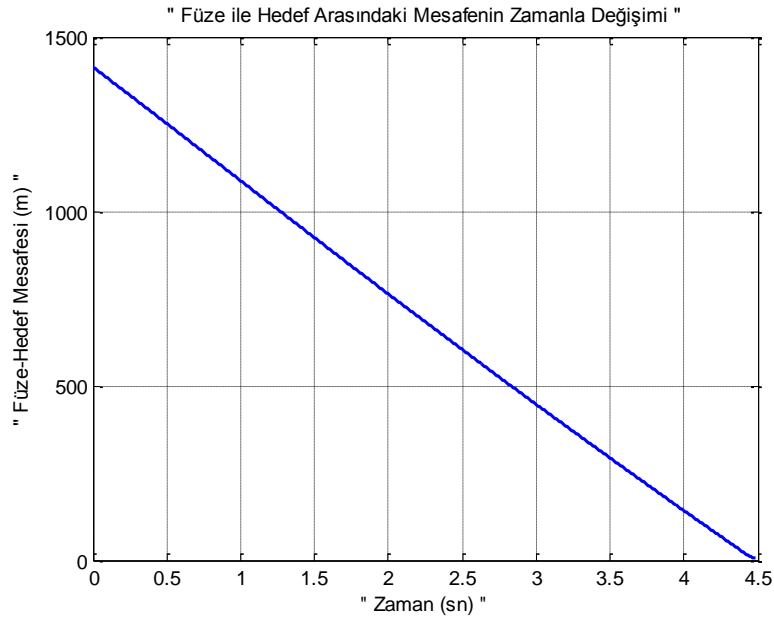


**Şekil 4.117** Sabit ivmeli hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

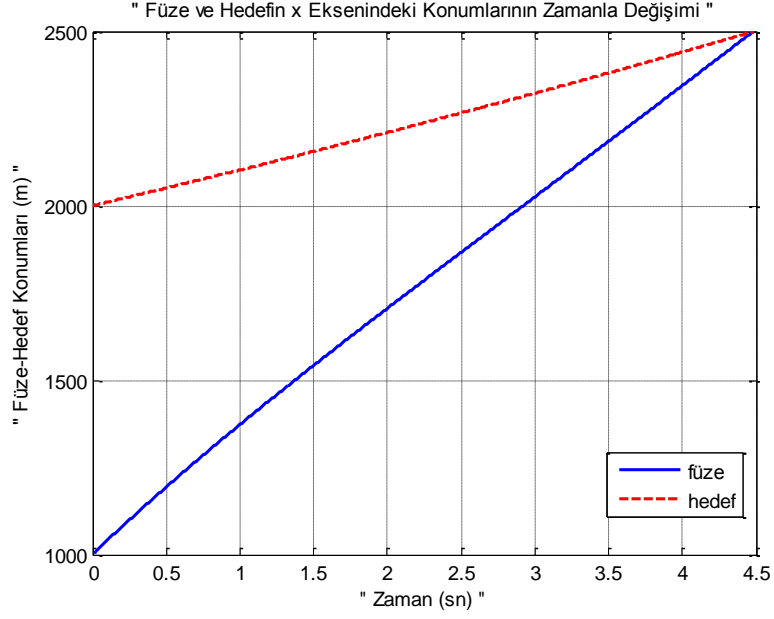
#### 4.1.4.5. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için düzeltilmiş komuta kontrollü güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

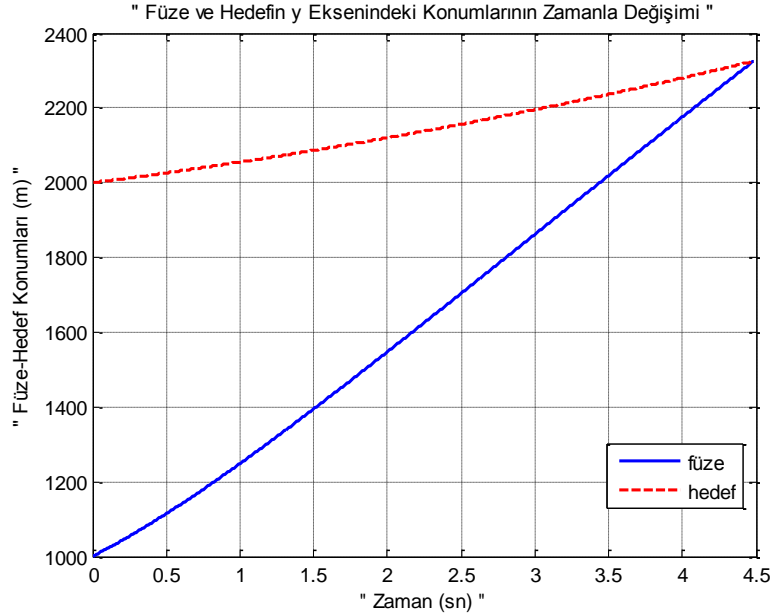
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 1500$ ,  $K_d = 1700$  ve  $K_f = 0.001$  olarak alınmıştır.



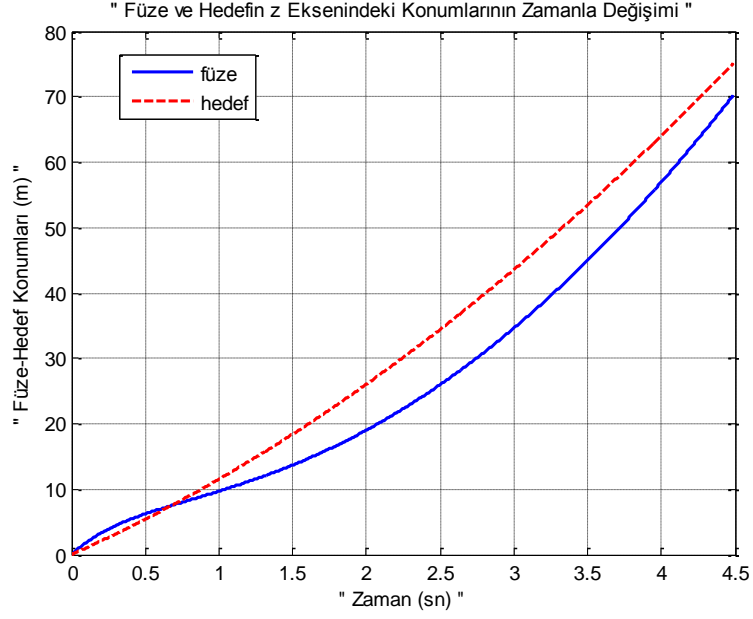
**Şekil 4.118** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



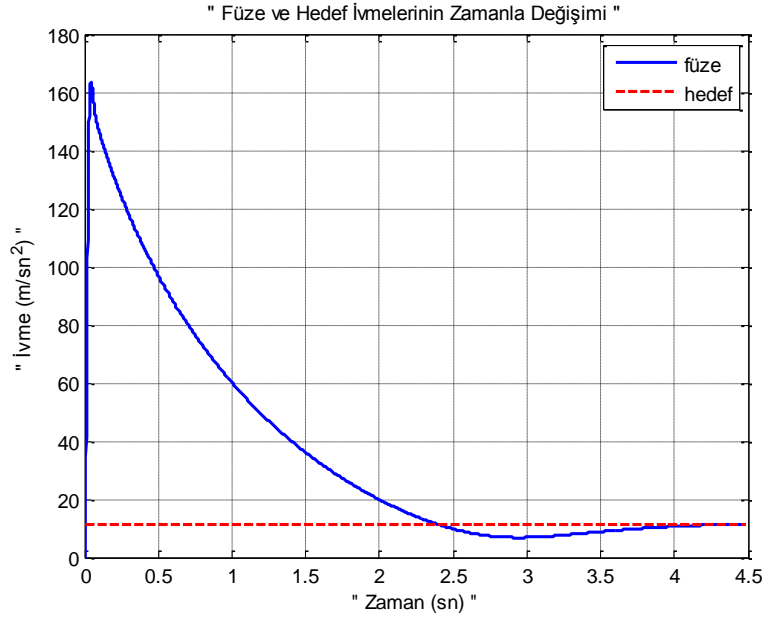
**Şekil 4.119** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.120** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

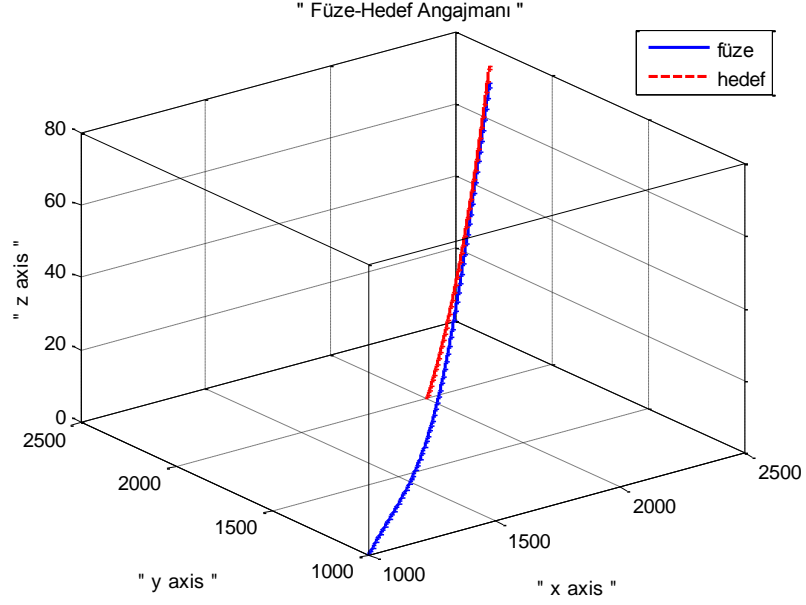


**Şekil 4.121** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz ve hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

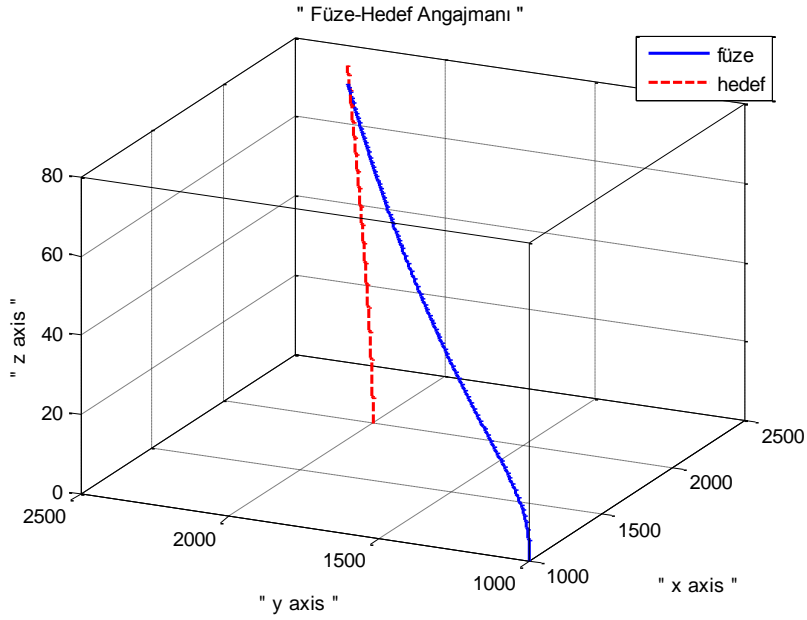


**Şekil 4.122** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füz ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi





**Şekil 4.123** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı

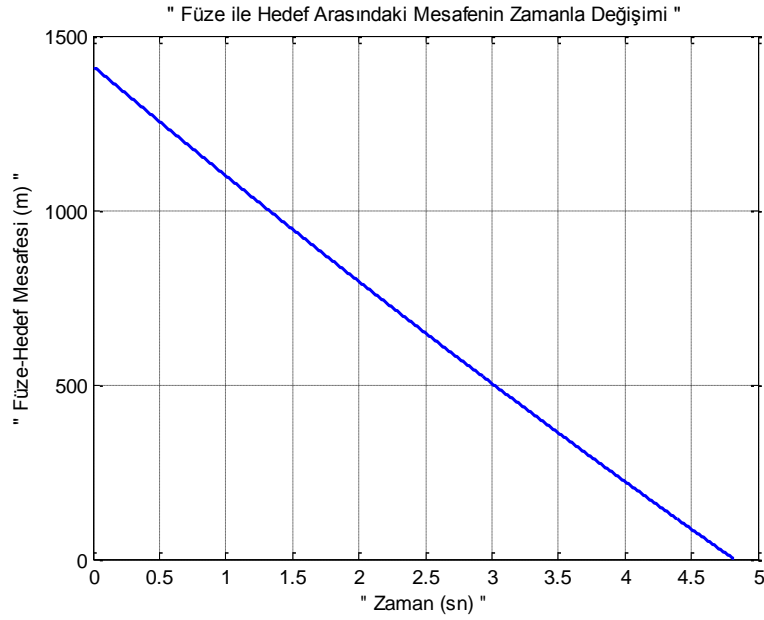


**Şekil 4.124** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

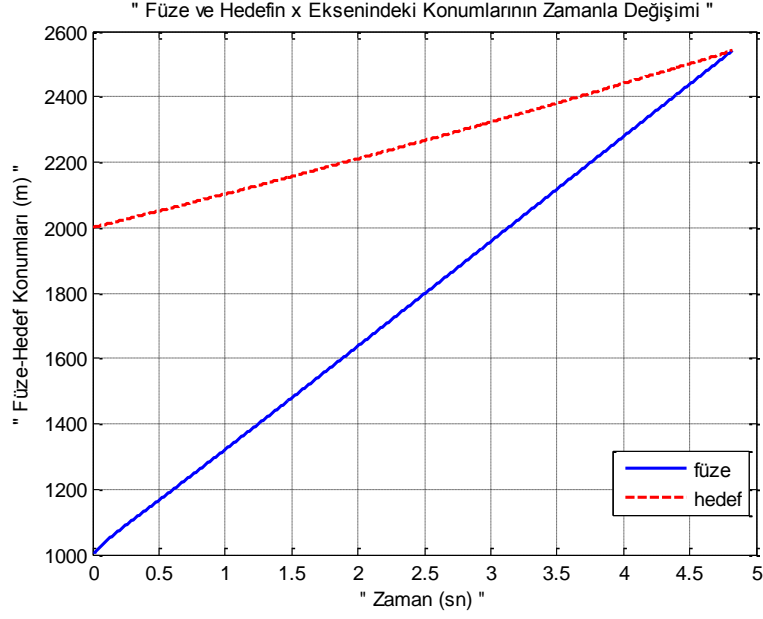
#### 4.1.4.6. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

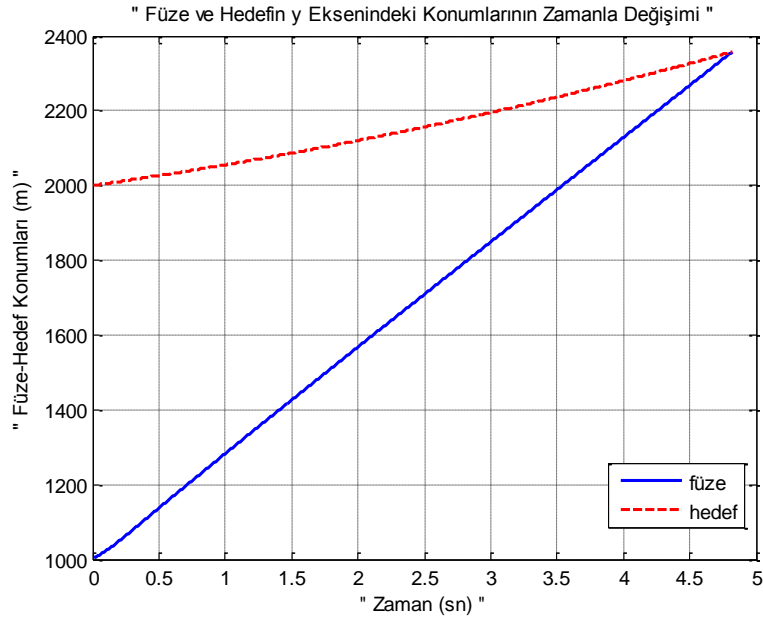
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 20$ ,  $K_d = 20$  ve  $K_f = 0.001$  alınmıştır.



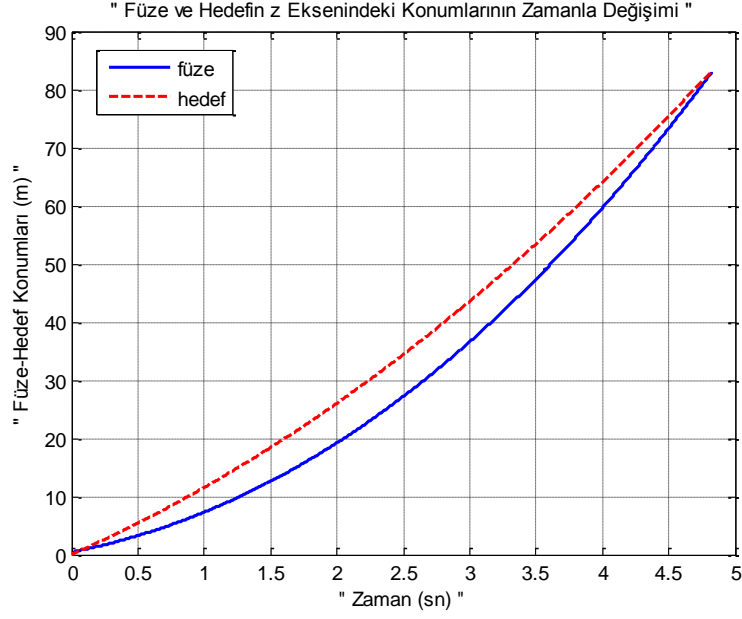
**Şekil 4.125** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



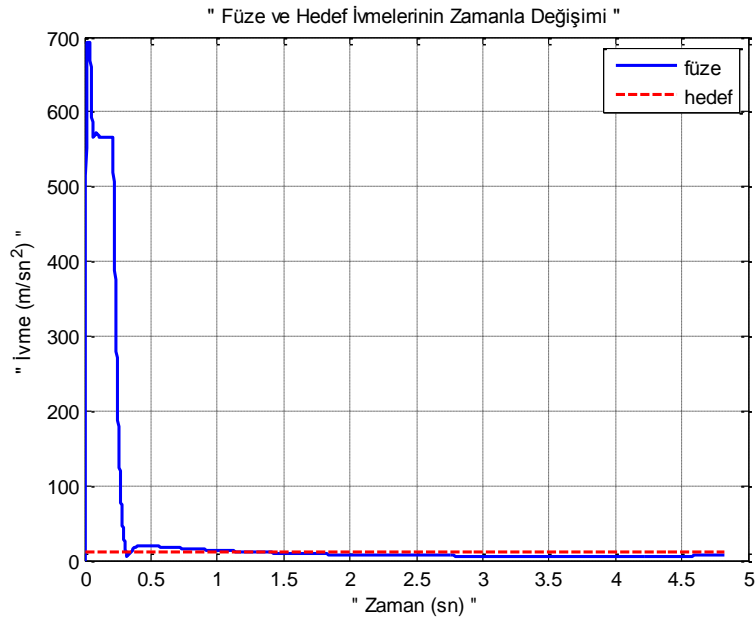
**Şekil 4.126** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



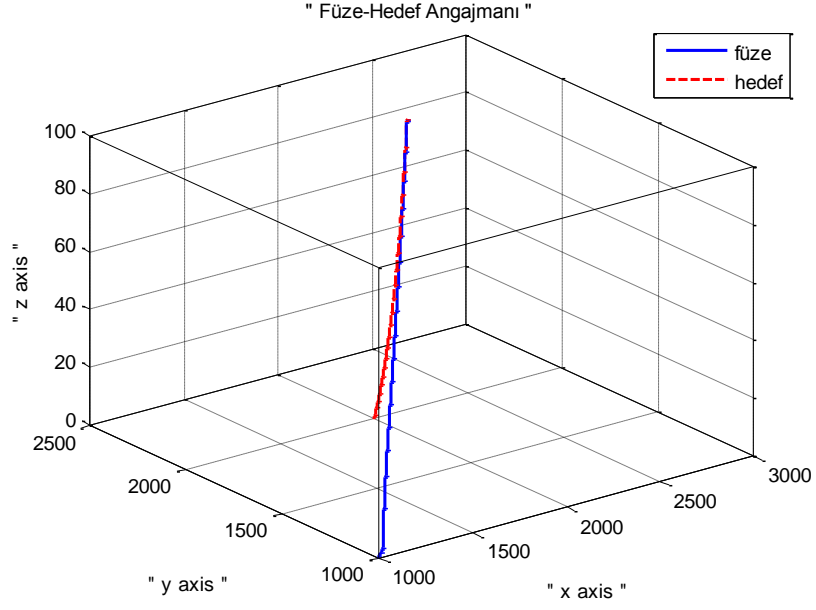
**Şekil 4.127** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



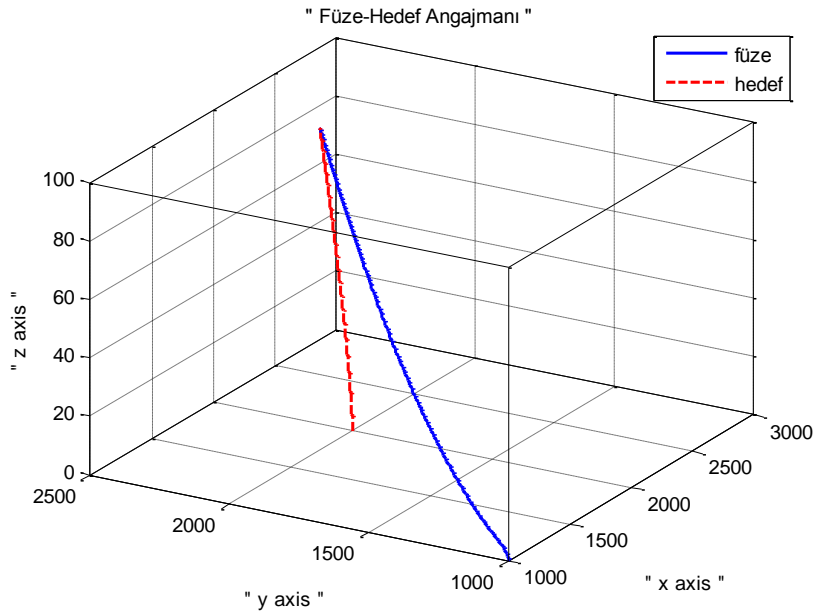
**Şekil 4.128** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.129** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.130** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.131** Sabit ivmeli hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

#### 4.1.4.7. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar

Bu kısımda, sabit ivmeli hedef senaryosu için gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile elde edilmiş sonuçlar verilecek ve daha önce grafiklerle de gösterilmiş olan bazı sonuçlar çizelgelerle daha net şekilde tartışılacaktır. Böylece sabit ivmeli hedef senaryosu için farklı güdüm yöntemlerinden hangisinin ya da hangilerinin daha iyi performans verdiği belirlenecektir.

**Çizelge 4.5** Sabit ivmeli hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0135	6.0854	29.8578	32.2438	4.9252	0.2025

Çizelge 4.5' de sabit ivmeli hedef senaryosu için tüm güdüm yöntemlerinin koşturulması sonucunda elde edilen füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere, en küçük sapma mesafesi değerleri PN ve MBR yöntemlerinde elde edilmiştir. MCLOS ve PG güdüm yöntemlerinde ise PN ve MBR yöntemlerine göre daha büyük sapma mesafesi değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Çizelge 4.5' e göre sabit ivmeli hedef senaryosu için en büyük sapma mesafesi değerleri CLOS ve BR yöntemleri için elde edilmiştir.

**Çizelge 4.6** Sabit ivmeli hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri

	Hedef	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>	11.5758	40.5008	55.4330	160.9521	599.4302	36.1013	37.0104

Çizelge 4.6' da, hedef toplam ivmesinin ve füzeye uygulanan toplam ivmenin, benzetim çalışması esnasındaki ortalama değeri gösterilmektedir. Elde edilen değerlerden de görüldüğü üzere PN ve PG yöntemlerinde görüş hattı güdüm yöntemleri olan CLOS ve BR' ye göre daha küçük değerler elde edilmiştir. Hatta en büyük toplam ivme değeri BR yöntemi için elde edilmiştir. CLOS ve BR yöntemlerinin düzeltilmeleriyle elde edilen MCLOS ve MBR yöntemlerinde elde edilen ivme değerlerinin bu senaryo için en küçük değerler olduğu görülmektedir.

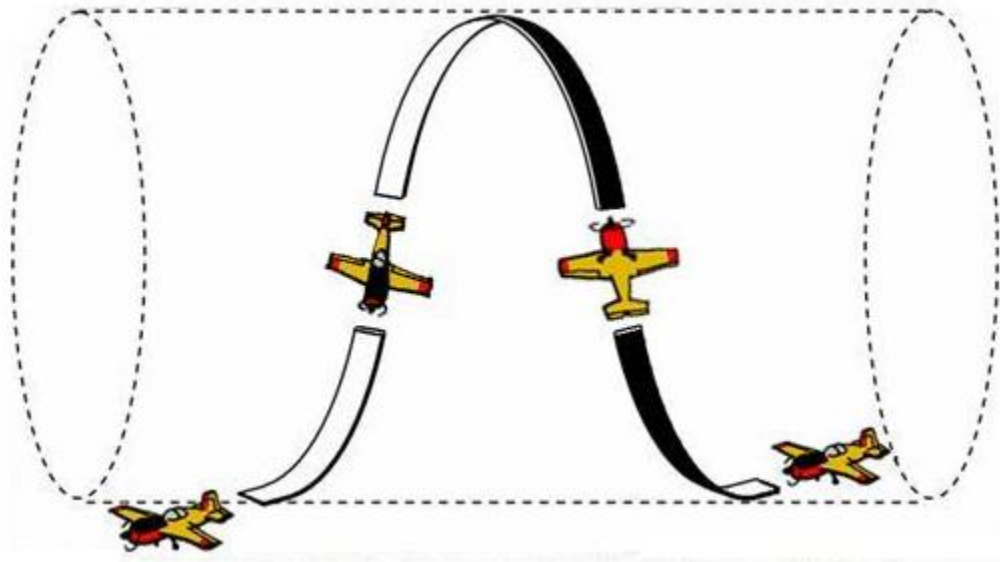
Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 birlikte incelendiğinde, yine küçük ivme çeken yöntemlerin sapma mesafelerinin de küçük olduğu görülmektedir.

Benzetim çalışması sonucunda elde edilen grafiklerden ve çizelgelerden hareketle, sabit ivmeli hareket senaryosu için, PN ve MBR yöntemleri en iyi performansları sağlamışlardır. Bu iki yöntemde de füze, hem hedefini tam olarak vurmuş, hem de çekilen ivme değerleri diğer yöntemlere göre daha küçük kalmıştır.

#### 4.1.5. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu

Fıçı dönüşü (barrel roll) manevrası, hedef sarmal bir yol izlerken, izlediği orijinal yönde sapma yapmadan, boylamsal eksen etrafında tam bir dönüş yapmasıyla elde edilmektedir [<http://www.fulldeflection.com>]. Bu hareketi füzeden kaçmakta olan bir uçak, füzeyi savuşturmak amacıyla yaparken, bir uçak kendisini izlemekte olan başka bir uçak olduğunda avantaj sağlayarak; takip edilen konumundan, takip eden konumuna geçmek için yapmaktadır [Spick, 1987].

Şekil 4.132' de fıçı dönüşü manevrası yapan bir hedef (uçak) gösterilmektedir.



**Şekil 4.132** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef (uçak)

Fıçı dönüşü manevrası üç boyutlu bir kaçış manevrasıdır. Fıçı dönüşü yaparak kaçan bir hedef iki ekseninde sinüs hareketi yaparken diğer ekseninde ise doğrusal bir hareket yapmaktadır. Fıçı dönüşü manevrası güçlü bir kaçış manevrasıdır. Çünkü

füze her bir ekseninde farklı bir hareket yapar ve diğer kaçış manevralarına nazaran daha yüksek değerlerde ivmeyle manevralanır. Böylece hedef, takipçiye karşı avantaj sağlamış olur.

Bu senaryoda, hedef belirli bir ilk hız, sinüzoidal ivme ve konum değerlerine sahip olacak şekilde hareketine başlamaktadır. Füze ise belirli bir ilk hız değerine sahip olarak hedefin arkasındaki bir konumdan hareketine başlamaktadır.

Aşağıda fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu gösterilmektedir.

Senaryo:

Füze:

$$a_{mx} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{my} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{mz} = 0 \text{ m/sn}^2$$

Hedef:

$$a_{tx} = -650(4\pi^2f^2)\cos(2\pi ft) \text{ m/sn}^2$$

$$a_{ty} = 0 \text{ m/sn}^2$$

$$a_{tz} = -650(4\pi^2f^2)\sin(2\pi ft) \text{ m/sn}^2$$

Aşağıda fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosunda kullanılacak olan başlangıç koşulları gösterilmektedir.

İlk Koşullar:

Füze:

$$X_m = 26000 \text{ m}$$

$$Y_m = 1800 \text{ m}$$

$$Z_m = 1000 \text{ m}$$

$$V_{mx} = 100 \text{ m/s}$$

$$V_{my} = 50 \text{ m/s}$$

$$V_{mz} = 1500 \text{ m/s}$$

Hedef:

$$X_t = 30000 + 650\cos(2\pi ft) \text{ m}$$

$$Y_t = 2000 + 620t \text{ m}$$

$$Z_t = 20000 + 650\sin(2\pi ft) \text{ m}$$

$$V_{tx} = -650(2\pi f)\sin(2\pi ft) \text{ m/s}$$

$$V_{ty} = 620 \text{ m/s}$$

$$V_{tz} = 650(2\pi f)\cos(2\pi ft) \text{ m/s}$$

$$f = 0.05 \text{ Hz}$$

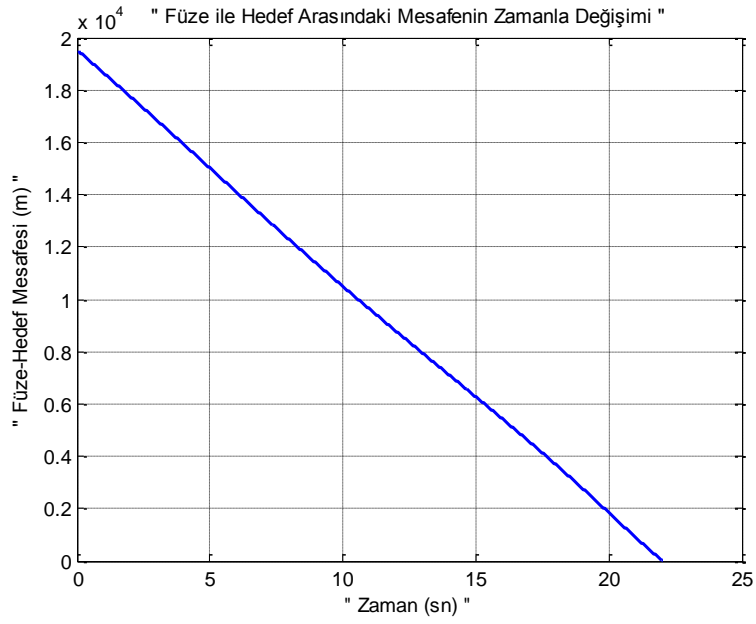
$$t = \text{zaman}$$



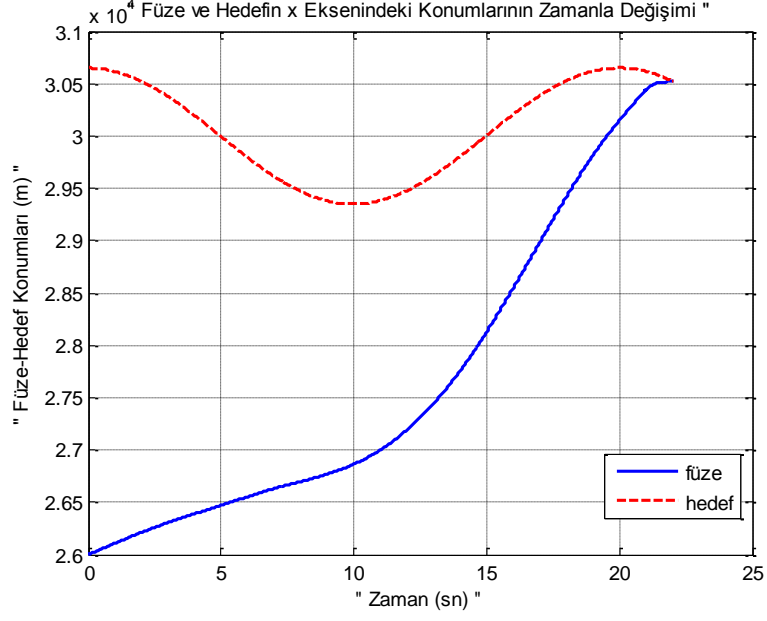
#### 4.1.5.1. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Oransal Seyir Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için oransal seyir güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

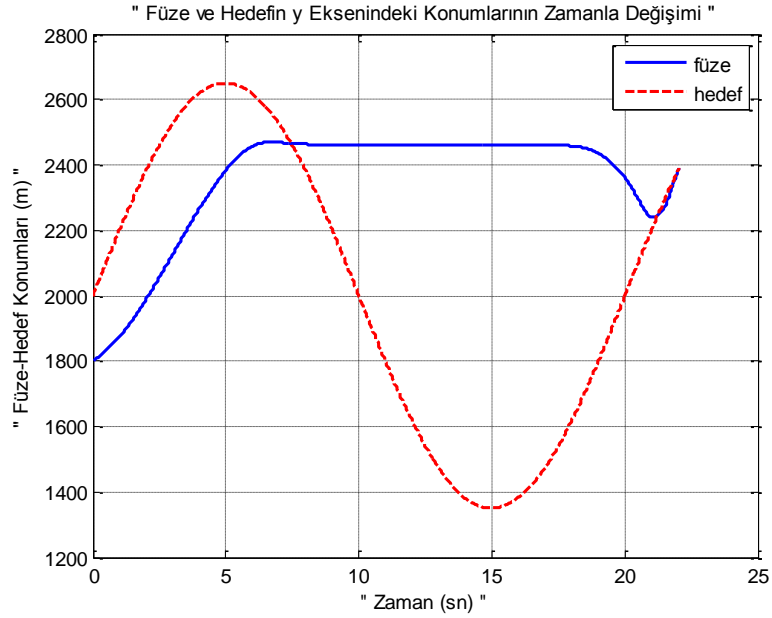
Benzetim çalışması sırasında oransal güdüm sabiti  $N=5$  alınmıştır.



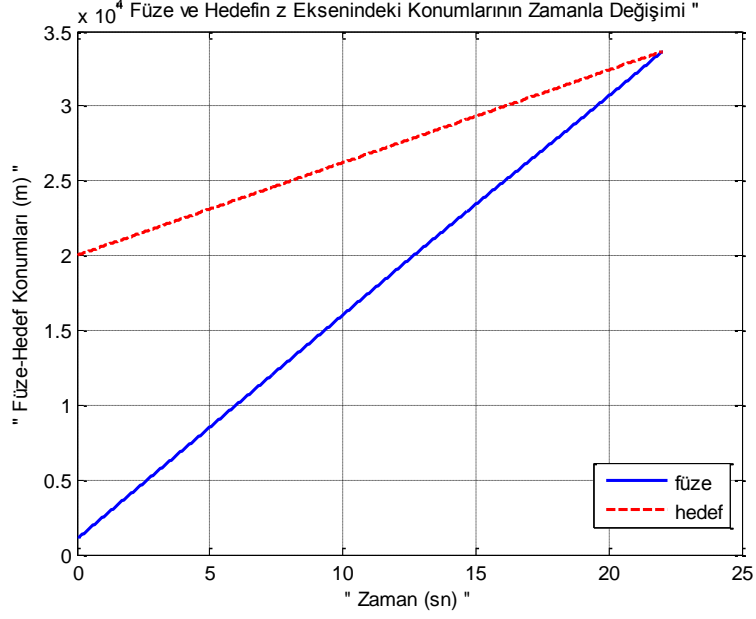
**Şekil 4.133** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



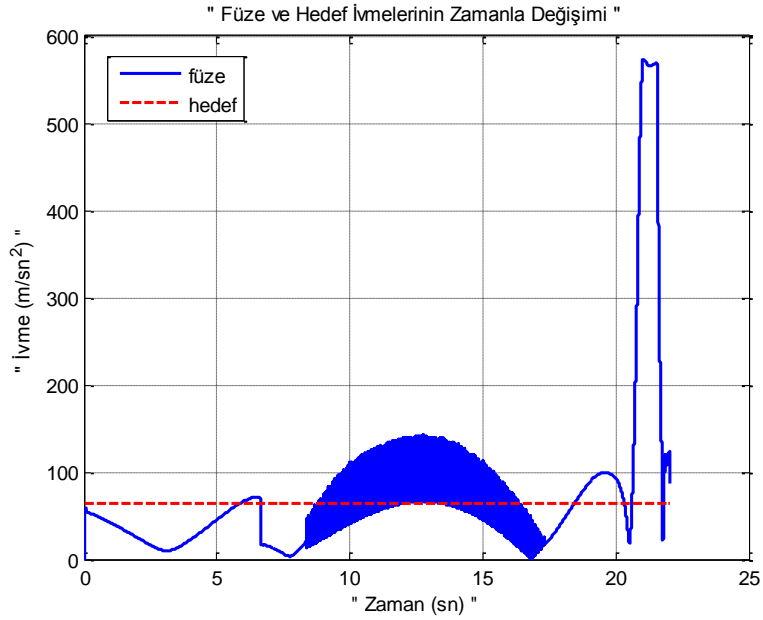
**Şekil 4.134** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



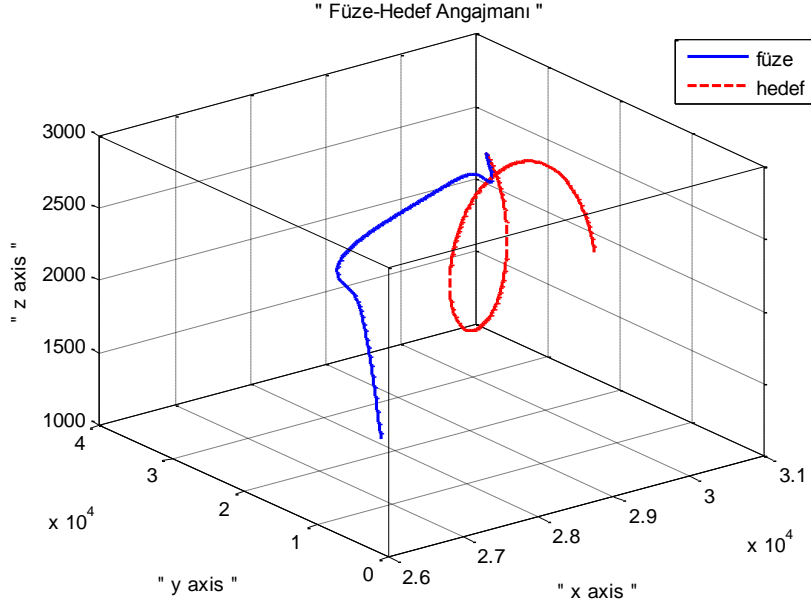
**Şekil 4.135** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



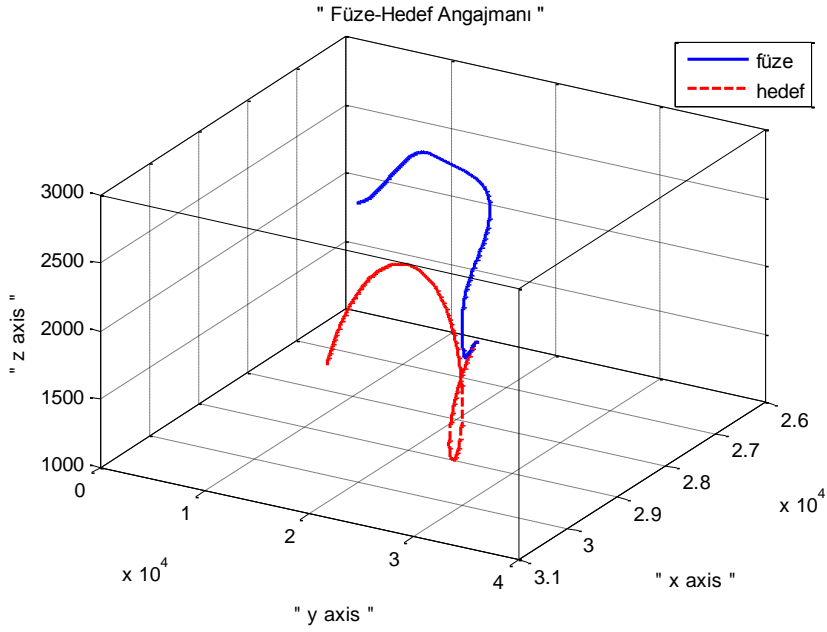
**Şekil 4.136** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



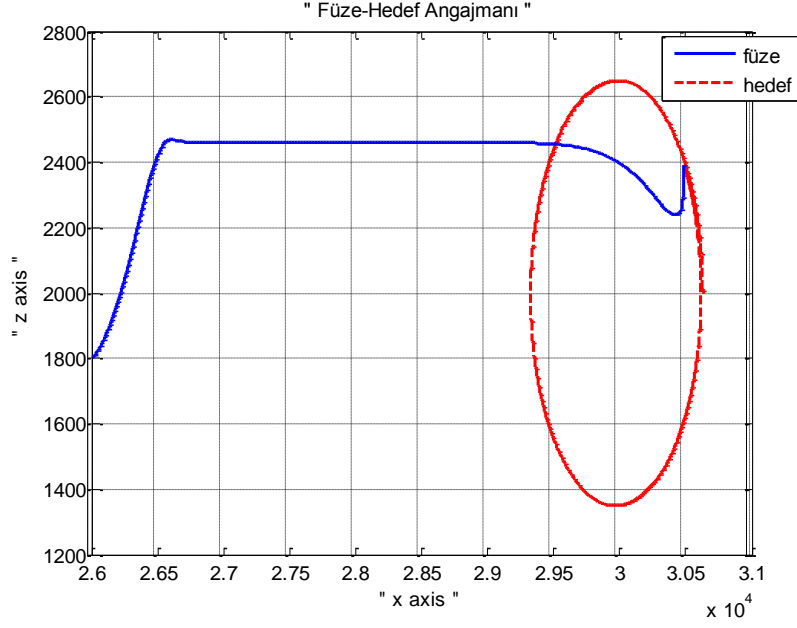
**Şekil 4.137** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.138** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.139** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

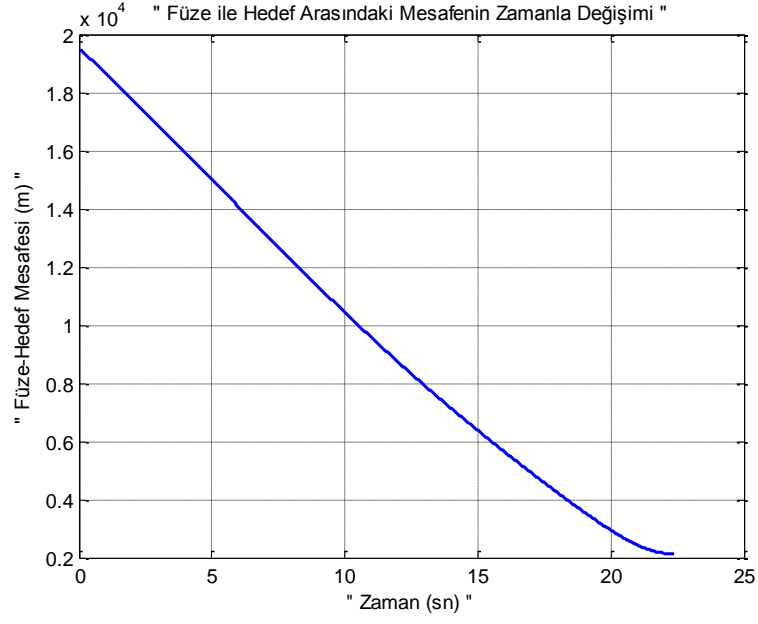


**Şekil 4.140** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, oransal seyir güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

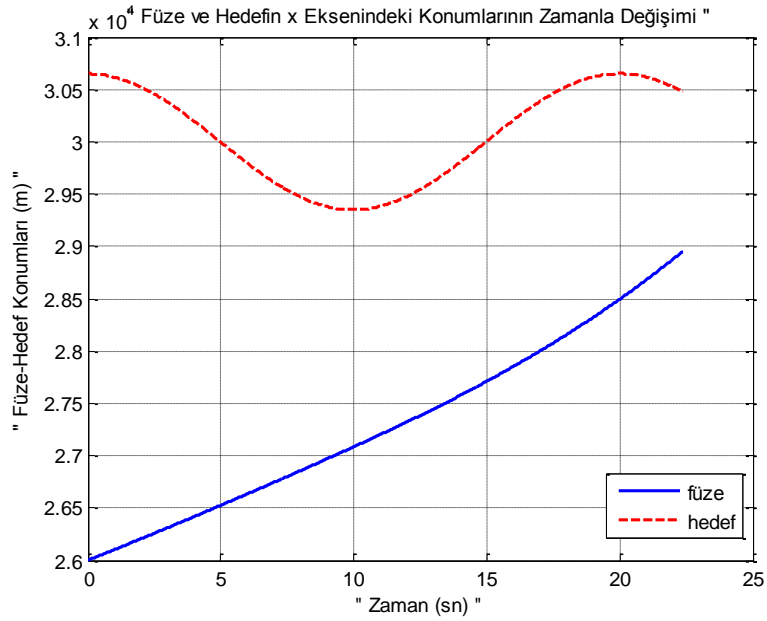
#### 4.1.5.2. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Takip Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için takip güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

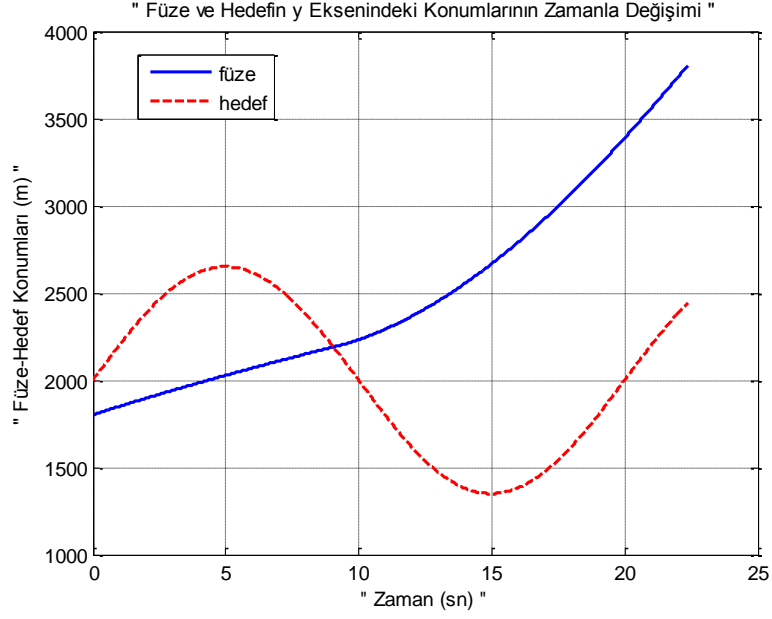
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=6$  alınmıştır.



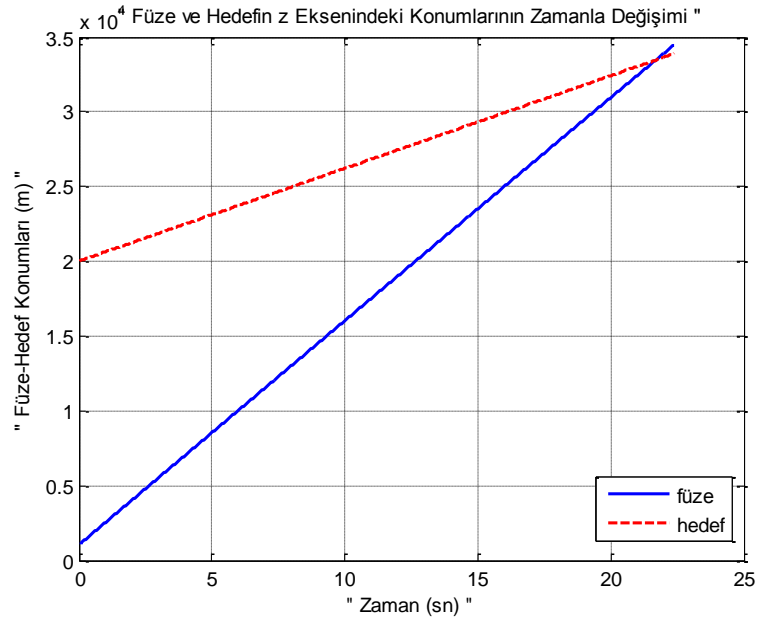
**Şekil 4.141** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



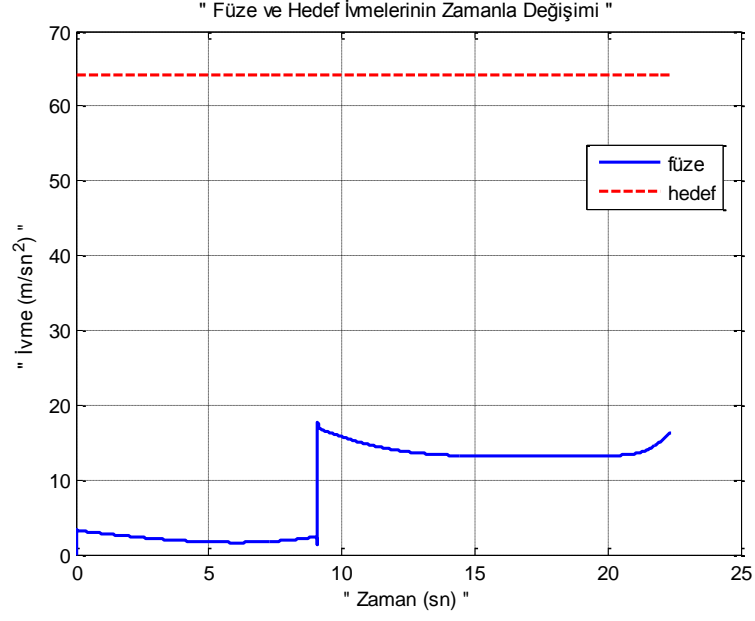
**Şekil 4.142** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



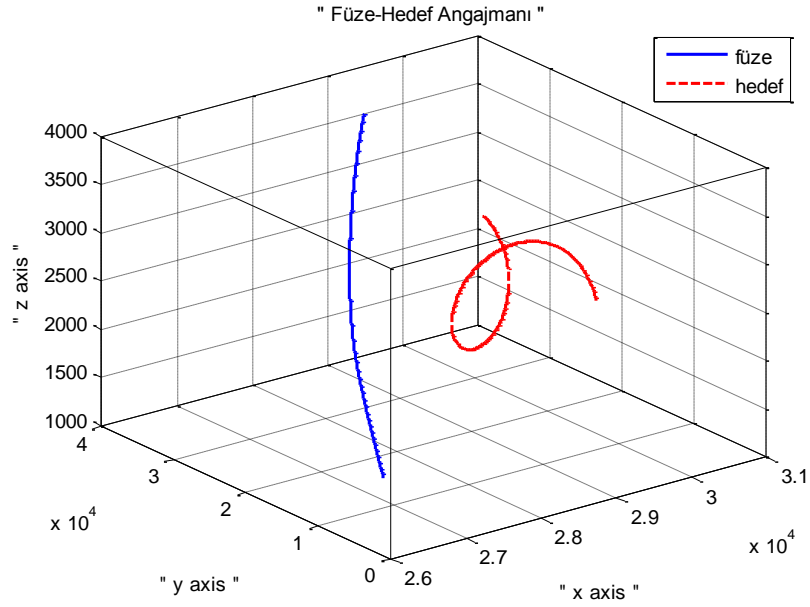
**Şekil 4.143** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



**Şekil 4.144** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

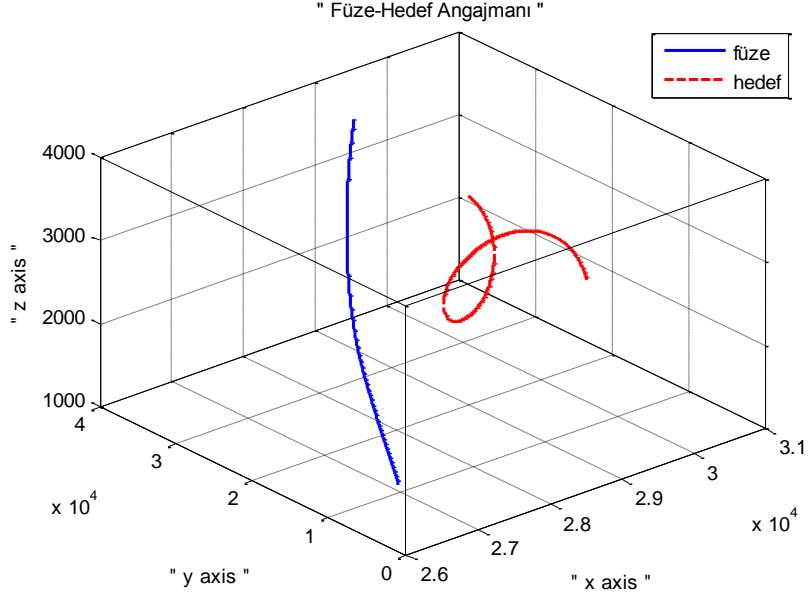


**Şekil 4.145** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi

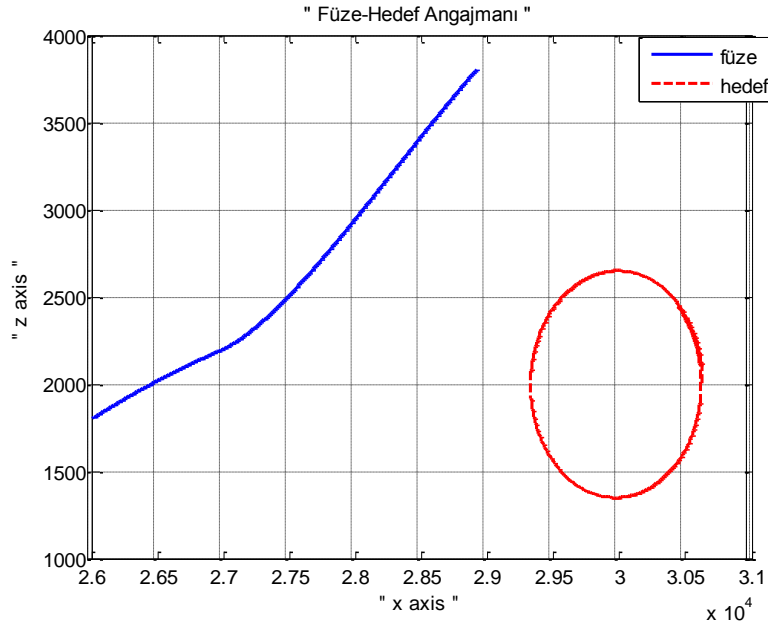


**Şekil 4.146** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı





**Şekil 4.147** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

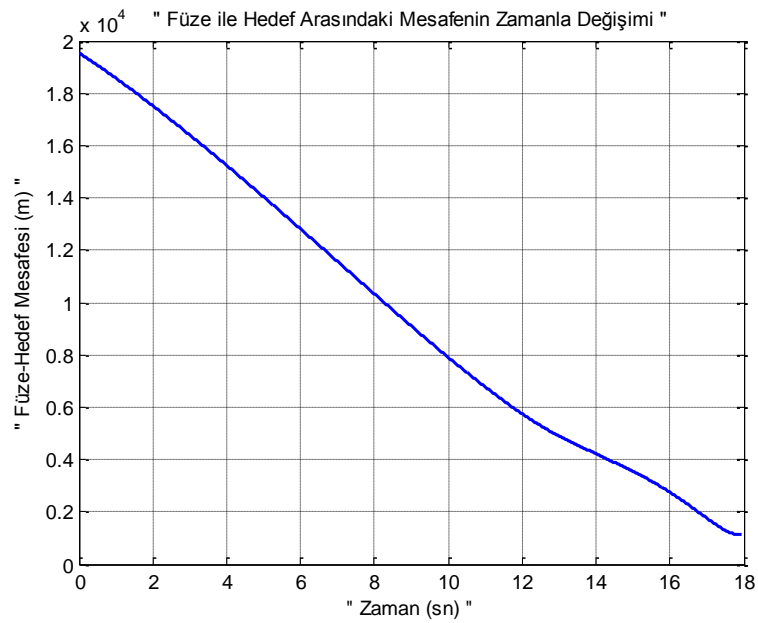


**Şekil 4.148** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, takip güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

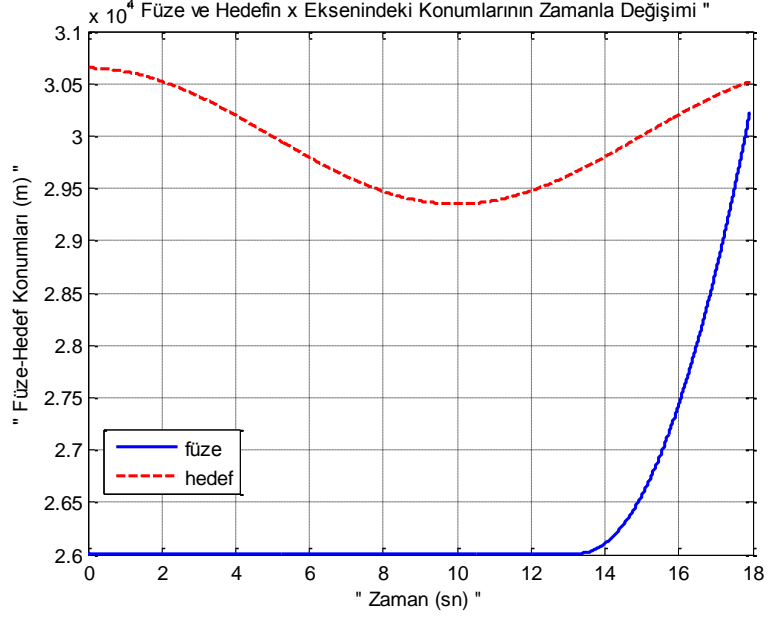
#### 4.1.5.3. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için komuta kontrollü görüş hattı güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

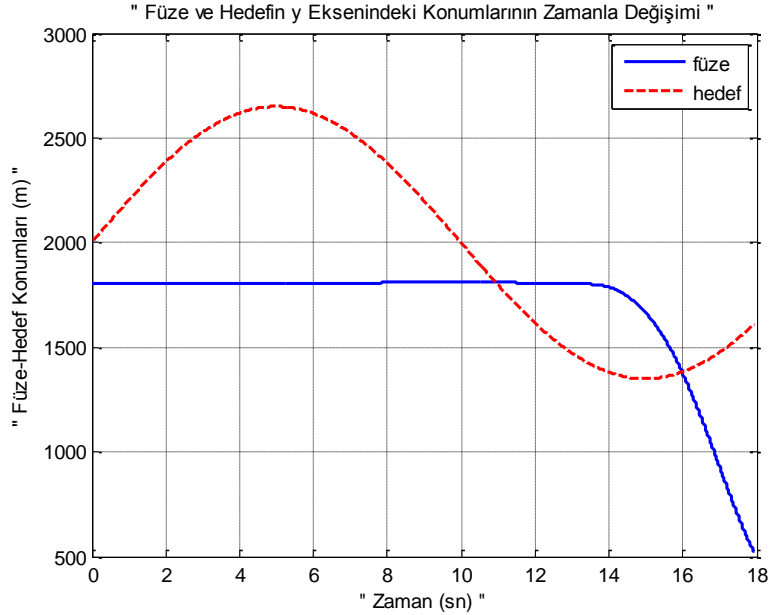
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=40000$  alınmıştır.



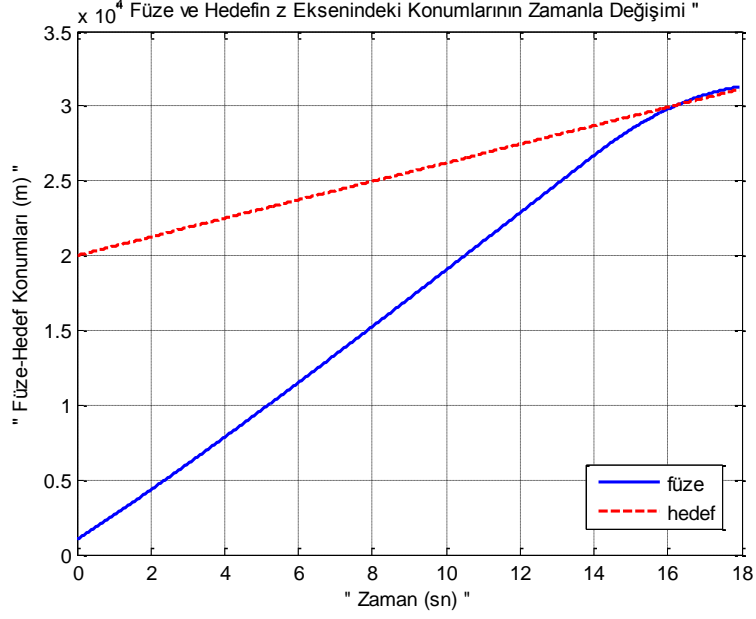
**Şekil 4.149** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



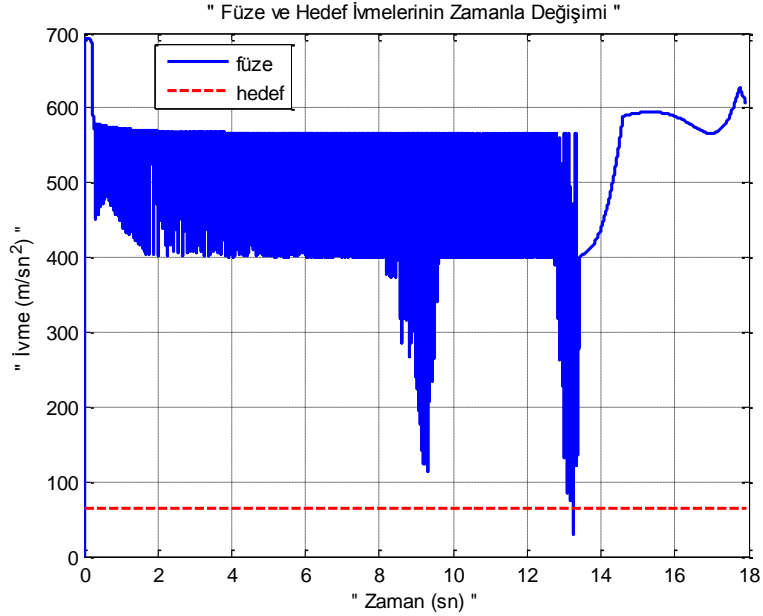
**Şekil 4.150** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



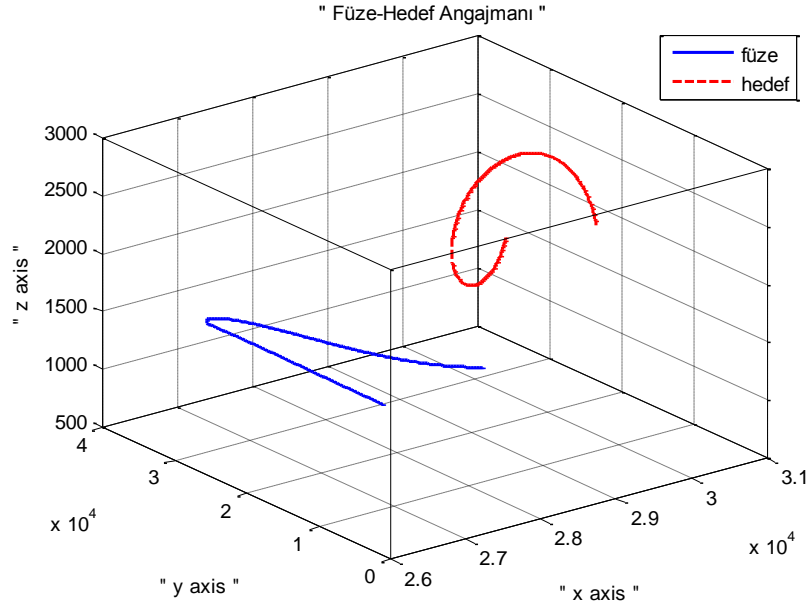
**Şekil 4.151** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



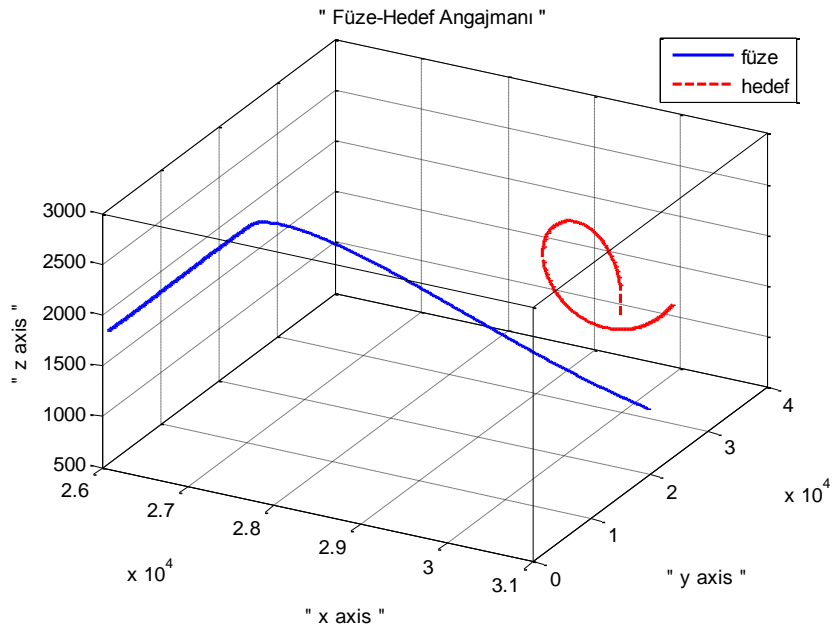
**Şekil 4.152** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



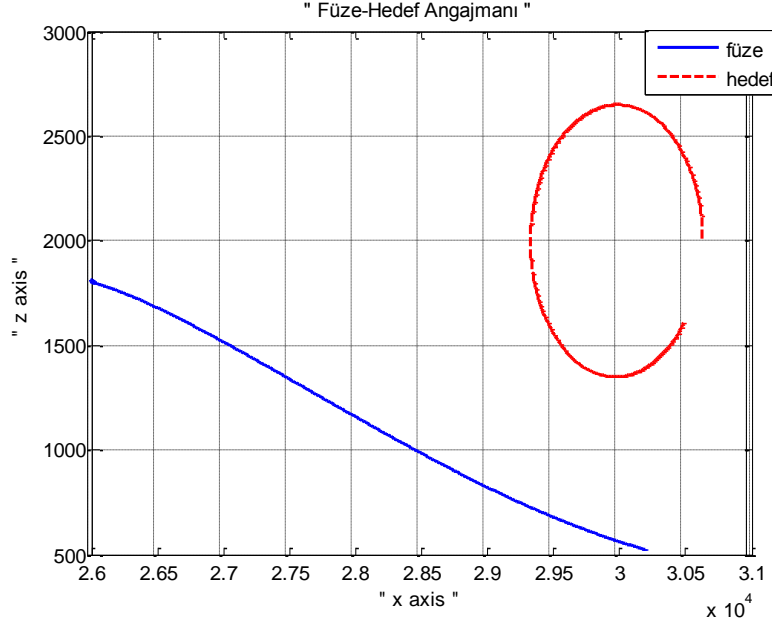
**Şekil 4.153** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.154** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.155** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

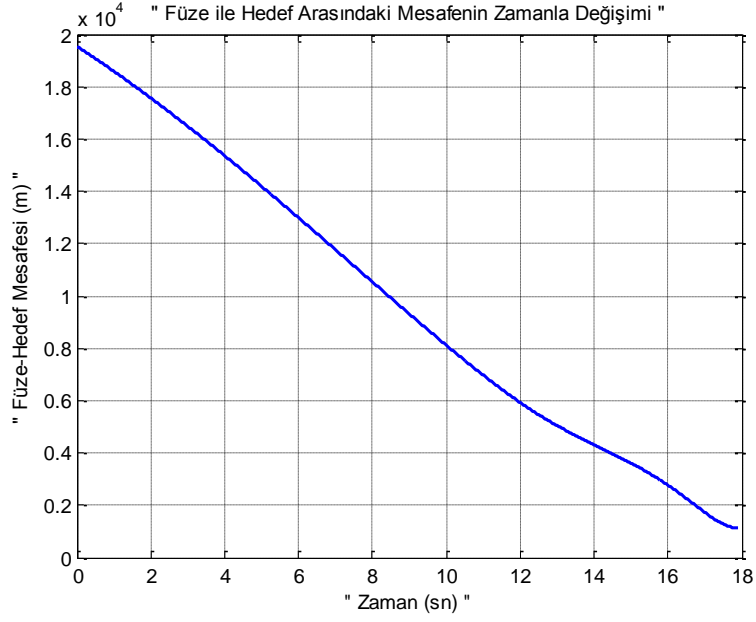


**Şekil 4.156** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

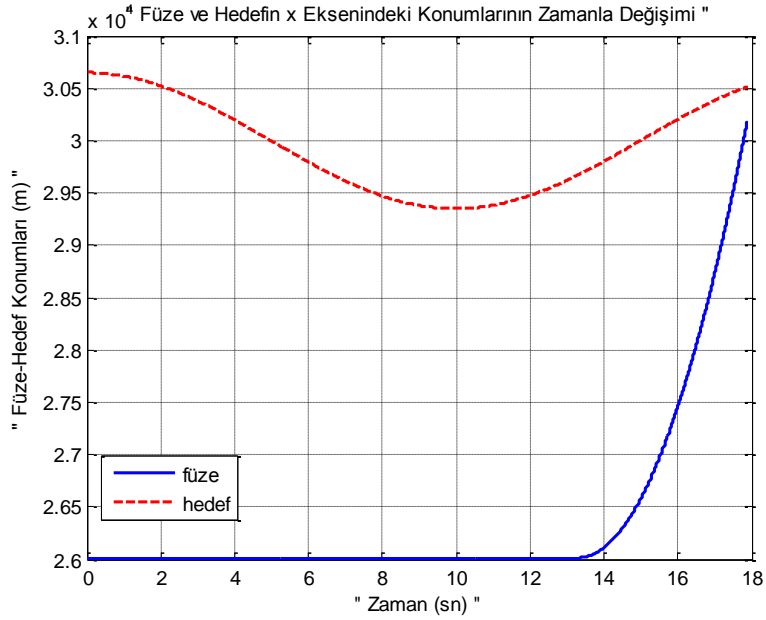
#### 4.1.5.4. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için ışın izleme güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

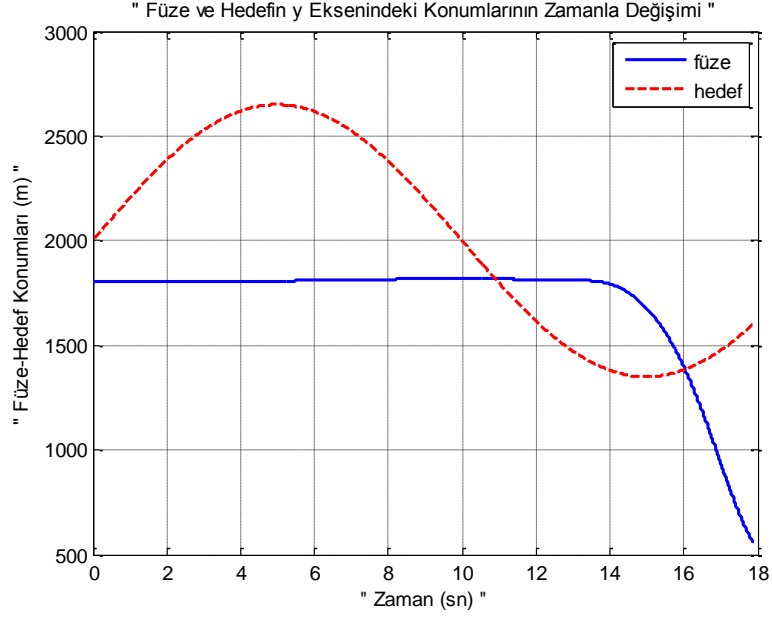
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabiti  $K=2$  alınmıştır.



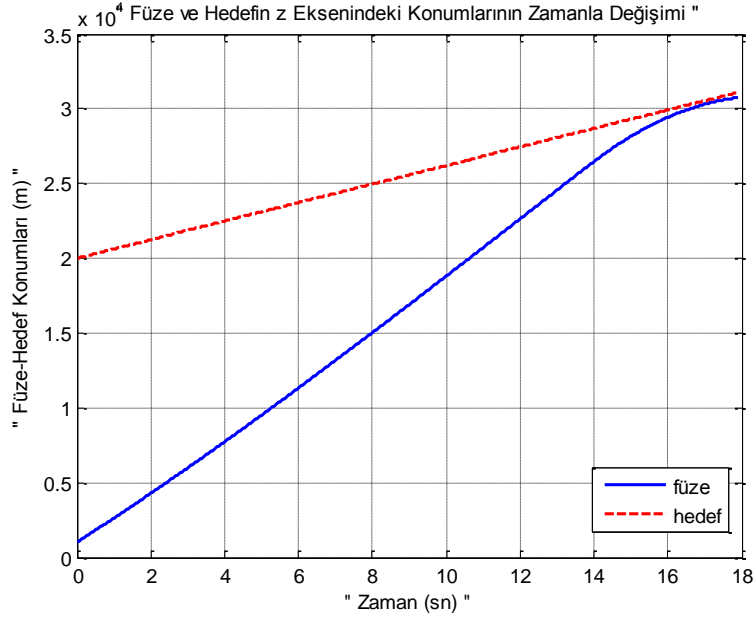
**Şekil 4.157** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzle, füzle ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



**Şekil 4.158** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füzle, füzle ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

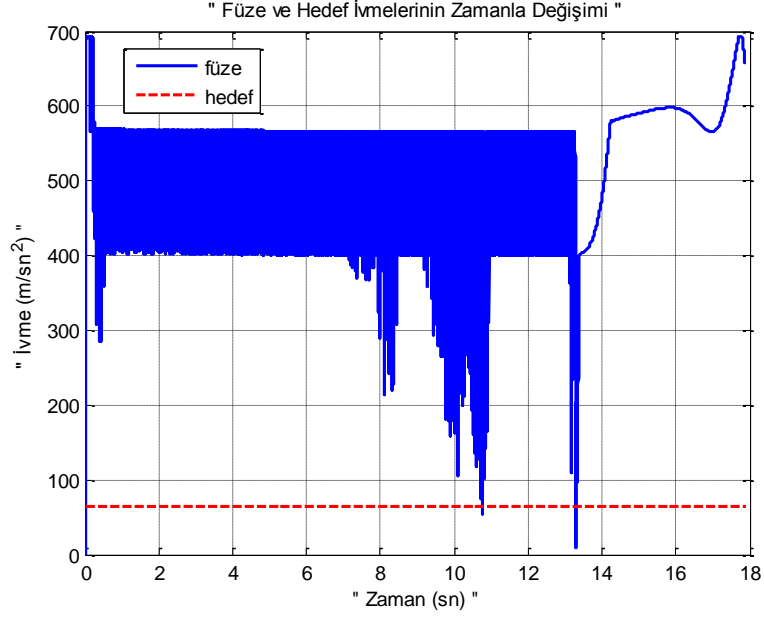


**Şekil 4.159** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

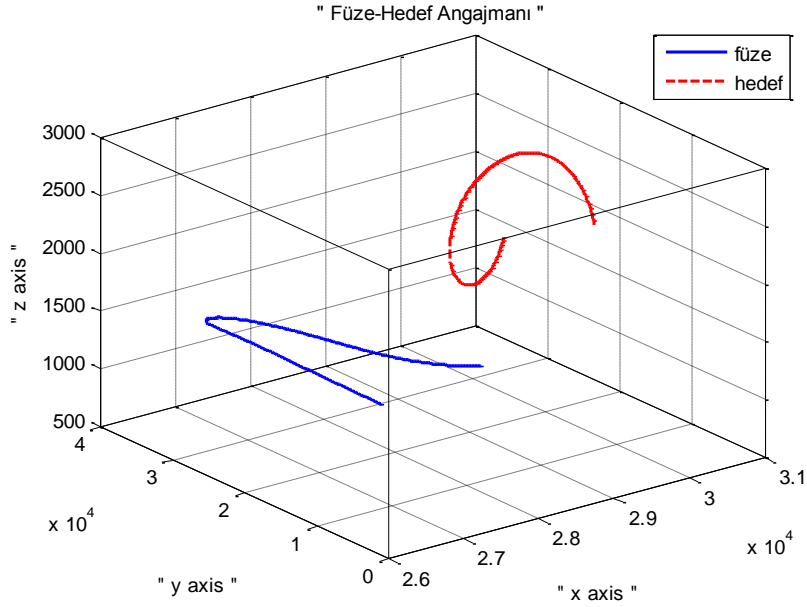


**Şekil 4.160** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füz, füz ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

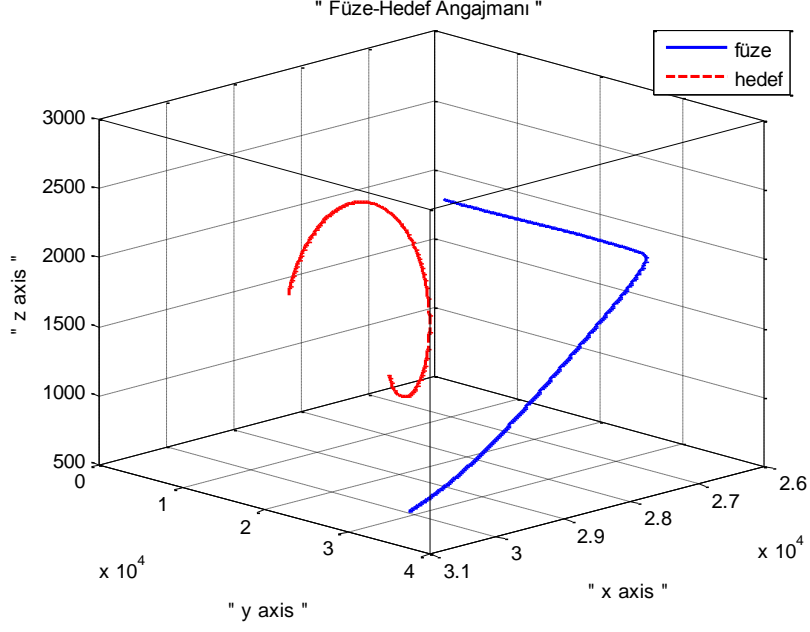




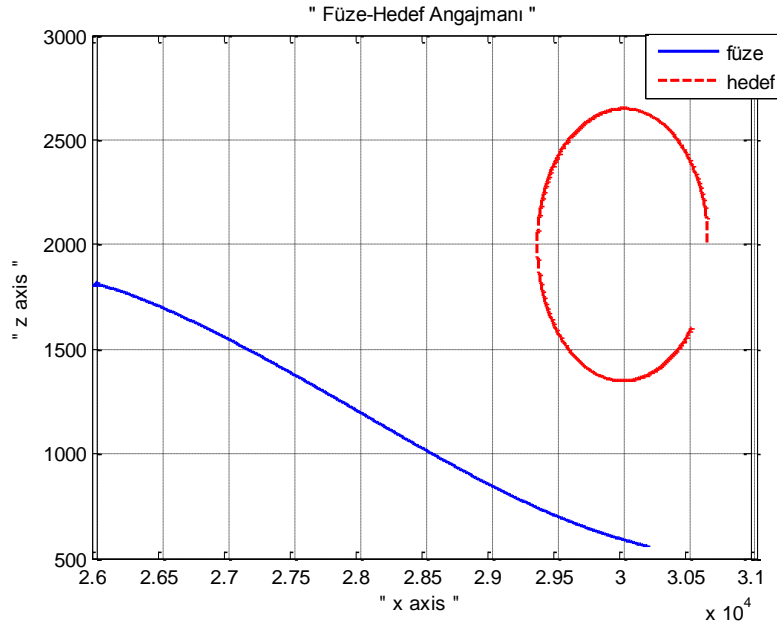
**Şekil 4.161** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.162** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.163** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

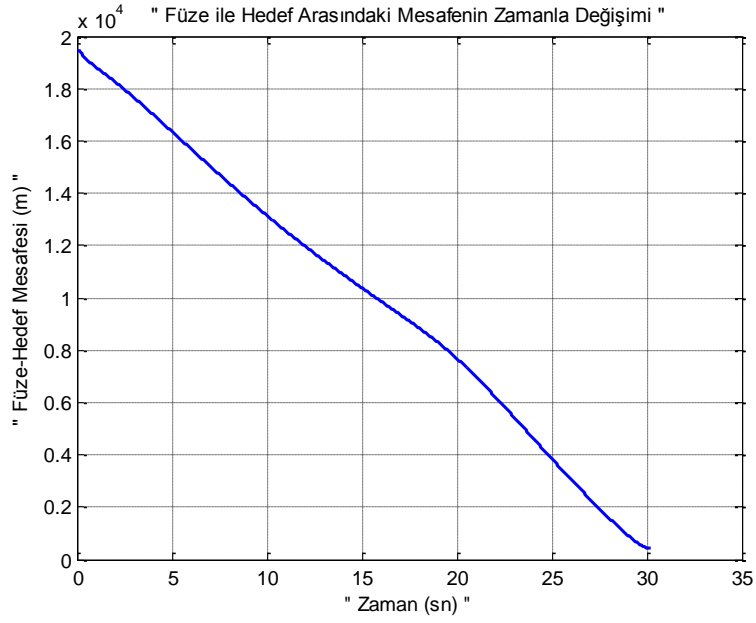


**Şekil 4.164** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

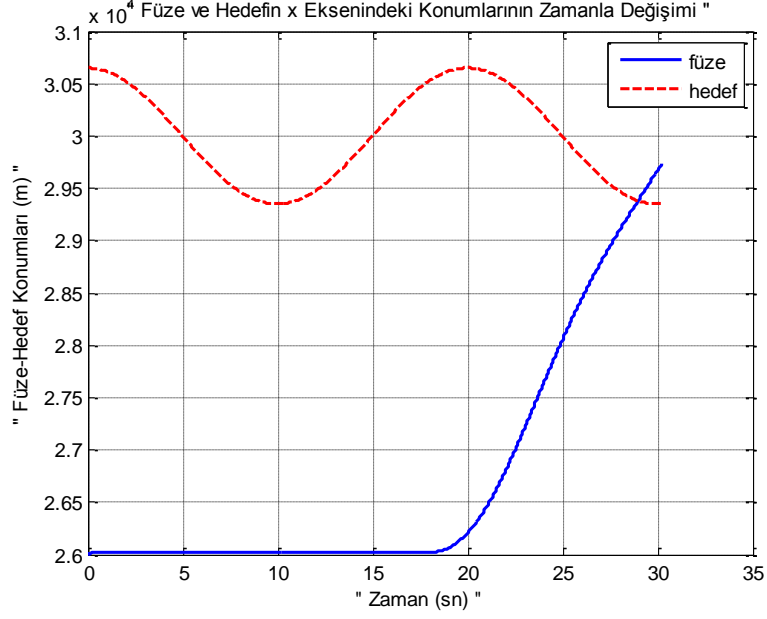
#### 4.1.5.5. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

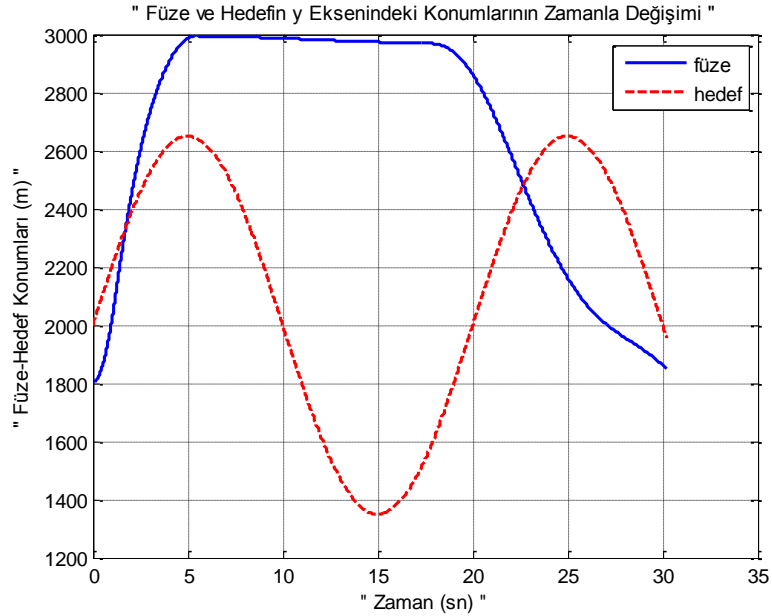
Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 4100$ ,  $K_d = 20000$  ve  $K_f = 0.001$  alınmıştır.



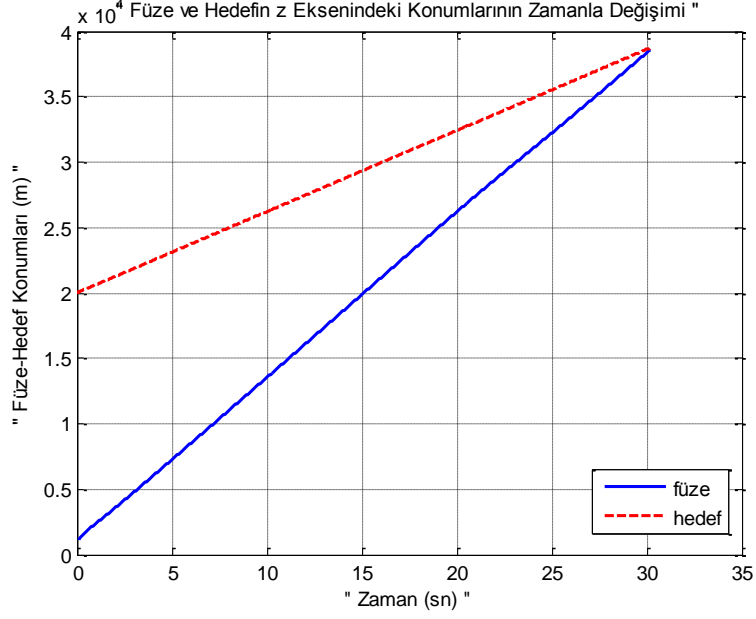
**Şekil 4.165** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi



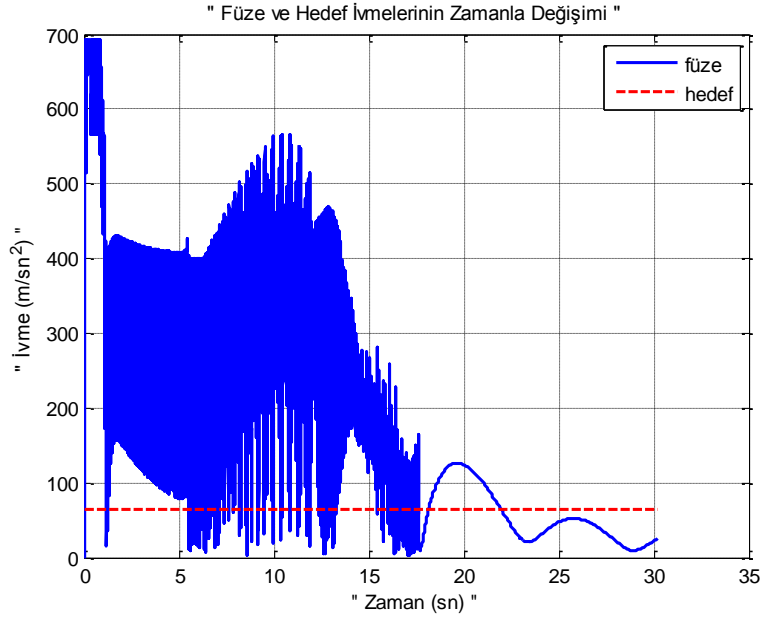
**Şekil 4.166** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



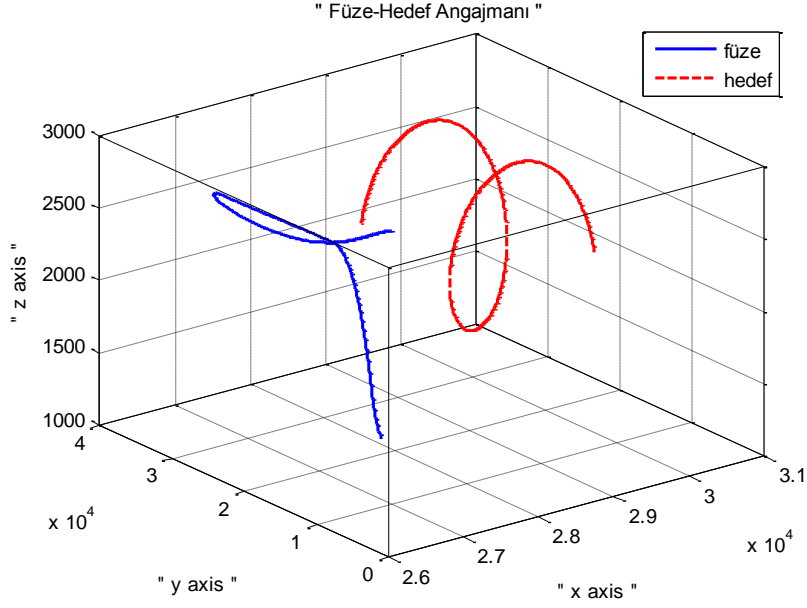
**Şekil 4.167** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



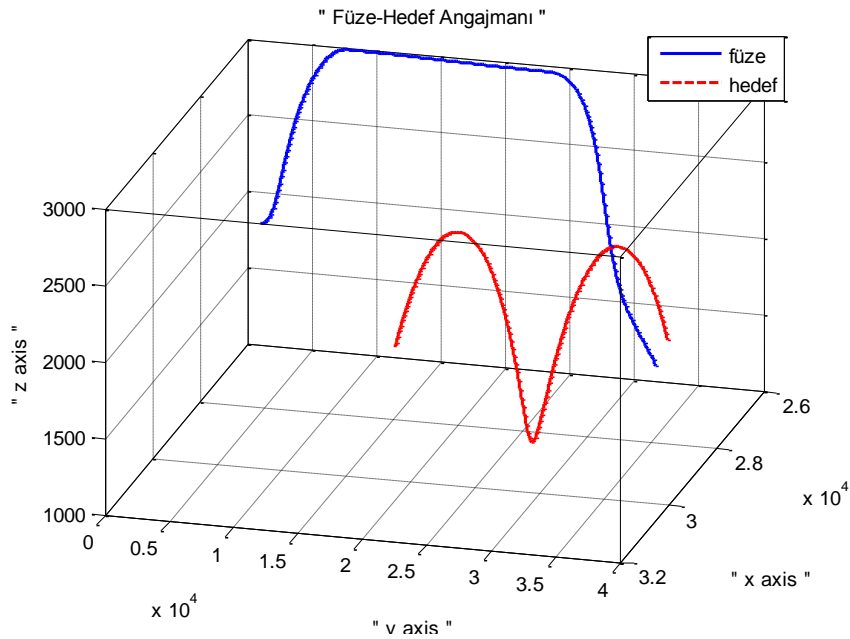
**Şekil 4.168** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



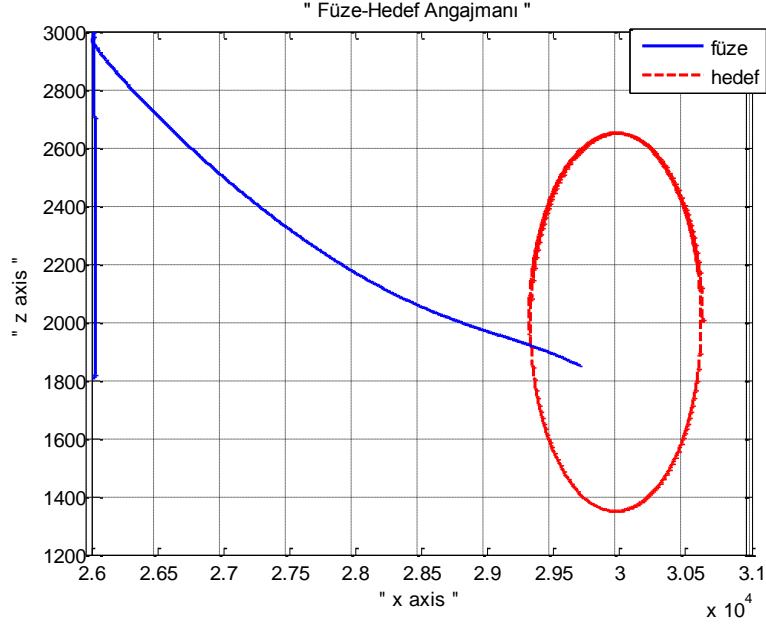
**Şekil 4.169** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.170** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.171** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü

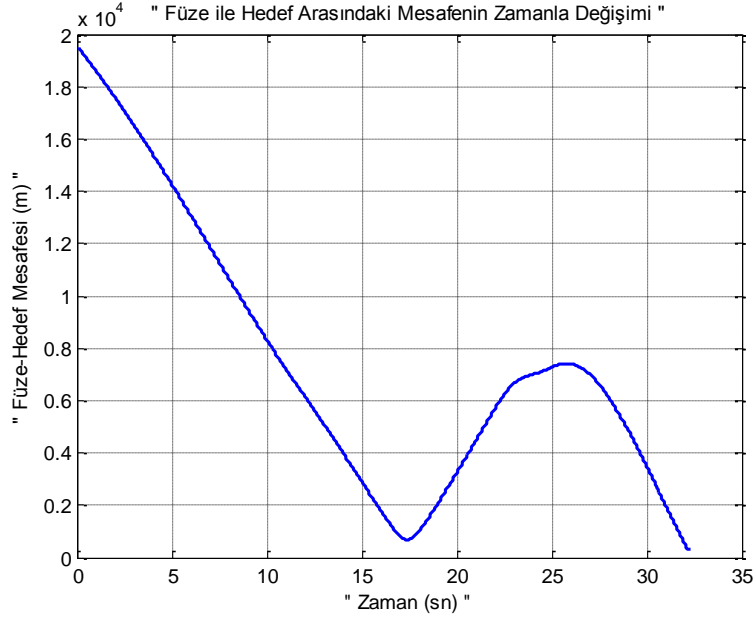


**Şekil 4.172** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş komuta kontrollü görüş hattı güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

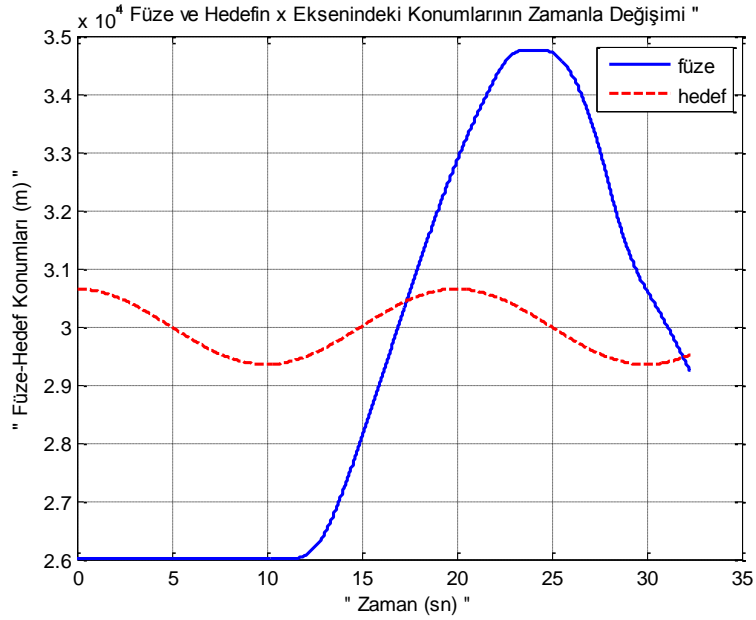
#### 4.1.5.6. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Düzeltilmiş Işın İzleme Güdüm Yöntemi Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için düzeltilmiş ışın izleme güdüm yönteminin koşturulması ile elde edilen benzetim sonuçları gösterilecektir.

Benzetim çalışması sırasında güdüm sabitleri  $K_p = 2.3$ ,  $K_d = 4.8$  ve  $K_f = 0.001$  alınmıştır.

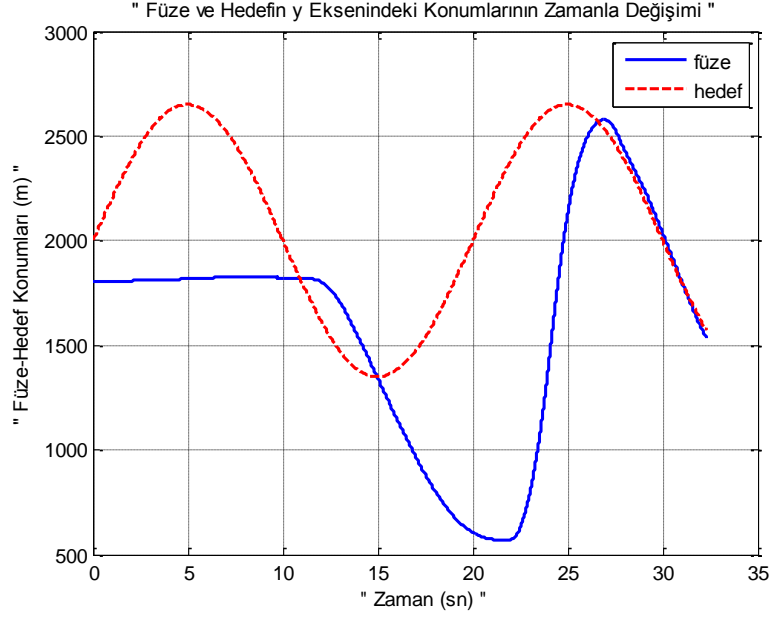


**Şekil 4.173** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedef arasındaki mesafenin değişimi

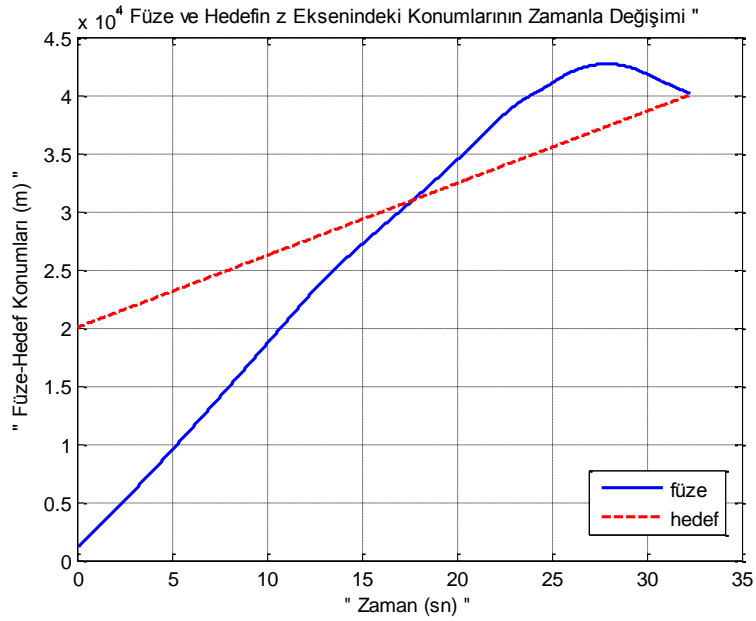


**Şekil 4.174** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin x eksenindeki konumlarının zamanla değişimi

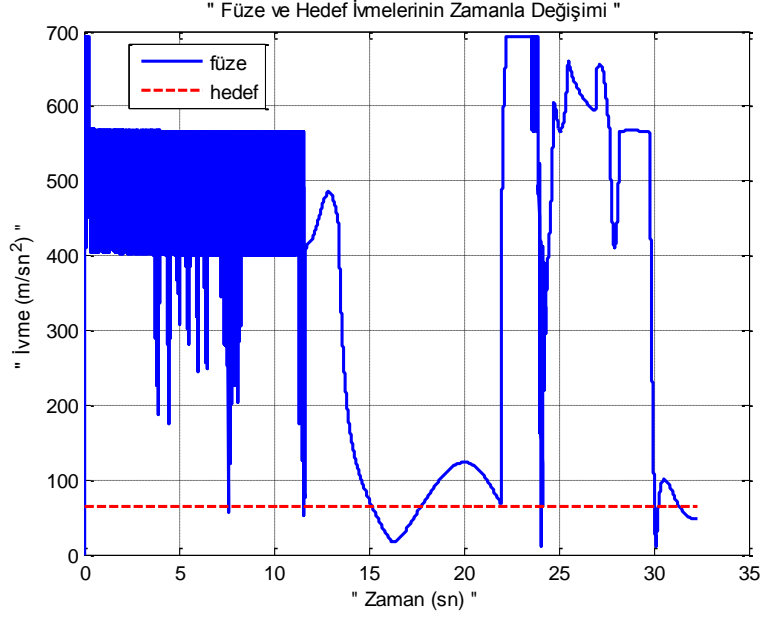




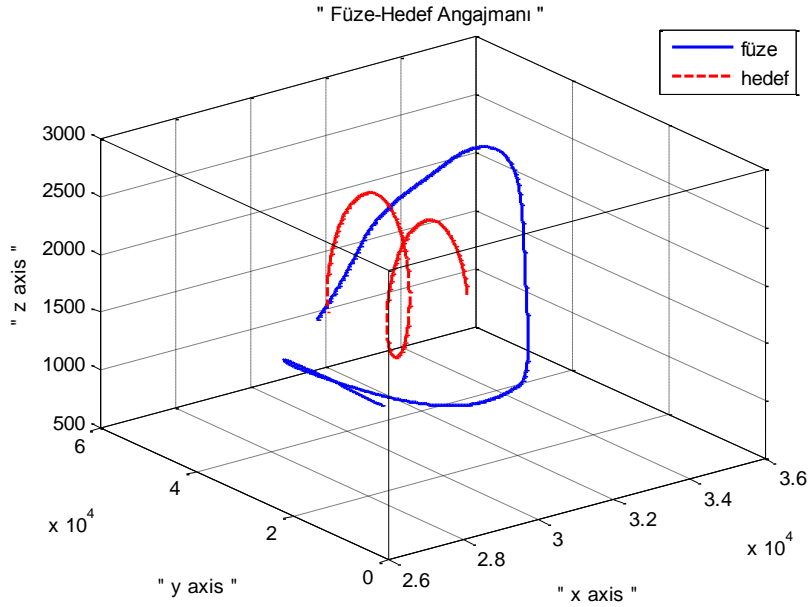
**Şekil 4.175** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin y eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



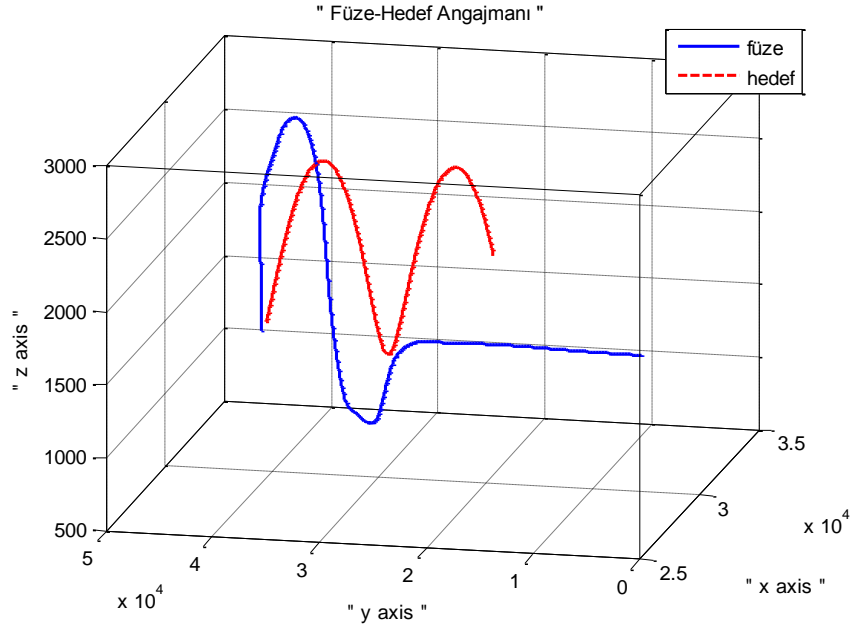
**Şekil 4.176** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ile hedefin z eksenindeki konumlarının zamanla değişimi



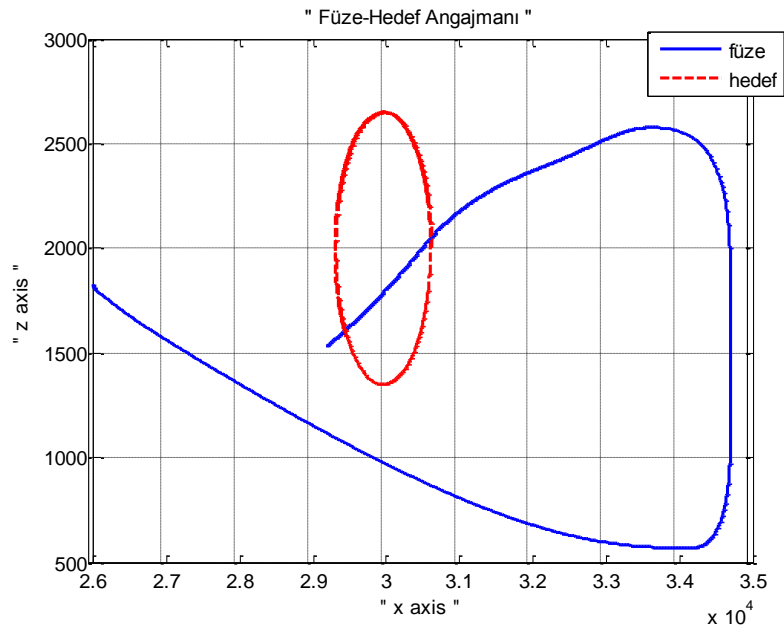
**Şekil 4.177** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, füze ve hedef ivmelerinin zamanla değişimi



**Şekil 4.178** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı



**Şekil 4.179** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı ikinci görünümü



**Şekil 4.180** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, düzeltilmiş ışın izleme güdümü yapan füze, üç boyutlu füze-hedef angajmanı üçüncü görünümü

#### 4.1.5.7. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Elde Edilen Sonuçlar

Bu kısımda, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile elde edilmiş sonuçlar verilecek ve daha önce grafiklerle de gösterilmiş olan bazı sonuçlar çizelgelerle daha net şekilde tartışılacaktır. Böylece fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için farklı güdüm yöntemlerinden hangisinin ya da hangilerinin daha iyi performans verdiği belirlenecektir.

**Çizelge 4.7** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için sapma mesafesi değerleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.3119	2122.7	1129.7	1141.1	429.0837	310.0108

Çizelge 4.7' de fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için tüm güdüm yöntemlerinin koşturulması sonucunda elde edilen füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir. Daha önceden de bahsedildiği üzere fıçı dönüşü manevrası üç boyutlu bir kaçış manevrasıdır ve hedef yüksek değerlerde ivme ile hareket eder. Dolayısıyla hedef kendisine avantaj sağlamış olur. Çizelge 4.7 incelendiğinde, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için, PN yönteminin koşturulması ile elde edilen sapma mesafesi değeri diğer tüm senaryolarda olduğu gibi yine minimum olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde PG, CLOS ve BR güdüm yöntemlerinin, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için yetersiz kaldıkları görülmektedir. MCLOS ve MBR güdüm yöntemleri ise, oransal seyir güdüm yönteminden sonra, bu senaryo için en iyi sonuçları vermiştir ancak yine de hedefle aralarında oldukça büyük mesafe farkı oluşmuştur.

**Çizelge 4.8** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için füze ve hedef ivmelerinin ortalama değerleri

	Hedef	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>	64.1524	74.2687	9.1022	536.9413	540.2057	213.7544	389.5341

Çizelge 4.8' de, hedef toplam ivmesinin ve füzeye uygulanan toplam ivmenin, benzetim çalışması esnasındaki ortalama değeri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, füzeye uygulanan toplam ivmenin ortalama değeri, hedefi başarılı şekilde vuran tek yöntem olan PN yönteminde, PG' den sonra en küçük olarak elde edilmiştir. Bu da bize sapma mesafesi ile füzeye uygulanan toplam ivme değeri arasındaki doğru orantılı ilişkinin fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için PG yöntemi dışında geçerli olduğunu göstermektedir. PG yöntemindeki füze çok küçük ivme çekse de bu manevra için başarısız olmuştur. En büyük ivme değeri ise CLOS yönteminde elde edilmiştir.

Fıçı dönüşü manevrası için elde edilen Çizelge 4.8' den de görülebileceği üzere hedefin ivmesi ise  $64.1524 \text{ m/sn}^2$  'dir. Bu değerler daha önceki senaryolardaki hedeflerin ivme değerlerinden fazladır. Bu da fıçı dönüşü manevrasının diğer senaryolara göre daha hızlı ve etkili bir kaçış manevrası olduğunu göstermektedir. Çizelgelerden ve elde edilen benzetim çalışması grafiklerinden, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosunda hedefi başarıyla vuran tek yöntemin PN olduğu açıkça görülmektedir.

## 5. KATIMLI SİSTEM ANALİZİ

Güdümlü sistemlerinin performansı, doğrusal olmayan; gerçekçi benzetim çalışmaları ile kolayca sınanabilir. Bu yaklaşım, sapma mesafesini belirlemek açısından eşsiz olsa da, sonuç yalnızca benzetimi yapılan senaryo için geçerlidir. Her ne kadar, doğrusal modeller belirli bir çözüm (senaryo) etrafında doğrusallaştırma ile elde edilse de güdümlü yöntemlerinin bazı yönlerini doğrusal modeller üzerinden incelemekte yarar vardır. Bu bölümde, belirli bir senaryo etrafında füze-hedef angajman denklemleri doğrusallaştırılmış ve doğrusal modele dayanarak katımlı sistem (adjoint system) analizi gerçekleştirilmiştir. Katımlı sistem analizi, doğrusal bir duyarlılık analizi yöntemidir ve güdümlü problemlerinde bazı senaryoların incelenmesi açısından bazı olanaklar sunmaktadır. Katımlı sistem analizinin sunduğu en farklı bakış açısı, güdümlü sistemlerinin rasgele etkiler altındaki performansının istatistiksel olarak analizine olanak tanımasıdır. Örneğin, rasgele manevra yapan bir hedefin bu rasgelelikten kaynaklı olarak ne ölçüde sapma mesafesi yaratabileceği istatistiksel olarak karakterize edilebilmektedir. Katımlı sistem analizinin özelliği, rasgele manevradan oluşabilecek sapma mesafesinin standart sapmasının tek bir katımlı sistem benzetimi ile belirlenmesine olanak sağlamasıdır.

Durum uzayında tanımlanmış, doğrusal olmayan bir sistem düşünölsün,

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (5.1)$$

$$y = g(x, u) \quad (5.2)$$

ve belirli bir senaryo (belirli bir iklendirme  $x_0^*$  ve belirli bir giriş  $u^*$ ) sonucu oluşan referans çözüm,

$$(x^*(t), u^*(t)) \quad (5.3)$$

olarak tanımlansın.

Eşitlik 5.3' de gösterilen referans çözümün kullanılmasıyla elde edilen referans çıkış vektörü,

$$\left(x^*(t), u^*(t)\right) \Rightarrow y^*(t) = g\left(x^*(t), u^*(t)\right) \quad (5.4)$$

olarak gösterilebilir.

Durum değişkeni  $x$  ve sistem girişi  $u$  için,  $t$  anındaki çözüm ile referans çözüm arasındaki fark vektörleri,

$$\delta x = x(t) - x^*(t) \quad (5.5)$$

$$\delta u = u(t) - u^*(t) \quad (5.6)$$

olarak tanımlanırlar.

Eşitlik 5.5 ve 5.6' nın da kullanılmalarıyla,  $x(t_0) = x_0^*$  ve  $u^*(t)$  sonucu oluşan referans çözüm etrafında doğrusal model tanımlanır:

$$\begin{aligned} \delta \dot{x} &= A(t)\delta x(t) + B(t)\delta u(t) \\ \delta y &= C(t)\delta x(t) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.7' de gösterilen sistem matrisleri  $A(t)$ ,  $B(t)$  ve  $C(t)$ ,

$$A_{ij}(t) = \left(\frac{df}{dx}\right)_{i,j} = \left(\frac{df_i}{dx_j}\right)_{x^*(t), u^*(t)} \quad (5.8)$$

$$B_{ij}(t) = \left(\frac{df}{du}\right)_{i,j} = \left(\frac{df_i}{du_j}\right)_{x^*(t), u^*(t)} \quad (5.9)$$

$$C_{ij}(t) = \left(\frac{dg}{dx}\right)_{i,j} = \left(\frac{dg_i}{dx_j}\right)_{x^*(t), u^*(t)} \quad (5.10)$$

olarak tanımlanırlar.

Bir güdüm senaryosu doğrusallaştırıldığında  $t_0$  başlangıç ve  $t_f$  sonlanma zamanı olmak üzere Eşitlik 5.7 ile verilen doğrusal modelin  $t_0 \leq t \leq t_f$  aralığında geçerli olduğu kabul edilir. Durum değişkeni sayısı  $n$ , giriş sayısı  $m$  ve çıkış sayısı  $p$  ise Eşitlik 5.8, 5.9 ve 5.10' da gösterilen  $A(\cdot)$ ,  $B(\cdot)$  ve  $C(\cdot)$ ;  $A(t) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $B(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ,  $C(t) \in \mathbb{R}^{p \times n}$  matris değerli fonksiyonlardır [Weiss, 2005].

Eşitlik 5.8, 5.9 ve 5.10 incelendiğinde bunların birer Jacobian Matrisi olduğunu görülmektedir.

Eşitlik 5.7' de gösterilen doğrusal modelde, Eşitlik 5.8, 5.9 ve 5.10'un yerine koyulmasıyla, sistemin bir diğer biçimi,

$$\begin{aligned}\delta \dot{x} &= \left( \frac{df}{dx} \right)_{x,u} \delta x + \left( \frac{df}{du} \right)_{x,u} \delta u \\ \delta y &= \left( \frac{dg}{dx} \right)_{x,u} \delta x\end{aligned}\tag{5.11}$$

olarak da gösterilebilir.

Üçüncü bölümde üç boyutlu füze-hedef angajmanının 12 değişkenli bir durum değişkeni vektörü ile ifade edilebileceği görülmektedir (Eşitlik 3.4 - 3.15).

$$x = \left[ x_m \quad y_m \quad z_m \quad x_t \quad y_t \quad z_t \quad v_{mx} \quad v_{my} \quad v_{mz} \quad v_{tx} \quad v_{ty} \quad v_{tz} \right]^T\tag{5.12}$$

Füzeye uygulanan güdüm ivmelerinin (Eşitlik 3.28 – 3.30) durum değişkenleri cinsinden yazıldığı göz önüne alınır ve Şekil 3.6 incelenirse füze-hedef angajman modelinde, girdilerin otonom olarak belirlenen hedef ivmeleri olduğu ortaya çıkar:

$$u = [a_{tx} \quad a_{ty} \quad a_{tz}]^T\tag{5.13}$$

Güdüm probleminde, performans sapma mesafesi ile belirlendiği için, en doğal çıktı sinyali füze-hedef arasındaki mesafedir:

$$y = R = \sqrt{(x_t - x_m)^2 + (y_t - y_m)^2 + (z_t - z_m)^2}\tag{5.14}$$

Bu anlayış içinde, herhangi bir senaryo etrafında üç boyutlu füze-hedef angajman modelinde,

$$\begin{aligned}A(t) &\in \mathbb{R}^{12 \times 12} \\ B(t) &\in \mathbb{R}^{12 \times 3} \\ C(t) &\in \mathbb{R}^{1 \times 12}\end{aligned}\tag{5.15}$$

olacaktır.



Eşitlik 5.16' da doğrusal modelin vektörel gösterimi verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \delta \dot{x}_1 \\ \delta \dot{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta \dot{x}_{12} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11}(t) & A_{12}(t) & \cdot & \cdot & \cdot & A_{1,12}(t) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{12,1}(t) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & A_{12,12}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta x_{12} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} B_{11}(t) & \cdot & B_{13}(t) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ B_{12,1}(t) & \cdot & B_{12,3}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u_1 \\ \delta u_2 \\ \delta u_3 \end{bmatrix} \\
 \delta y &= \begin{bmatrix} C_1(t) & C_2(t) & \cdot & \cdot & \cdot & C_{12}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta x_{12} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{5.16}$$

Eşitlik 5.17' de, Eşitlik 5.16' da gösterilen sistem modelinde, Eşitlik 5.8, 5.9 ve 5.10' un yerine koyulmasıyla elde edilen doğrusal model gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \delta \dot{x}_1 \\ \delta \dot{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta \dot{x}_{12} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & \frac{df_1}{dx_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_1}{dx_{12}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{df_{12}}{dx_1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{dx_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta x_{12} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} \frac{df_1}{du_1} & \cdot & \frac{df_1}{du_3} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{df_{12}}{du_1} & \cdot & \frac{df_{12}}{du_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u_1 \\ \delta u_2 \\ \delta u_3 \end{bmatrix} \\
 \delta y &= \begin{bmatrix} \frac{dg}{dx_1} & \frac{dg}{dx_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{dg}{dx_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta x_{12} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

Durum uzayında ifade edilmiş ve  $t_0 \leq t \leq t_f$  zaman aralığında tanımlı doğrusal zamanla değişen bir model varsayalım:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x(t) + B(t)u(t) \\ y &= C(t)x(t) \end{aligned} \quad (5.18)$$

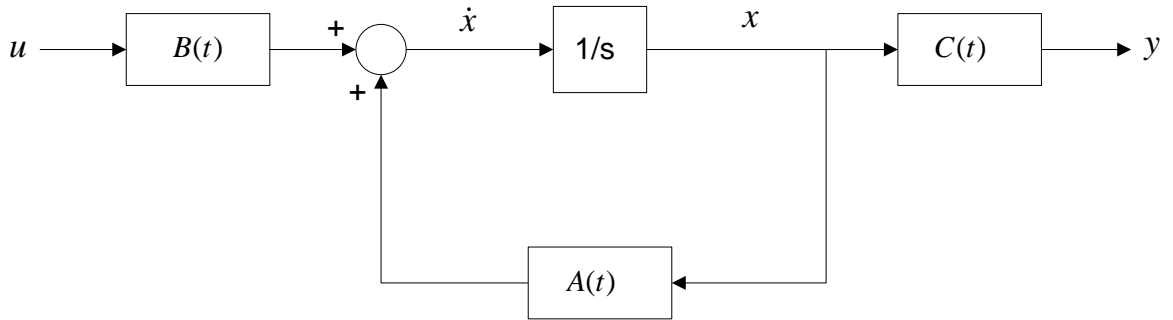
Bu model,

$t_0$  : güdüm başlangıç zamanı

$t_f$  : güdüm sonlanma zamanı

olmak üzere, füze-hedef angajmanının  $t_0 \leq t \leq t_f$  arasında tanımlanmış bir senaryo etrafında doğrusallaştırılmış modeli olarak da yorumlanabilir.

Şekil 5.1' de, Eşitlik 5.18' de gösterilen doğrusal zamanla değişen sistem yapısının blok çizeneği gösterilmektedir.



**Şekil 5.1** Doğrusal sistem blok çizeneği

Katımlı sistem, doğrusal sistemin bir tür çiftesidir (dual). Eşitlik 5.18' de gösterilen doğrusal zamanla değişen sistemin çiftes sistemi olan katımlı sistem,

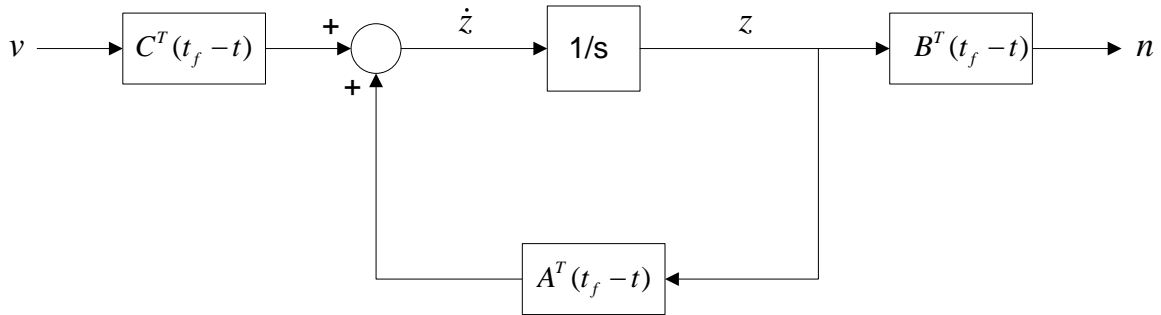
$$0 \leq t \leq t_f - t_0 \quad (5.19)$$

zaman aralığında;

$$\begin{aligned}\dot{z} &= A^T(t_f - t)z(t) + C^T(t_f - t)v(t) \\ n &= B^T(t_f - t)z(t)\end{aligned}\tag{5.20}$$

denklemleri ile ifade edilir [Kailath, 1980].

Şekil 5.2 'de, Eşitlik 5.20' de ifade edilen katımlı sistemin blok çizeneği gösterilmektedir.



**Şekil 5.2** Katımlı sistem blok çizeneği

LTV sistemi tanımlayan A, B ve C matrisleri doğrusallaştırma ile

$$A_{ij}(t) = \left( \frac{df_i}{dx_j} \right)_{x(t), u(t)}\tag{5.21}$$

$$B_{ij}(t) = \left( \frac{df_i}{du_j} \right)_{x(t), u(t)}\tag{5.22}$$

$$C_{ij}(t) = \left( \frac{dg_i}{dx_j} \right)_{x(t), u(t)}\tag{5.23}$$

ile elde edilmiş ise, katımlı sistemi ifade eden matrisler,

$$\left[ A^T(t_f - t) \right]_{ij} = \left( \frac{df_j}{dx_i} \right)_{x(t_f - t), u(t_f - t)}\tag{5.24}$$

$$\left[ B^T(t_f - t) \right]_{ij} = \left( \frac{df_j}{du_i} \right)_{x(t_f - t), u(t_f - t)}\tag{5.25}$$

$$\left[ C^T(t_f - t) \right]_{ij} = \left( \frac{dg_j}{du_i} \right)_{x(t_f-t), u(t_f-t)} \quad (5.26)$$

olarak tanımlanır ve katımlı sistem,

$$\dot{z} = \left( \frac{df}{dx} \right)_{x(t_f-t), u(t_f-t)}^T z + \left( \frac{dg}{du} \right)_{x(t_f-t), u(t_f-t)}^T v \quad (5.27)$$

$$n = \left( \frac{df}{du} \right)_{x(t_f-t), u(t_f-t)}^T z$$

olarak elde edilir.

Eşitlik 5.20' de tanımlanmış katımlı sistemin durum uzayı modelinin vektörel ifadesi gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{z}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(t_f-t) & A_{21}(t_f-t) & \cdot & \cdot & \cdot & A_{12,1}(t_f-t) \\ A_{12}(t_f-t) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{1,12}(t_f-t) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & A_{12,12}(t_f-t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ z_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1(t_f-t) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{12}(t_f-t) \end{bmatrix} v(t) \quad (5.28)$$

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11}(t_f-t) & B_{21}(t_f-t) & \cdot & \cdot & B_{12,1}(t_f-t) \\ B_{12}(t_f-t) & B_{22}(t_f-t) & \cdot & \cdot & B_{12,2}(t_f-t) \\ B_{13}(t_f-t) & B_{23}(t_f-t) & \cdot & \cdot & B_{12,3}(t_f-t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ z_{12} \end{bmatrix}$$

Eşitlik 5.28' de gösterilen katımlı sistem durum uzayı modelinin vektörel ifadesinde, Eşitlik 5.21, 5.22 ve 5.23' ün yerlerine koyulmalarıyla elde edilen durum uzayı modelinin vektörel ifadesi gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{z}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & \frac{df_2}{dx_1} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{dx_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{df_1}{dx_{12}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{dx_{12}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ z_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{dg}{dx_1} \\ \frac{dg}{dx_2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{dg}{dx_{12}} \end{bmatrix} v(t) \quad (5.29)$$

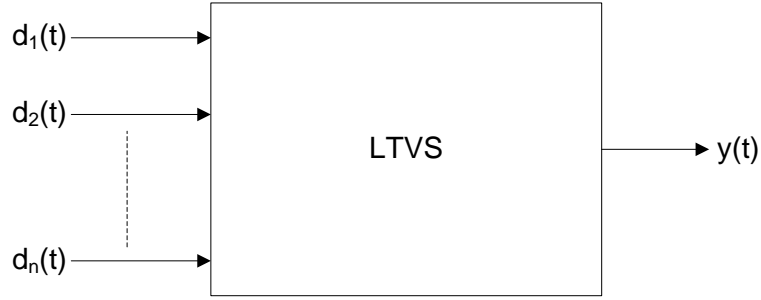
$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{du_1} & \frac{df_2}{du_1} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{du_1} \\ \frac{df_1}{du_2} & \frac{df_2}{du_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{du_2} \\ \frac{df_1}{du_3} & \frac{df_2}{du_3} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{df_{12}}{du_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ z_{12} \end{bmatrix}$$

Bu bölümde şimdiye kadar, doğrusal zamanla değişen bir sistemin katımlı sisteminin nasıl elde edildiği gösterildi. Bundan sonraki kısımlarda, bu katımlı sistemin analizi çalışmaları üzerinde durulacaktır. Katımlı bir sistemin analizi genel olarak iki şekilde gerçekleştirilebilir: belirlenimci model (deterministic model) ve rassal model (stochastic model).

### 5.1. Katımlı Model ile Belirlenimci Analiz

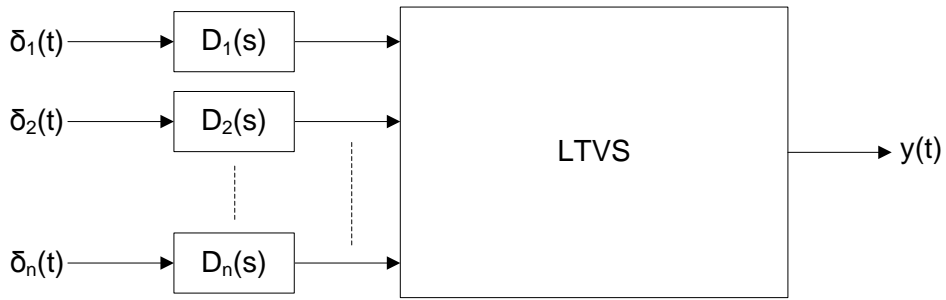
Bu kısımda yapılacak çalışmalarda, belirlenimci model (deterministic model) ile katımlı sistem analizi gerçekleştirilecektir. Kullanılacak olan bu yöntemle belirlenimci model denmesinin sebebi, doğrusal zamanla değişen sistemin bozan etken girişlerinin belirlenimci sinyaller olmasıdır.

Şekil 5.3' de LTVS, belirlenimci bozan etken giriş sinyalleri ve sistem çıkışı gösterilmektedir.



**Şekil 5.3** Belirlenimci sinyaller ve LTVS

Şekil 5.4' de dürtü (impulse) sinyallerinin, belirlenimci sinyallere Laplace dönüşümü uygulanarak elde edilen bozan etken süzgeçlerinden geçirilerek doğrusal zamanla değişmeyen bir sisteme giriş olarak verilmeleri ve böylece sistem çıkışında  $y(t)$  sinyalinin elde edilmesi gösterilmektedir.



**Şekil 5.4** Dürtü sinyallerinin bozan etken süzgeçlerinden geçirilerek LTVS' ye verilmesi

Dürtü sinyalini, sistem bozan etken sinyalinin Laplace ifadesinin alınması ile elde edilen süzgeçten geçirip doğrusal zamanla değişmeyen bir sisteme giriş olarak vermekle, LTVS' nin katımlı sistemine giriş olarak dürtü sinyali verip, katımlı sistem çıkışındaki sinyali bozan etken süzgecinden geçirmek aynı sonucu vermektedir [Zarchan, 1997].

LTV sisteme  $t_0$  anında uygulanan bir dürtünün  $t_f$  anındaki etkisi,

$$y(t_f) = h(t_f, t_0) \quad (5.30)$$

olarak verilir.  $h(.,.)$  fonksiyonu LTVS' nin dürtü tepkisini (impulse response) göstermektedir.

LTVS' nin dürtü tepkisi  $h$  ve katımlı sistemin dürtü tepkisi  $h_a$  arasındaki ilişki,

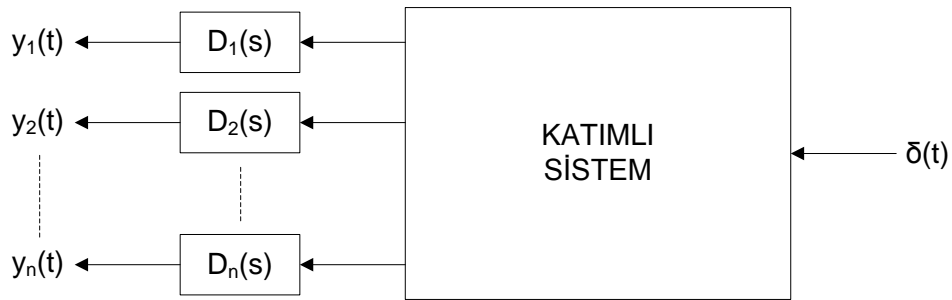
$$h(t, \tau) = h_a(t_f - \tau, t_f - t) \quad (5.31)$$

olarak verilmektedir [Kailath, 1980]. Buna dayanarak,

$$y(t_f) = h(t_f, t_0) = h_a(t_f - t_0, t_f - t_f) = h_a(t_f - t_0, 0) \quad (5.32)$$

yazılabilir. Görüldüğü gibi, orijinal sistemin sonlanma ( $t_f$ ) anındaki tepkisini hesaplamak için, katımlı sisteme "0" anında dürtü vermek yeterli olmaktadır. Böylece, tek bir katımlı sistem benzetimi ile dürtü biçimindeki bozucu etkilerin çıktı içindeki miktarı ayrıştırılmış olmaktadır. Bu yaklaşım, güdüm sistemlerinin belirlenimci bozan etkenlere karşı duyarlılığını analiz için kullanılmaktadır [Özkazanç, 2000].

Şekil 5.5' de katımlı bir sistemin girişine dürtü sinyali verilerek, katımlı sistem çıkışında elde edilen sinyalin, bozan etken süzgecinden geçirilmesi ile elde edilen çıkış sinyalleri gösterilmektedir.



**Şekil 5.5** Katımlı sistem girişine dürtü verilmesi ile sistem çıkışında elde edilen sinyallerin bozan etken süzgeçlerinden geçirilmesi

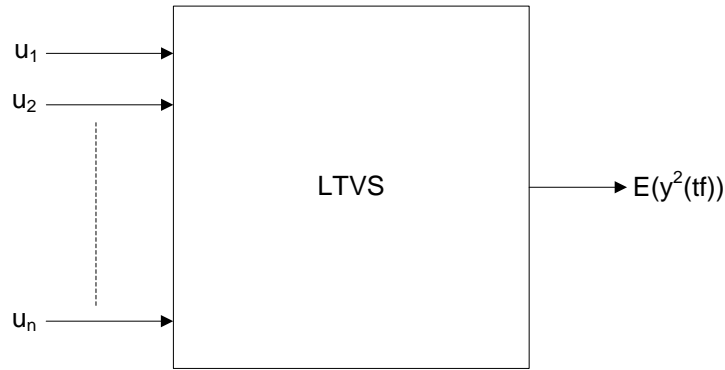
Şekil 5.4 ile Şekil 5.5' de gösterilen yapıların yaptığı işlem temel olarak aynıdır. Her iki sistemde de sisteme dışardan girdi olarak verilen belirlenimci bozan etken sinyallerinde meydana gelecek 1 birimlik değişimin, sistem çıkışında meydana getirdiği değişim incelenmektedir. Bu iki sistem arasındaki tek fark, Şekil 5.4 'de gösterilen sistemde, tüm bozan etkenlerin yarattığı etki tek bir çıkış sinyalinde

toplu olarak görülürken; Şekil 5.5' de gösterilen sistemde her bir bozan etkenin sistem çıkışında meydana getirdiği değişim ayrı ayrı görülmektedir.

## 5.2. Katımlı Model ile Rassal Bozucu Etkenlerin Analizi

Bu kısımda yapılacak çalışmalarda, rassal model (stochastic model) ile katımlı sistem analizi gerçekleştirilecektir. Kullanılacak olan bu yöntem rassal denmesinin sebebi, doğrusal zamanla değişen sistemin bozan etken girişlerinin rassal sinyaller olmasıdır. Yapılacak olan rassal analiz benzetim çalışmalarında bozan etken sinyali olarak sıfır ortalamalı beyaz gürültü (white noise) kullanılacaktır.

Şekil 5.6 'da LTVS, rassal bozan etken giriş sinyalleri ve sistem çıkışı gösterilmektedir.



**Şekil 5.6** Rassal giriş sinyallerinin LTVS' e giriş olarak verilmesi

Güdüm probleminde sapma mesafesi, füze-hedef arasındaki mesafenin sonlanma anındaki ( $t_f$ ) değeri olarak tanımlanır:

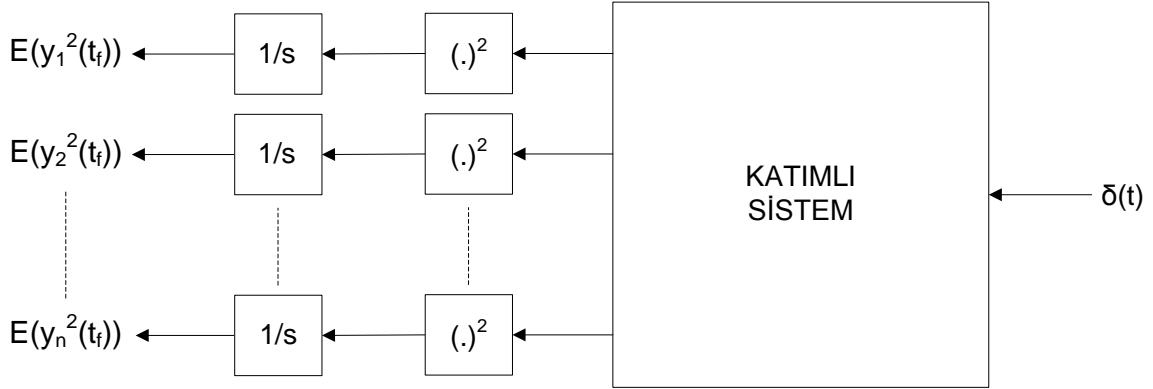
$$\text{Sapma Mesafesi} = y(t_f) \quad (5.33)$$

Güdüm problemine etki eden bozucu etkilerin sıfır ortalamalı beyaz gürültü olarak modellendiği varsayılırsa,  $E(y^2(t_f))$  ifadesi bu rassal etkilerin yaratacağı sapmanın varyansını ifade eder. Bu performans kriteri, Monte-Carlo benzetimi ile elde edilebilir. Katımlı sistem analizinin avantajı, bu sonucu tek bir katımlı sistem benzetimi ile elde edebilmesidir.



Şekil 5.7' de yer alan katımlı sistem modeline, birim dürtü uygulandığında modelin çıkışları doğrudan birim güçteki beyaz gürültünün yol açacağı sapma değerinin varyansını vermektedir [Zarchan, 1997].

Şekil 5.7' de dürtü sinyalinin katımlı sisteme giriş olarak verildikten sonra, sistem sonrasında elde edilen sinyallerin önce kare alıcıdan, sonra da toplayıcıdan geçirilerek çıkış sinyallerinin elde edilmesi gösterilmektedir.



**Şekil 5.7** Katımlı sistem girişine dürtü verilmesi ile sistem çıkışında elde edilen sinyallerin önce kare alıcı ve sonrasında da toplayıcıdan geçirilmesi

Şekil 5.6 ile Şekil 5.7' de gösterilen yapıların yaptığı işlem temel olarak aynıdır. Her iki sistemde de, sisteme dışardan girdi olarak verilen rassal bozan etken sinyallerinde meydana gelecek 1 birimlik değişimin, sistem çıkışında meydana getirdiği değişim incelenmektedir. Bu iki sistem arasındaki tek fark, Şekil 5.6 'da gösterilen sistemde, tüm bozan etkenlerin yarattığı etki tek bir çıkış sinyalinde birlikte görülürken; Şekil 5.7' de gösterilen sistemde her bir bozan etkenin sistem çıkışında meydana getirdiği değişim ayrı ayrı görülmektedir.

Rassal katımlı analizin asıl avantajı ise, beyaz gürültü benzeri bozucu etkilerin sapma mesafesinde yaratacağı varyansın tek bir benzetim ile elde edilebilmesidir. Doğrusal model kullanarak, sapma varyansını elde etmek istediğimizde ise, aynı sapmanın yüzlerce kere koşturulup istatistiksel ortalama alınması gerekmektedir. Bu husus katımlı analizin en büyük avantajıdır ve bu çözümleme yaklaşımı füze güdüm sistemlerinin ilk defa geliştirildiği 1950' li yılların sonundan itibaren kullanılmaktadır. Ancak, son yirmi yılda bu analiz yaklaşımı ile ilgili literatür son derece sınırlıdır.

Katımlı sistem modelinin, belirli bir senaryo üzerinde oluşturulan doğrusal modeli esas aldığı düşünülürse, katımlı analiz ile elde edilen sapma değerlerinin, doğrusal-olmayan senaryolardaki gerçek sapma değerinin üzerine eklenmesi gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

### **5.3. Katımlı Sistem Analizi Benzetim Çalışmaları**

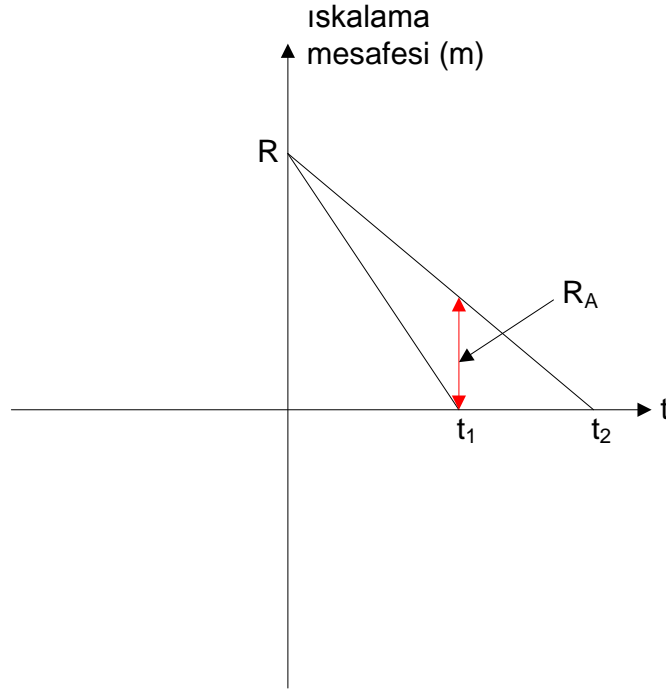
Bu kısımda, katımlı sistem analizi benzetim çalışmaları için elde edilen sonuçlar gösterilecek ve tartışılacaktır. Benzetim çalışmaları esnasında 3. Bölümde gösterilmiş olan senaryolardan faydalanılacaktır. Benzetim çalışmalarında kullanılan senaryolar,

- Hareketsiz hedef senaryosu
- Sabit hızlı hedef senaryosu
- Sabit ivmeli hedef senaryosu
- Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu

olarak verilmiştir.

Bu kısımdaki benzetim çalışmalarında, hem belirlenimci analiz, hem de rassal analiz için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Katımlı model analizi sayesinde, üç boyutlu güdüm sistemi için yeni bir benzetim yapmadan, eğer girişlerden birinde bir birimlik değişim olsaydı, ilk benzetimde kaçırma mesafesinin minimum olarak elde edildiği zaman değerinde, füzenin önceki durumdaki konumundan ne kadar mesafe uzakta olacağı elde edilmektedir. Şekil 5.8' de bu durum gösterilmektedir.



**Şekil 5.8** Belirlenimci model için katımlı sistem çıkışı

Şekil 5.8' de  $t_1$ , katımlı analiz yapıldığı benzetimde sapma mesafesinin minimum olduğu zaman değeridir. Aynı şekilde  $t_2$  ise LTVS girişlerinden biri olan hedef ivmelerinden herhangi birinin  $1 \text{ m/sn}^2$  artırılması durumunda, minimum sapma mesafesinin elde edildiği anı göstermektedir. Şekil 5.8' de  $R_A$  olarak gösterilen parametre, daha önce de belirtildiği üzere LTVS girişlerinden biri olan hedef ivmelerinde  $1 \text{ m/sn}^2$  lik bir değişim olması durumunda, önceki durumda sapma mesafesini minimum yapan zaman değerinde, füzenin eski konumundan ne kadar mesafe uzakta olduğunu göstermektedir.

Belirlenimci analiz ile elde edilen sonuçlar, güdüm sisteminin gerçekçi bir senaryodaki performansı açısından yararlı bilgiler vermese de, çalışmada bütünlük sağlanması açısından tez raporuna eklenmiştir. Öte yandan, rassal katımlı analiz, rasgele hareket eden bir hedefin sebep olacağı ekstra sapma mesafesinin varyansını hesaplamak açısından büyük önem taşımaktadır.

Rassal model kullanılarak gerçekleştirilecek olan katımlı sistem analizinde ise, kare alıcıdan ve toplayıcıdan geçirilerek elde edilen çıkış sinyalleri ise, LTVS girişlerine birim güçte beyaz gürültü uygulanması durumunda, sistemde ne kadar gürültü meydana getirildiğini göstermektedir. Bu etki, sapma mesafesinin varyansı

olarak ortaya çıkacaktır. Sapma mesafesinin, uzam boyutunda ifadesi açısından bu sonuçlar varyans yerine standart sapma olarak ifade edilmiştir.

### 5.3.1. Hareketsiz Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz

Hareketsiz hedef benzetimi için kullanılmış olan senaryo ve başlangıç koşulları, doğrusal olmayan benzetim analizleri bölümünde verilmişti.

Çizelge 5.1' de daha önce üç boyutlu benzetim çalışmaları bölümünde verilmiş olan ve doğrusal–olmayan benzetimler sonucunda elde edilmiş füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1** Hareketsiz hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0626	0.0390	0.1083	0.6342	0.7272	0.0374

**Çizelge 5.2** Hareketsiz hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>x eksenini (m)</b>	33.3987	34.9937	13.6194	3.3480	11.0535	35.4874
<b>y eksenini (m)</b>	37.9374	35.9126	13.0940	3.3448	13.6413	35.4869
<b>z eksenini (m)</b>	0	0	0	0	0	0

Çizelge 5.2' de her bir yön için elde edilmiş rassal katımlı sistem analizi benzetim sonuçları gösterilmektedir. Bu değerler hedef ivme değerlerine birim güçte beyaz gürültü verilmesi durumunda, her bir yöndeki sapma mesafesinde oluşacak standart sapma değerleridir. Hareketsiz hedefe beyaz gürültü gibi ivme verince, hedef olduğu yerde titreşir. Çizelge 5.2' de gösterilen sonuçlar, bu nedenle meydana gelecek tüm yönlerdeki ortalama sapma değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.3** Hareketsiz hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, ortalama sapma mesafesi

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	50.5442	50.1425	18.8929	4.7325	17.5575	50.1864

Çizelge 5.3' de gösterilen değerler hedefin rasgele ivmelenmesi durumunda, meydana gelecek ortalama sapma değerlerini göstermektedir ve bu değerler Çizelge 5.2' de gösterilen her bir yöndeki değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen bu sapma değerleri, hedef ivmelerine birim güçte beyaz gürültü uygulanması durumunda oluşacak sapmayı göstermektedir. Hareketsiz hedef senaryosu için elde edilen bu rassal katımlı analiz sonuçları incelendiğinde, hedef ivmelerine beyaz gürültü uygulanması durumunda, gürültüden kaynaklanacak olan bu sapma değerinin minimum olduğu durumun BR yönteminde elde edildiği anlaşılmaktadır.

### **5.3.2. Sabit Hızlı Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz**

Sabit hızlı hedef benzetimi için kullanılmış olan senaryo ve başlangıç koşulları, doğrusal olmayan benzetim analizleri bölümünde verilmişti.

Çizelge 5.4' de daha önce üç boyutlu benzetim çalışmaları bölümünde verilmiş olan ve doğrusal–olmayan benzetimler sonucunda elde edilmiş füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 5.4** Sabit hızlı hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0087	0.1235	43.7603	26.4612	1.7189	0.0752

**Çizelge 5.5** Sabit hızlı hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>x eksenini (m)</b>	57.6959	17.3449	2.0029	35.4595	4.7945	29.4940
<b>y eksenini (m)</b>	46.8581	10.4342	1.6989	23.1865	6.7391	19.5042
<b>z eksenini (m)</b>	3.8709	1.5019	0.3991	3.8939	0.7770	2.0077

Çizelge 5.5' de her bir yön için elde edilmiş rassal katımlı sistem analizi benzetim sonuçları gösterilmektedir. Bu değerler hedef ivme değerlerine birim güçte beyaz gürültü verilmesi durumunda, her bir yöndeki sapma mesafesinde oluşacak standart sapma değerleridir. Sabit hızlı hedefe beyaz gürültü gibi ivme verince, hedef hızı artık sabit olmaz ve titreşerek ilerler. Çizelge 5.5' de gösterilen sonuçlar, bu nedenle meydana gelecek tüm yönlerdeki ortalama sapma değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.6** Sabit hızlı hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri

	<b>PN</b>	<b>PG</b>	<b>CLOS</b>	<b>BR</b>	<b>MCLOS</b>	<b>MBR</b>
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	74.4277	20.2971	2.6565	42.5459	8.3070	35.4167

Çizelge 5.6' da gösterilen değerler hedefin rasgele ivmelenmesi durumunda, meydana gelecek ortalama sapma değerlerini göstermektedir ve bu değerler Çizelge 5.5' de gösterilen her bir yöndeki değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen bu sapma değerleri, hedef ivmelerine birim güçte beyaz gürültü uygulanması durumunda oluşacak sapmayı göstermektedir. Sabit hızlı hedef senaryosu için elde edilen bu rassal katımlı analiz sonuçları incelendiğinde, hedef ivmelerine beyaz gürültü uygulanması durumunda, gürültüden kaynaklanacak olan bu sapma değerinin minimum olduğu durumun CLOS yönteminde elde edildiği görülmektedir.

### 5.3.3. Sabit İvmeli Hedef Senaryosu için Katımlı Analiz

Sabit ivmeli hedef benzetimi için kullanılmış olan senaryo ve başlangıç koşulları, doğrusal olmayan benzetim analizleri bölümünde verilmişti.

Çizelge 5.7' de daha önce üç boyutlu benzetim çalışmaları bölümünde verilmiş olan ve doğrusal–olmayan benzetimler sonucunda elde edilmiş füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 5.7** Sabit ivmeli hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.0135	6.0854	29.8578	32.2438	4.9252	0.2025

**Çizelge 5.8** Sabit ivmeli hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>x eksenini (m)</b>	3.8852	0.5374	1.5160	1.0580	0.5572	0.2934
<b>y eksenini (m)</b>	4.0792	0.3130	1.1436	0.9300	0.3259	0.2599
<b>z eksenini (m)</b>	0.2296	0.6769	0.1344	0.1003	1.0644	0.1868

Çizelge 5.8' de, her bir yön için elde edilmiş rassal katımlı sistem analizi benzetim sonuçları gösterilmektedir. Bu değerler hedef ivme değerlerine birim güçte beyaz gürültü verilmesi durumunda, her bir yöndeki sapma mesafesinde oluşacak standart sapma değerleridir. Sabit ivmeli hedefe beyaz gürültü gibi ivme verince, hedef ivmelerinin büyüklüklerinde rasgele değişiklikler olacaktır ve hedef titreşerek ilerlemeye başlayacaktır. Çizelge 5.8' de gösterilen sonuçlar, bu nedenle meydana gelecek tüm yönlerdeki ortalama sapma değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.9** Sabit ivmeli hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	5.6380	0.9192	1.9037	1.4122	1.2448	0.4342

Çizelge 5.9’ da gösterilen değerler hedefin rasgele ivmelenmesi durumunda, meydana gelecek ortalama sapma değerlerini göstermektedir ve bu değerler Çizelge 5.8’ de gösterilen her bir yöndeki değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen bu sapma değerleri, hedef ivmelerine birim güçte beyaz gürültü uygulanması durumunda oluşacak sapmayı göstermektedir. Sabit ivmeli hedef senaryosu için elde edilen bu rassal katımlı analiz sonuçları incelendiğinde, hedef ivmelerine beyaz gürültü uygulanması durumunda, gürültüden kaynaklanacak olan bu sapma değerinin tüm yöntemler için benzer olduğu, ancak minimum olduğu durumun MBR yönteminde elde edildiği anlaşılmaktadır.

#### 5.3.4. Fıçı Dönüşü Manevrası Yapan Hedef Senaryosu için Elde Edilen Benzetim Sonuçları

Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef benzetimi için kullanılmış olan senaryo ve başlangıç koşulları, doğrusal olmayan benzetim analizleri bölümünde verilmişti.

Çizelge 5.10’ da daha önce üç boyutlu benzetim çalışmaları bölümünde verilmiş olan ve doğrusal–olmayan benzetimler sonucunda elde edilmiş füzenin hedeften sapma mesafeleri gösterilmektedir.

**Çizelge 5.10** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, doğrusal olmayan benzetimler ile elde edilen sapma mesafesi değerleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	0.3119	$2.1227 \times 10^3$	$1.1297 \times 10^3$	$1.1411 \times 10^3$	429.0837	310.0108

**Çizelge 5.11** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, her bir yöndeki ortalama sapma mesafeleri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>x eksenini (m)</b>	0.9259	44.1346	inf	inf	0.0615	0.0310
<b>y eksenini (m)</b>	0.4494	33.3005	inf	inf	0.3854	0.0021
<b>z eksenini (m)</b>	5.4822	14.7757	inf	inf	0.0225	0.0502



Çizelge 5.11’ de her bir yön için elde edilmiş rassal katımlı sistem analizi benzetim sonuçları gösterilmektedir. Bu değerler hedef ivme değerlerine birim güçte beyaz gürültü verilmesi durumunda, her bir yöndeki sapma mesafesinde oluşacak standart sapma değerleridir. Sabit ivmeli hedefe beyaz gürültü gibi ivme verince, hedef ivmelerinin büyüklüklerinde rasgele değişiklikler olacaktır ve hedef fıçı dönüşü manevrasını yaparken titreşerek hareket edecektir. Çizelge 5.11’ de gösterilen sonuçlar, bu nedenle meydana gelecek tüm yönlerdeki ortalama sapma değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 5.12** Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu, rassal katımlı sistem analizi, sapma mesafesinin ortalama değeri

	PN	PG	CLOS	BR	MCLOS	MBR
<b>Sapma Mesafesi (m)</b>	5.5780	57.2286	inf	inf	0.3909	0.0590

Çizelge 5.12’ de gösterilen değerler hedefin rasgele ivmelenmesi durumunda, meydana gelecek ortalama sapma değerlerini göstermektedir ve bu değerler Çizelge 5.11’ de gösterilen her bir yöndeki değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen bu sapma değerleri, hedef ivmelerine birim güçte beyaz gürültü uygulanması durumunda oluşacak sapmayı göstermektedir. Fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için elde edilen bu rassal katımlı analiz sonuçları incelendiğinde, hedef ivmelerine beyaz gürültü uygulanması durumunda, gürültüden kaynaklanacak olan bu sapma değerinin MBR, MCLOS ve PN durumları için benzer olduğu, ancak minimum olduğu durumun MBR yönteminde elde edildiği anlaşılmaktadır. Doğrusal-olmayan benzetim sonuçları tartışılırken, füze için en zor senaryonun, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu olduğu vurgulanmış ve nitekim sadece PN yöntemindeki füzenin hedefi başarıyla vurduğu görülmüştü. Daha önce de belirtildiği üzere, rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen ortalama sapma mesafesi, sadece gürültüden kaynaklanacak olan sapma mesafesi değerini vermektedir. Dolayısıyla doğrusal-olmayan analiz sonucunda elde edilen sapma değerinin üzerine eklenmelidir. Sonuç olarak fıçı dönüşü manevrası için totalde en güçlü yöntemin PN olduğu açıkça görülmektedir. Çizelge 5.12’ deki değerler incelendiğinde doğrusal-olmayan benzetimlerde en başarısız

olan yöntemlerden CLOS ve BR' nin, fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosu için, hedef ivmelerinde meydana gelecek birim güçteki gürültüye karşı oldukça hassas yöntemler olduğu ortaya çıkmıştır. Hatta bu değerlere bakarak, hedef ivmelerinde gürültü olması durumunda, öngörülen ortalama sapma mesafesinin sonsuz büyüklükte olacağı ortaya çıkmıştır.

Bu kısımda öncelikle, hareketsiz, sabit hızlı, sabit ivmeli ve fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryolarının doğrusal-olmayan benzetimlerinden elde edilen sapma mesafeleri gösterilmiştir. Sonrasında ise, rassal model kullanılarak gerçekleştirilen katımlı sistem analizi sonuçları gösterilmiştir. Rassal katımlı analiz yönteminde, katımlı sistem girişine dürtü sinyali verilmiştir. Benzetim çalışmaları esnasında katımlı sistem girişine dürtü, Eşitlik 5.34' den de anlaşılacağı üzere z durum değişkeni,  $t=0$  için,

$$z_0 = C^T(t_f) \quad (5.34)$$

olarak uygulanmıştır.

Doğrusal-olmayan analizlerde, tüm senaryolar için, PN yöntemi en iyi performansı vermiş ve bu yöntem için tüm senaryolarda en küçük sapma mesafesi değerleri ortaya çıkmıştı. Katımlı sistem analizi sırasında hedef ivmelerine sıfır ortalamalı beyaz gürültü verilmesi durumunda, bu gürültünün sapma mesafesini ortalama ne kadar değiştireceği elde edilmiştir. Hareketsiz hedef, sabit hızlı hedef ve sabit ivmeli hedef senaryoları için elde edilen rassal katımlı analiz sonuçlarına göre, PN yönteminin diğer tüm yöntemlere göre daha büyük ortalama sapma değerleri ürettiği görülmüştür. Ancak fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryosunda PN' nin MBR ve MCLOS' dan sonra en küçük ortalama sapma değerleri verdiği görülmüştür. Doğrusal-olmayan analizlerde diğer yöntemlerin PN' ye göre yetersiz yöntemler oldukları görülmüştü. Ancak katımlı analizlerde, fıçı dönüşü manevrası dışında tüm senaryolarda genel olarak diğer yöntemler, PN' ye göre daha az ortalama sapma mesafesi değeri üretmişlerdir. Bunun nedeni olarak, PN yönteminin füze komuta denklemlerinde LOS değişim hızı olan  $\dot{\lambda}$  türevsel değişkeninin yer alması gösterilebilir. Bu durumun, LOS açısı olan  $\lambda'$  nın süzgeçlenmesiyle düzeltilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca tüm güdüm yöntemleri için, sabit ivmeli hedef senaryosunda en küçük ortalama sapma

değerleri elde edilmiştir. Buna neden olarak, sabit ivmeli hedef senaryosunda sapma mesafesinin elde edildiği zaman değeri olan  $t_f$  zaman değerinin diğer tüm senaryolara göre küçük olması gösterilebilir. Benzetim daha kısa sürdüğü için, sistemde gürültünün etkisi de daha az olmuştur denilebilir. Son olarak rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen ortalama sapma mesafelerinin, doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen sapma mesafelerinin üzerine eklenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

## 6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, taktik füzelerde kullanılan sonlanma güdümü yöntemlerinin 3B formülasyonları ve analizi üzerine çalışılmıştır. Gerçekleştirilen benzetimler sırasında MATLAB ve SIMULINK' den faydalanılmıştır.

Başlangıç olarak taktik füze güdümünün temellerinden bahsedilmiş, buradan, temel füze ve güdüm kontrolüne geçilerek çeşitli tanımlamalardan bahsedilmiştir. Farklı güdüm yöntemlerini için, öncelikle iki boyutlu füze-hedef angajman modeli ve iki boyutlu formülasyonlar tanımlanmıştır. Doğrusal-olmayan benzetim çalışmaları üç boyutta gerçekleştirileceğinden, iki boyuttaki ifadelerden de faydalanılarak, üç boyutlu füze-hedef angajman modeli ile üç boyutlu formülasyonlar elde edilmiştir.

Farklı güdüm yöntemlerini birbirleriyle kıyaslamak için doğrusal-olmayan üç boyutlu benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları sırasında, hareketsiz hedef, sabit hızlı hedef, sabit ivmeli hedef ve fıçı dönüşü manevrası yapan hedef senaryolarından faydalanılmıştır. Benzetim sonucunda elde edilen sonuçlar öncelikle grafikler aracılığıyla gösterilmiş, her bir senaryonun sonrasında ise çizelgeler aracılığı ile tüm yöntemlerin o senaryo için performansı değerlendirilmiştir. Doğrusal-olmayan model için yapılan tüm benzetim çalışmaları ve elde edilen sonuçlardan, PN güdüm yönteminin tek bir güdüm sabiti (fıçı dönüşü manevrası hariç) ile her senaryoda en iyi performansı gösterdiği görülmüştür. Diğer güdüm yöntemlerinin, doğrusal-olmayan analizlerdeki performanslarının, güdüm sabitlerine ve senaryolara oldukça bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Doğrusal bir duyarlılık analizi olan katımlı sistem analizini kullanmak için doğrusal-olmayan füze-hedef angajman modeli doğrusallaştırılarak, katımlı sistem elde edilmiştir. Katımlı analizin nasıl elde edildiği adım adım gösterilmiş ve katımlı sistem analiz yöntemleri olan belirlenimci ve rassal modellerden tanımlanmıştır. Sonrasında rassal model kullanılarak katımlı sistem analizi için benzetimler yapılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Rassal katımlı analiz sonucunda elde edilen ortalama sapma mesafeleri çizelgeler yardımıyla tartışılmıştır. Doğrusal-olmayan analizde en başarılı yöntem olarak ortaya çıkan PN' nin, rassal model kullanılarak

gerçekleştirilen katımlı sistem analizi sonuçlarının beklenildiği gibi olmadığı görülmüştür. Bu durumun  $\lambda$  değişkeninin süzgeçlenmesiyle düzeltilebileceği önerilmiştir. Son olarak rassal katımlı analiz ile elde edilen ortalama sapma değerlerinin, doğrusal-olmayan analiz sonucunda elde edilen sapma değerleriyle birlikte yorumlanması gerektiği hatırlatılmıştır.

## **KAYNAKLAR**

AAP-6 Nato Glossary of Terms and Definitions, 2009.

[Kailath, 1980] Linear Systems, Thomas Kailath, Prentice Hall, 1980

[Kopp, 1982] Active and Semiactive Radar Missile Guidance, Carlo Kopp, 1982.

[Lin, 1991] Modern Navigation, Guidance and Control Processing, Ching Fang Lin, Prentice Hall, 1991.

[Moran, 2005] Three Plane Approach for 3D True Proportional Navigation, İnanç Moran, Master Thesis, Turkish Naval Academy, 2005

[Neri, 2001] Introduction to Electronic Defense Systems, Second Edition, Filippo Neri, Artech House, 2001.

[Ogata, 1997] Modern Control Engineering, Third Edition, Katsuhiko Ogata, Prentice Hall, 1997.

[Özkazanç, 2000] Course Notes on Guidance, Control and Navigation, Yakup Özkazanç, Hacettepe Üniversitesi, 2000.

[Papoulis, 2002] Probability, Random Variables and Stochastic Process, Fourth Edition, Athanasios Papoulis, Mc Graw Hill, 2002.

[Spick, 1987] An Illustrated Guide to Modern Fighter Combat, Mike Spick, Prentice Hall Trade, 1987.

[Weiss, 2005] Adjoint Method for Missile Performance Analysis on State-Space Models, Martin Weiss, Journal Of Guidance Control and Dynamics 2005, Vol 28, No.2, 2005.

[Yanushevsky, 2008] Modern Missile Guidance, Rafael Yanushevsky, CRC Press, 2008.

[Zarchan, 1997] Tactical and Strategic Missile Guidance, Third Edition, Paul Zarchan, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1997.

[Siouris, 2004] Missile Guidance and Control Systems, George Siouris, Springer, 2004

[Krishnan, 2006] Probability and Random Processes, Venkatarama Krishnan, Wiley-Interscience, , 2006

[<http://www.fulldeflection.com>]

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Erkan MİLLİ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1986

### **Eğitim ve Akademik Durumu:**

Lise 2000-2004 : Sıhhiye Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans 2005-2009 : Başkent Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, ANKARA

Yabancı Dil : İngilizce

### **İş Tecrübesi:**

2010-2011 : Elektrik-Elektronik Mühendisliği Araştırma Görevliliği

Başkent Üniversitesi, ANKARA

2011- ... : Güdüm ve Kontrol Tasarım Mühendisi

ROKETSAN A.Ş. , ANKARA