

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNDE SÜRÜ ZEKASI İÇİN
YÖNTEMLERİN VE UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Ogün MALKOÇ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNDE SÜRÜ ZEKASI İÇİN YÖNTEMLERİN VE UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Ogün MALKOÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fikret ARI

Bu tez kapsamında askeri ve sivil alanlarda kullanımı her geçen gün yaygınlaşan, toplumun her kesiminin ilgisini çeken, yapılan yatırımlar ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde popüler duruma gelen insansız hava aracı sistemlerinin; aynı sistemler içerisinde sürü hareketi ve davranışları için bilinmesi gerekenler derlenmiştir. Sürü hareketinin gerçekleştirilebilmesi ve bilgisayar ortamındaki simülasyonda denemelerin yapılabilmesi için insansız hava araçlarını temsil eden kodlar, bu kodların içerisinde ise karar ve hareket algoritmaları oluşturulmuştur. Sürü davranışı doğrultusunda yazılımlar geliştirilmiş ve bu yazılımların da kendi aralarında ihtiyaç duyulan bilgi alışverişini (konum, hız, görev planı, sürü nüfusu vb.) yapması sağlanmıştır. Kullanıcı tarafından belirlenen bir güzergahta farklı formasyonlarda hareket edilmiştir ve telemetri verileri toplanmıştır. Toplanan verilerden yapılan yorumlamalar sonucu görevin yapılacağı alana giriş formasyonunun ve görev alanındaki bölgeler arası geçişlerdeki formasyon değişikliğinin ana etkenler olduğu görülmüştür. Bu etkenler altında gerçekleştirilen görev planları; süre, katedilen mesafe ve hız değişiklikleri açısından yorumlanmıştır. Bütün bunlar sonucunda gelecekte adı çokça kez duyulacak olan insansız hava araçlarında sürü uygulamaları için örnek teşkil edecek çalışma hazırlanmıştır.

Haziran 2024, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava araçları, çoklu insansız hava araçları, sürü zekası, formasyon kontrol ve koordinasyon

ABSTRACT

Master Thesis

COMPARISON OF METHODS AND APPLICATIONS FOR SWARM INTELLIGENCE IN UNMANNED AERIAL VEHICLE SYSTEMS

Ogün MALKOÇ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fikret ARI

Within the scope of this thesis, unmanned aerial vehicle systems, whose use in military and civilian areas is becoming widespread day by day, attracting the attention of all segments of the society and becoming popular today with the investments made and developing technology. What needs to be known for swarm movement and behavior within the same systems has been compiled. Codes representing unmanned aerial vehicles and decision and movement algorithms within these codes have been created in order to realize swarm behavior and to conduct experiments in computer simulation. Software has been developed in the swarm behavior and it is ensured that these software exchange the necessary information (location, speed, mission plan, swarm population, etc.) among themselves. The swarm moved in different formations on a route determined by the user and telemetry data were collected. As a result of the interpretations made from the collected data, it was seen that the main factors were the formation of the entrance to the area where the task was to be performed and the formation change in the transitions between the regions in the task area. The mission plans realized under these factors were interpreted in terms of time, distance traveled and speed changes. As a result of all these, a sample study has been prepared for swarm applications in unmanned aerial vehicles, which will be heard a lot in the future.

June 2024, 96 pages

Key Words: Unmanned aerial vehicles, multiple unmanned aerial vehicles, swarm intelligence, formation control and coordination

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde çalışmam boyunca tezin içeriği ve ilerleyişi için bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli danışman hocam Doç. Dr. Fikret ARI (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı)'ya teşekkür ederim.

Desteklerini sürekli yanımda hissettiğim, sevgili eşim Bengisu GÜLEÇ MALKOÇ'a ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Oğün MALKOÇ
Ankara, Haziran 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	4
1.2 Tezin Önemi ve Özgünlüğü	6
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1 İnsansız Hava Aracı	7
2.2 İHA’larda Haberleşme	8
2.3 Hareket Eksenleri ve Durum Açıları.....	10
2.3.1 Boyuna eksen ve yatış açısı.....	11
2.3.2 Enine eksen ve yunuslama açısı	12
2.3.3 Dikine eksen ve sapma açısı	14
2.4 İHA’larda Sürü Davranışı.....	16
2.5 İHA’larda Sürü Kontrol ve Haberleşme Mimarileri.....	17
2.5.1 Merkezi kontrol ve haberleşme mimarisi	18
2.5.2 Merkezi olmayan kontrol ve haberleşme mimarisi.....	19
2.5.2.1 Tekli grup sürü ağı.....	20
2.5.2.2 Çoklu grup sürü ağı	21
2.5.2.3 Çoklu katman sürü ağı	22
2.6 Mesaj İçerikleri	23
2.7 Formasyon Tipleri.....	24
2.7.1 Çizgi (Line) formasyonu	25
2.7.2 Ok (Arrow) formasyonu	25
2.7.3 Domino formasyonu.....	25
2.8 Ağ Sistemleri.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1 Senaryo.....	29
3.2 Simülasyon Ortamının Oluşturulması	29

3.2.1 Simülasyon altyapısı.....	29
3.2.2 Simülasyon mimarisi.....	32
3.2.3 Simülasyonda koordinat sistemleri	33
3.3 Görev Planlama Yazılımı	35
3.4 Simülasyonda Haberleşme	37
3.5 Simülasyon ve Algoritma.....	39
3.6 Verilerin Toplanması.....	43
3.7 Senaryolar	44
3.7.1 Senaryo-1	49
3.7.2 Senaryo-2	50
3.7.3 Senaryo-3	51
3.7.4 Senaryo-4	52
3.7.5 Senaryo-5	53
3.7.6 Senaryo-6	54
3.8 Ölçümler ve Yorumlamalar	55
3.8.1 Geçen süre.....	55
3.8.2 Katedilen mesafe	59
3.8.2.1 Katedilen ortalama mesafe (m).....	60
3.8.2.2 Katedilen toplam mesafe (m.)	63
3.8.2.3 Gaz açma ve gaz kısma	64
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	70
KAYNAKLAR	72
EKLER.....	74
EK 1 Dinleme ve Kayıt Yazılımından Örnek Kısımlar	74
EK 2 Uçuş Profillerini Çizdiren MATLAB Kodu.....	75
EK 3 Senaryo-1 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	76
EK 4 Senaryo-2 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	79
EK 5 Senaryo-3 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	82
EK 6 Senaryo-4 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	85
EK 7 Senaryo-5 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	88
EK 8 Senaryo-6 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler.....	91
EK 9 Senaryo-4 Görev Hızları Grafiği Çizdiren MATLAB Kodu	94
EK 10 Senaryo-4 Görev Hızları Değişimi Grafiği Çizdiren MATLAB Kodu.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

φ	Yatış Açısı. Birim: Derece Cinsinden Kullanılmıştır. Aralık: (-90°, +90°)
θ	Yunuslama Açısı. Birimi: Derece Cinsinden Kullanılmıştır. Aralık: (-90°, +90°)
ψ	Sapma Açısı. Birimi: Derece Cinsinden Kullanılmıştır. Aralık: (0°, 360°)
a	Ortalama İvme.
CV	Bir İHA'nın Herhangi Bir t Anında Uzaydaki Hızı.
d	İki Döngü Arasında Katedilen Mesafe.
ΔCV	Bir İHA'nın Herhangi Bir t+1 Anı İle t Anı Arasındaki Uzaydaki Hızının Farkı.
ΣCV_+	Bir İHA'nın Uzaydaki Hızının Farkı Pozitif Olanlarının Toplamı.
ΣCV_-	Bir İHA'nın Uzaydaki Hızının Farkı Negatif Olanlarının Toplamı.
SS:dd:ss	Saat: Dakika: Saniye
X_n	Bir İHA'nın n. Döngüdeki Koordinat Sisteminde X Eksenindeki Konumu.
X_{n+1}	Bir İHA'nın n+1. Döngüdeki Koordinat Sisteminde X Eksenindeki Konumu.
Y_n	Bir İHA'nın n. Döngüdeki Koordinat Sisteminde Y Eksenindeki Konumu.
Y_{n+1}	Bir İHA'nın n+1. Döngüdeki Koordinat Sisteminde Y Eksenindeki Konumu.
Z_n	Bir İHA'nın n. Döngüdeki Koordinat Sisteminde Z Eksenindeki Konumu.
Z_{n+1}	Bir İHA'nın n+1. Döngüdeki Koordinat Sisteminde Z Eksenindeki Konumu.
BLOS	Görüş Hattının Ötesinde (Beyond Line-of-Sight)
CSV	Virgülle Ayrılmış Değerler (Comma Separated Values)
DNS	Alan Adı Sistemi (Domain Name System)
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)
EMI	Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
GPY	Görev Planlama Yazılımı
HALE	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (High Altitude Long Endurance)
ID	Identity
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol Version 4
İDA	İnsansız Deniz Aracı
İHA	İnsansız Hava Aracı
İHAS	İnsansız Hava Aracı Sistemi
İKA	İnsansız Kara Aracı
i2i	İHA'dan İHA'ya (UAV to UAV)
i2y	İHA'dan Yer Sistemi'ne (UAV to Ground)
LOS	Görüş Hattı (Line-of- Sight)
MALE	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (Medium Altitude Long Endurance)
MAVLink	Mikro Hava Aracı Bağlantısı (Micro Air Vehicle Link)
Mbps	Megabit per second
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization)
ROS	Robot İşletim Sistemi (Robot Operating System)
SATCOM	Uydu Tabanlı İletişim (Satellite-Based Communications)
Sn	Saniye (Second)
STANAG	Standardizasyon Anlaşması (Standardization Agreement)
s2s	İHA sürüsünden diğer bir İHA sürüsüne (Swarm to Swarm)
TC	Telekomut (Telecommand)
TCP	Transmission Control Protocol
TM	Telemetri (Telemetry)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDP	User Datagram Protocol
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu (Ground Control Station)
YVT	Yer Veri Terminali (Ground Data Terminal)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 LOS telekomut ve telemetri gösterimi	9
Şekil 2.2 BLOS telekomut ve telemetri gösterimi	9
Şekil 2.3 Bir hava aracı için X, Y ve Z eksenleri.....	10
Şekil 2.4 Önden görünümü verilen bir hava aracının yatış açısı tanımlaması	11
Şekil 2.5 Önden görünümü verilen bir hava aracının +15° yatış açısı.....	12
Şekil 2.6 Önden görünümü verilen bir hava aracının -45° yatış açısı.....	12
Şekil 2.7 Yandan görünümü verilen bir hava aracının yunuslama açısı tanımlaması	13
Şekil 2.8 Yandan görünümü verilen bir hava aracının +30° yunuslama açısı	13
Şekil 2.9 Yandan görünümü verilen bir hava aracının -45° yunuslama açısı	14
Şekil 2.10 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının sapma açısı tanımlaması	14
Şekil 2.11 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının -30° sapma açısı.....	15
Şekil 2.12 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının +45° sapma açısı.....	16
Şekil 2.13 Merkezi haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema.....	19
Şekil 2.14 Tekli grup haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema	20
Şekil 2.15 Çoklu grup haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema.....	21
Şekil 2.16 Çoklu katman haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema	22
Şekil 2.17 Çizgi formasyonu.....	25
Şekil 2.18 Ok formasyonu	25
Şekil 2.19 Domino formasyonu	25
Şekil 2.20 Bir ağdaki Unicast haberleşmenin gösterimi	27
Şekil 2.21 Bir ağdaki Broadcast haberleşmenin gösterimi	27
Şekil 2.22 Bir ağdaki Multicast haberleşmenin gösterimi	28
Şekil 3.1 Makinelerin hiyerarşi gösterimi	30
Şekil 3.2 Haberleşmede MAVLink'in izlediği yol	31
Şekil 3.3 Harita yüklenmiş QGroundControl programı arayüzü	31
Şekil 3.4 Global koordinat sisteminde X ve Y eksenlerinin gösterimi	34
Şekil 3.5 Lokal koordinat sisteminde X ve Y eksenlerinin gösterimi.....	35
Şekil 3.6 Nüfusu 6 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları	37
Şekil 3.7 Nüfusu 4 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları	37
Şekil 3.8 Simülasyon ortamı akış diyagramı	41

Şekil 3.9 Sürü davranışı algoritması	42
Şekil 3.10 Telemetri kayıt dosyasından örnek bir görüntü	44
Şekil 3.11 Görev alanının bölgelere ayrılmış gösterimi	45
Şekil 3.12 Çizgi formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi gösterimi ..	47
Şekil 3.13 Ok formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi gösterimi	47
Şekil 3.14 Domino formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi gösterimi	47
Şekil 3.15 Simülasyonda çizgi, ok ve domino formasyon görünümü.....	48
Şekil 3.16 Senaryo-1’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	49
Şekil 3.17 Senaryo-1 uçuş profili.....	49
Şekil 3.18 Senaryo-2’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	50
Şekil 3.19 Senaryo-2 uçuş profili.....	50
Şekil 3.20 Senaryo-3’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	51
Şekil 3.21 Senaryo-3 uçuş profili.....	51
Şekil 3.22 Senaryo-4’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	52
Şekil 3.23 Senaryo-4 uçuş profili.....	52
Şekil 3.24 Senaryo-5’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	53
Şekil 3.25 Senaryo-5 uçuş profili.....	53
Şekil 3.26 Senaryo-6’da arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü.....	54
Şekil 3.27 Senaryo-6 uçuş profili.....	54
Şekil 3.28 Senaryolar için bölgelerde geçirilen süreler ve toplam süre grafiği	58
Şekil 3.29 A bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler	61
Şekil 3.30 B bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler.....	61
Şekil 3.31 C bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler.....	62
Şekil 3.32 Bütün bölgeler için bütün senaryolarda katedilen toplam mesafeler.....	64
Şekil 3.33 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma sayılarının grafiği	66
Şekil 3.34 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma değerleri toplamalarının grafiği .	67
Şekil 3.35 Senaryo-4 görev hızları grafiği	68
Şekil 3.36 Senaryo-4 görev hız değişiklikleri grafiği	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 İletişim yolları.....	18
Çizelge 3.1 Senaryolara göre bölgelerde takip edilecek formasyon tipleri	46
Çizelge 3.2 Formasyon tiplerine göre X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi.....	46
Çizelge 3.3 Görev planı bacaklarına göre girilmesi gereken güzergah noktaları	47
Çizelge 3.4 Senaryolara göre bölgelerde geçirilen süreler.....	56
Çizelge 3.5 Bütün senaryolar için bölgelerde katedilen ortalama mesafeler	60
Çizelge 3.6 Aynı formasyonun yapıldığı bölgelerde katedilen ortalama mesafeler	63
Çizelge 3.7 Bütün senaryolar için bütün bölgelerdeki katedilen toplam mesafeler.....	63
Çizelge 3.8 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma sayıları	66
Çizelge 3.9 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma değerleri toplamaları	67

1. GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan beri içinde bulunduğu ortama uyum sağlamış, yeri gelmiş bulunduğu ortamı kendi ihtiyaçlarına uygun olarak daha sağlıklı, verimli ve güvenli hissedecek şekilde uyarlamıştır. Başlarda hayatta kalma içgüdüğü ile daha sonralarda ise merak doğrultusunda çevresindeki hammadde ve materyalleri kullanmayı öğrenmiş, bilimsel keşifler, buluşlar ve icatlar ile bu süreci sürekli üstüne katarak günümüze kadar devam ettirmiştir.

Wright Kardeşler Aralık 1903'te Kuzey Karolina, Amerika Birleşik Devletleri'nde havacılık tarihinde ilk kez tamamen kontrollü, insanlı ve motorlu hava aracı uçuşunu gerçekleştirmiştir. Devam eden süreçte hava araçları, gelişen elektronik sistemlerle birlikte askeri alanda Dünya Savaşları'nda oyun değiştirici faktör olmuştur; sivil alanda ise hava taşımacılığı (kargo ve yolcu taşımacılığı) ile havacılık "uçar" adımlarla yirminci yüzyılı tamamlamıştır.

İnsansız Hava Aracı (İHA); üzerinde çeşitli sensörler, haberleşme sistemleri ve bilgisayarlar bulunan, bu donanımların uyum içerisinde çalışmasını sağlayan yazılımlar içeren hava aracıdır.

İHA'lar ile çok sayıda, çok yönlü, düşük maliyetli ve kolay idame edilebilir görevler yerine getirilebilir (Yanmaz vd. 2018). Austin (2010) tarafından da belirtildiği gibi, medyanın sıklıkla yaptığı bir hata olan, İHA'ları model uçak veya drone ile karıştırma yanlışlığına düşülmemelidir. İHA'lar kendi içinde "eğer bu olursa, şunu yap" şeklinde yanıt vermeyi sağlayan programlara sahiptir.

Alışlagelmiş insanlı hava aracına göre farkı, bir kokpitinin ve buna paralel içerisinde bir operatörün/pilotun bulunmamasıdır. İHA'lar kontrol istasyonlarından kontrol edilebildiği gibi; bazıları, görece platform boyutlarına göre, sadece bir verici kumanda ile bazıları da tamamen otonom olarak kontrol edilebilmektedirler. Kontrol istasyonlarında pilotun

ve/veya operatörün yönetimi için görüntüleme ekranları, girdi cihazları (lövye, pedal, gaz kolu, kumanda paneli) ile yardımcı elektronik ve bilişim ekipmanları bulunmaktadır.

Bazı İHA'lar o kadar küçüktür ki, elle fırlatılabilir ve operatörün yakın hedefleri keşfetmesine yardımcı olabilecek kadar kullanışlı hale gelmiştir (Keane ve Carr, 2013).

Günümüzde İHA'ların pek çok kullanım alanı vardır. Askeri alanda güvenlik, gözetleme ve istihbarat için; sivil alanda ise kargo taşıma, tarım, telekomünikasyon, görüntüleme ve veri toplama amacıyla kullanılmaktadır. Nonami vd. (2010) tarafından kullanım alanları sınır güvenliği, saldırı ve vuruş, hedef belirleme ve tayin, iletişim, elektronik saldırı, çevresel izleme, uzaktan algılama, havadan haritalama ve meteoroloji şeklinde de çoğaltılmıştır.

İnsanlı hava araçlarına kıyasla daha küçük boyutlar ve daha düşük kütleyle sahip olması, düşük yakıt tüketimi; tercihe ve platforma göre mühimmat, işaretleyici lazer ve elektro-optik kamera bulundurması, uzun süre havada kalış (endurance) yeteneği, hareket çeşitliliği, kolay idamesi, sık olmayan bakım düzeni, düşük maliyetleri İHA kullanım tercihini arttırmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın (2007) hazırladığı "Unmanned Systems Roadmap 2007-2032" raporunda; uzun süreli operasyonlar sıkıcı, kimyasal madde teması gerektiren durumlar kirli ve insan canını riske atan görevler ise tehlikeli olarak isimlendirilmiştir. İHA'ların "sıkıcı, kirli, tehlikeli" görevler için insanlı sistemlerden daha uygun olduğu ve insanın bazı görevleri yerine getirmede sınırlayıcı faktör olduğu görüşü kabul edilmiştir.

İHA Sistemleri ise hava araçları ile birlikte bir organizmayı oluşturan diğer alt sistemleri tanımlar. Bu alt sistemler çoğunlukla ve temel olarak aşağıda verildiği gibidir:

- İnsansız hava aracı
- Yer kontrol istasyonu

- Görev odası (Bazı durumlarda yer kontrol istasyonu içerisinde de bulunabilir.)
- Yer veri terminalleri

Tek bir İHA ile kazanılan yeteneklerin, daha düşük riskin, feda edilebilirliğin ve yapılan görevlerin katma değerinin anlaşılması, birden fazla İHA ile elde edilecek kabiliyetler için yeni başlayan çalışmalarda motivasyon kaynağı olmaktadır. Ülkemizde de bu yönde çalışmalar yapan firmalar bulunmaktadır.

İHA'lar kişisel, endüstriyel ve askeri alanlarda özellikle son 10 yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu serüvende bir sonraki adım ise halihazırda gelişmiş olan bu sistemlere “sürü” halinde hareket ve hareket yeteneğinin kazandırılması olarak görülmektedir. Bu konuda iyi planlanmış haberleşme ve kontrol mimarisi, ilgili sistemdeki hava-hava ve hava-yer bilgi alışverişinin nasıl olacağı konusunda yardımcı olmaktadır. Bu hedefe giderken uygun karar mekanizmaları tasarlanması, en ideal haberleşme ve kontrol mimarisine karar verilmesi önemli adımlardır. Sistem ile alt sistemlerin ihtiyaçları belirlenirken ve tasarım kararları verilirken bütçe, altyapı ve tasarım gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

İHA'lardan oluşturulan sürüler hareketler sırasında anlık tepki, yedeklilik ve görev çeşitliliği gibi birçok avantaj sağlayabilir (Zhang vd. 2020). Bu çalışma boyunca kendi başına her bir İHA “birey” olarak, iki veya ikiden fazla bireyin belirli karar mekanizmaları, mantıklar ve algoritmalar neticesinde bir araya gelerek oluşturdukları grup ise “sürü” olarak tanımlanacaktır.

Bireyler verilen görevi icra etmekle birlikte, kendi varlıklarını ve/veya sürü bütünlüğünü devam ettirmelidirler. Sürü İHA'lar ile gerçekleştirilen operasyonlarda/faaliyetlerde herhangi bir bireyin görevine devam edememesi (vurulması, yakıtının bitmesi, sistem arızası vermesi vb.) durumunda o rolün, diğer bireyler tarafından kapsanması veya devralınması sağlanabilir; bir diğer yandan arama görevlerinde bireyler, arama alanına (search pattern) yayılarak ilgili alanı daha hızlı tarayarak görevi sonuçlandırılabilir. Tüm bu durumlar için; bireyler ve sürü, tasarımcı tarafından belirlenen sınırlar içinde kalarak

ilgili koşullar doğrultusunda gerçek zamanlı değerlendirmelerde bulunmalı ve kullanıcı girdisine gerek duymadan da basit adımları gerçekleştirebilmelidir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezin amacı doğrultusunda, askeri ve sivil alanlarda kullanımı her geçen gün yaygınlaşan, toplumun her kesiminin ilgisini çeken, yapılan yatırımlar ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde popüler duruma gelen İHA sistemlerinin; sabit kanatlı bir platformda önce birey olarak görev planını yerine getirebilen daha sonra ise 6 bireyden oluşacak şekilde sürü hareketi ve davranışları ile ilgili algoritma ortaya konulmuş, İHA'ları temsil edecek yazılımlar geliştirilmiş ve simülasyon ortamına entegre edilmiştir.

Hazırlanan sistem belli bir rotada, irtifada ve sürü hızında farklı formasyon uçuşlarını barındıran senaryolar ile simüle edilmiş, bireylere özel çeşitli veriler toplanmış, toplanan veriler ile farklı yeni veriler oluşturulmuş, bu doğrultuda hazırlanan grafikler ve yorumlamalar ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmada ncelikle; İHA sistemleri ve alt sistemleri için tarihçeye, terminolojideki terimlerin anlamına ve paydaşlara değinilmiştir. Açıklanan sistemlerin haberleşme topolojileri, hava araçları için hareket eksenleri ve durum açıları anlatılmıştır. Çalışma konusunda zelleşebilmek adına daha sonrasında ise İHA'lardaki sürü uygulamaları, haberleşme mimarileri ve hareket davranışları hakkında mevcut yöntemler ve edinilmiş bilgiler araştırılmıştır. Kodlama ve simülasyon aşamasında ihtiyaç duyulacak kadar ağ sistemlerinden bahsedilmiştir.

Elde edilen n bilgilerin devamında sabit kanatlı İHA'lar için sürü davranışı yöntemi geliştirilmiş, sürünün yapması istenilen uçuş formasyonları için, insanlı hava aralarındaki karşılığı araştırılmış ve sürü İHA uygulamaları için karar ve hareket algoritması oluşturulmuştur. Her araç için oluşturulan yazılım modeliyle birlikte, bu modellerin birbirleri ile bilgi alışverişi (konum, hız, araç tipi vb.) yapması sağlanmıştır. Bu algoritmada her bireyin kendi için verdiği kararlarla birlikte sürünün ortak vereceği

kararlar için de sorgu mekanizmaları bulunmaktadır. Her bireyin sahip olduğu başlangıç değerleri karşılaştırılarak görevde icra edilecek formasyon tipi için, hangi bireyin kaçınıcı sürü elemanı olacağı ve hareket rotası gibi sürü kararlarından sonra kullanıcı tarafından belirlenecek olan hedef konuma doğru harekete başlanan otonom hareket/seyir senaryolarda gözlemlenmiş ve paylaşılan mesajlar içerisinde bulunan değerler kaydedilmiştir.

Rota planlamada sabit engel, haritadaki engellerin uçuş boyunca hareketsiz kalması anlamına gelir. Bu tipte engellerin bulunduğu rota planlama uygulamaları literatürde; çevrimdışı rota planlama olarak adlandırılır (Yao vd. 2019).

Algoritma ve modelin ortaya çıkmasıyla farklı formasyonlarda gerçekleştirilen senaryolarda sabit engel olarak Kastamonu, Türkiye’de bulunan Valla Kanyonu referans alınarak vadiye doğru gelen sabit kanatlı İHA sürüsünün; vadi girişinde, vadi boyunca ve vadi çıkışındaki formasyon değişimleri, güzergahı takipleri, vadiyi tamamlama süreleri, hızları ve gaz komutları gibi durumlar takip edilmiştir. Sistemde dolaşan mesajlar ve uçaklara ait bilgiler kaydedilmiş, gerçeğe yakın bir simülasyona aktarılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise, oluşturulan bu sanal ortamda yapılan farklı senaryolar ardından türetilen veriler ve simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Tüm senaryolardan sonra sabit kanatlı İHA’lardan oluşan bir sürü için ve uygun yöntemlerle oluşturulan veriler raporlanmıştır. Sürü halinde vadi geçişini gerçekleştirmeyi, bölgeler özelinde ve genelde ne kadar sürede yaptıkları, ne kadar mesafe katettikleri, gaz açmaya veya gaz kılmaya ne kadar ihtiyaç duydukları ve uygun uçuş profili oluşturup oluşturamadıkları yorumlanmıştır.

Bu algoritmanın mesajlaşma yapısı, karar aşamaları ve değer atamaları ile simülasyon sisteminin nasıl çalıştığı MATERYAL VE YÖNTEM başlığında anlatılmıştır.

Bireylerden toplanan telemetri verilerinden oluşturulan tablolar ve grafiklerin tamamı EKLER bölümünde paylaşılmıştır.

1.2 Tezin Önemi ve Özgünlüğü

Özellikle askeri alanda çoğu ülke, mevcut insanlı hava aracı sistemlerinin sahip olduğu işletme maliyetinden ve pilot yetiştirme sürecinin yıllarca sürmesinden dolayı peyderpey insansız sistemlere geçiş yapmaktadır. Sivil veya askeri envanterlerde bulunan İHA sayısının sürekli artması, bu alanda teknolojinin her gün daha da ileriye gitmesi; konu başlığının ilgi çekici ve gerekli bir alan olduğunu da ortaya koymaktadır.

İHA'lar hakkında çeşitli çalışmalar ve yayınlar bulunmasına rağmen, “Sürü İHA” henüz yeni bir başlıktır. Bu çalışma, sürekli gelişen teknoloji ile birlikte sivil ve askeri alanlarda sıkça ön plana çıkan İHA sistemlerinin otonom ve/veya operatör kontrollü operasyonlarını icra etmelerinin dışında, uygun haberleşme topolojileri ile birlikte sürü davranışı kazandırılarak toplu hareket etme ve sürü operasyonu yetkinliği kazandırılması adına literatürde halihazırda bulunan ve gelecekte yapılacak olan çalışmalara katkı sağlaması amacıyla literatüre sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar ve geliştirilen yöntem İHA sistemlerinin bir sonraki aşaması olan sürü davranışı ve formasyon hareketleri için insan faktöründen olabildiğince bağımsız ve daha verimli/ideal bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağı konusunda yol gösterici olacaktır.

Hazırlanan sanal ortam, yapılan çalışma, kurgulanan algoritmalar ve elde edilen sonuçlar sabit kanatlı İHA sistemleri özelinde olsa da, ortaya çıkan algoritma İnsansız Kara Aracı (İKA) ve İnsansız Deniz Aracı (İDA) sistemleri için de uyarlanabilir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 İnsansız Hava Aracı

İnsansız Hava Aracı (İHA) içerisinde kullanıcı, operatör ve yolcu bulunmayan, boyutları ve kütlesi değişiklik gösteren ve belirli bir görevi yerine getirmesi için tasarlanmış hava aracıdır. Bir İHA'nın kendine atanan görevi icra etmesi için birlikte çalışacağı alt sistemlere ihtiyacı vardır; bu sistemlerle birlikte bütün yapı İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHAS) olarak adlandırılır.

1952'den beri Türkiye'nin de üye olduğu Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization, NATO) tarafından Standardizasyon Anlaşması (Standardization Agreement, STANAG) kapsamında askeri alanda kullanılan İHA'lar belli başlıklar ve standartlar altında toplanmaktadır.

İHA'lar en basite indirgenerek uçak ve helikopter olarak iki ana tipte sınıflandırılmıştır. Pistonlu motor veya jet motorlu, ana gövde, iniş takımı (her tasarımda olması şart değil), kanat ve/veya kanatçıklara sahip İHA'lar "Sabit Kanatlı İHA" olarak; rotorlar üzerinden hareketi sağlayan, palleri ve iniş barı olanlar ise "Döner Kanatlı İHA" olarak isimlendirilir.

Austin (2010) Sabit Kanatlı İHA'ları, görevi icra edebilecekleri irtifaya ve havada kalış sürelerine göre Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (Medium Altitude Long Endurance, MALE) ve Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (High Altitude Long Endurance, HALE) şeklinde gruplandırmıştır.

Her ne kadar İHA'lar bir kokpite sahip olmasa da ona benzer bir ortam olan Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) ile komuta kontrol edilir. YKİ, İHA'nın ve faydalı yüklerin pilot ve/veya operatör tarafından kontrol edildiği, görev planının yönetildiği ve bunları gerçekleştirmek için gerekli ekipmanların ve alt sistemlerin bulunduğu mekandır. YKİ kimi zaman bir konteynerin kimi zaman bir binanın kimi zaman ise tır gibi araçların dorsesi üzerinde

bulunabilir. Natarajan (2001) tarafından YKİ'nin işlevleri aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır:

1. **Hava Aracı Kontrolü:** İHA'yı görevi sırasında, uygun veri bağlantıları ile, etkin bir biçimde kontrol etme ve uçurma kabiliyetini ifade eder.
2. **Faydalı Yük Kontrolü ve Analizi:** İHA'lar çeşitli sensörler ve ekipmanlar taşır. YKİ, İHA aracılığıyla elde edilen veriyi anlamlandırmak için görüntüleme cihazları ve depolama ortamları bulundurur.
3. **Görev Planlama:** YKİ, İHA'nın yeteneklerini ve sınırlarını hesaba katarak görevi planlayan pilot ve/veya operatöre gerekli ortamı ve arayüzü sağlar.

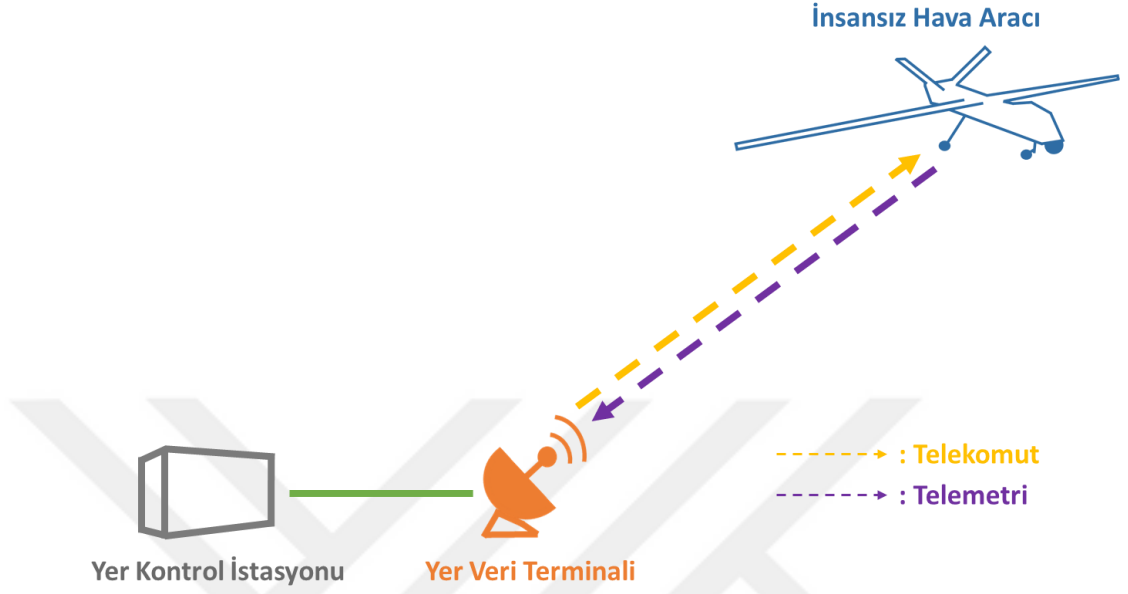
2.2 İHA'larda Haberleşme

İHAS'larda İHA ile haberleşme Yer Veri Terminali (YVT) ile sağlanır. YVT; modem, anten, güç ünitesi, ethernet anahtarı gibi ekipmanlar içerebilir ve radyo dalgaları aracılığıyla İHA ile YKİ arasındaki mesaj ve bilgi alışverişini yapan kavşak nokta konumundadır. YVT ve YKİ arası haberleşme çoğunlukla kablolu (bakır veya fiber) iletişim ağları vasıtasıyla sağlanmaktadır.

İHA operasyonlarında haberleşme, radyo frekansı açısından görüş hattı (Line-of-Sight, LOS) veya görüş hattının ötesinde (Beyond Line-of-Sight, BLOS) olarak yönetilir. LOS tüm hava araçlarında bulunmasına rağmen yüksek maliyetli donanım ihtiyacı nedeniyle BLOS yalnızca orta ve yüksek dayanıklılığa sahip İHA'larda tercih edilir. Uydu tabanlı iletişim (Satellite-Based Communications, SATCOM) İHA'larla BLOS iletişime örnektir (Stansbury vd. 2009).

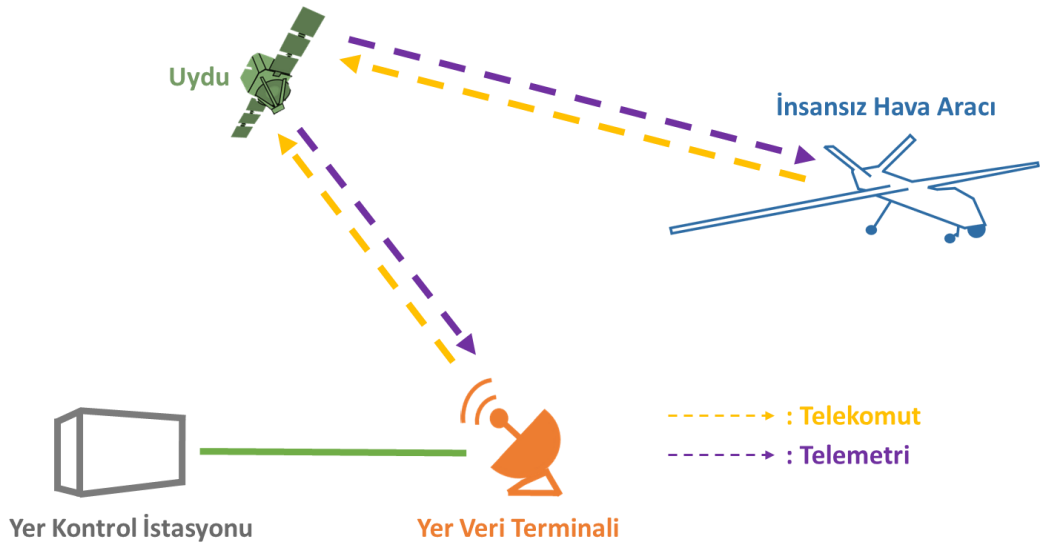
YKİ'den İHA'ya doğru olan haberleşme telekomut (telecommand, TC) tam tersi ise telemetri (telemetry, TM) olarak adlandırılır. Bu haberleşmede iletilen mesajların içerikleri ihtiyaca ve altyapıya göre uyarlanabilir. Kimi zaman telekomut mesajları ile birlikte İHA üzerinden alınan video görüntüsü ve/veya hava aracına özgü kullanılan faydalı yükün verileri de yere indirilir.

LOS üzerinden İHA ile kurulan bağlantı YKİ-YVT-İHA rotasını iki yönlü olarak takip eder. LOS telekomut ve telemetri gösterimi **şekil 2.1**'deki gibidir.



Şekil 2.1 LOS telekomut ve telemetri gösterimi

BLOS üzerinden İHA ile kurulan bağlantı YKİ-YVT-Uydu-İHA rotasını iki yönlü olarak takip eder. BLOS telekomut ve telemetri gösterimi **şekil 2.2**'deki gibidir.

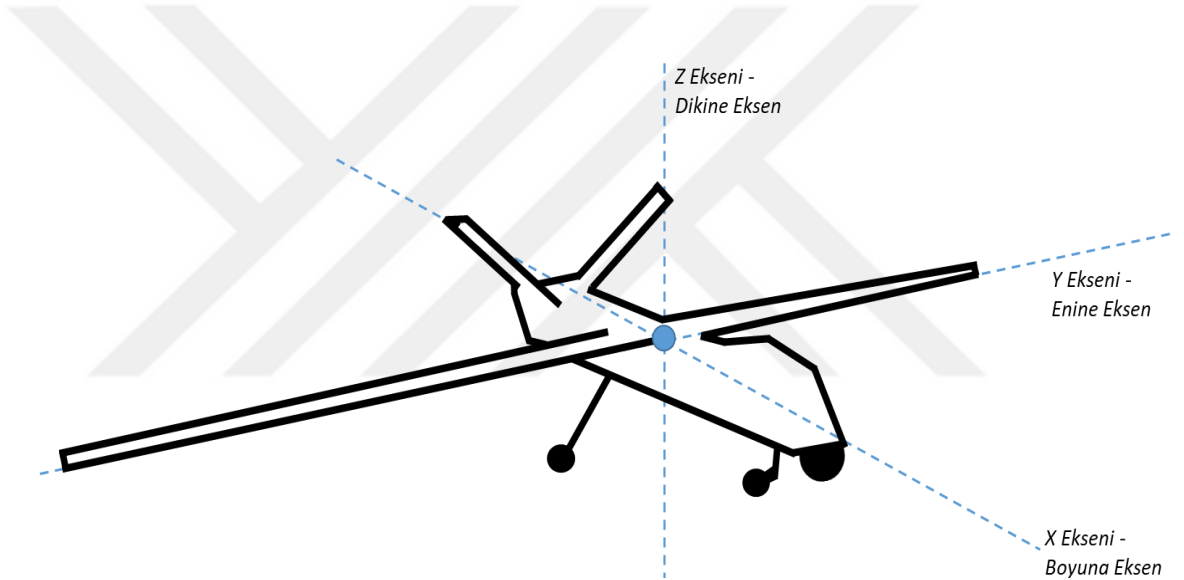


Şekil 2.2 BLOS telekomut ve telemetri gösterimi

2.3 Hareket Eksenleri ve Durum Açıları

Hava aracının ağırlık merkezi noktasından 3 eksenle birbirlerini dik açı ile kesen ve sonsuz uzunlukta doğrular çizilerek yani bir diğer bakış açısıyla hava aracını 3 boyutlu koordinat sisteminde merkeze yerleştirilerek hareket eksenleri tanımlanır. **Şekil 2.3**'te görselleştirilen bu eksenler aşağıdaki gibidir:

- X Eksen - Boyuna Eksen (Longitudinal Axis)
- Y Eksen - Enine Eksen (Lateral Axis)
- Z Eksen - Dikine Eksen (Vertical Axis)



Şekil 2.3 Bir hava aracı için X, Y ve Z eksenleri

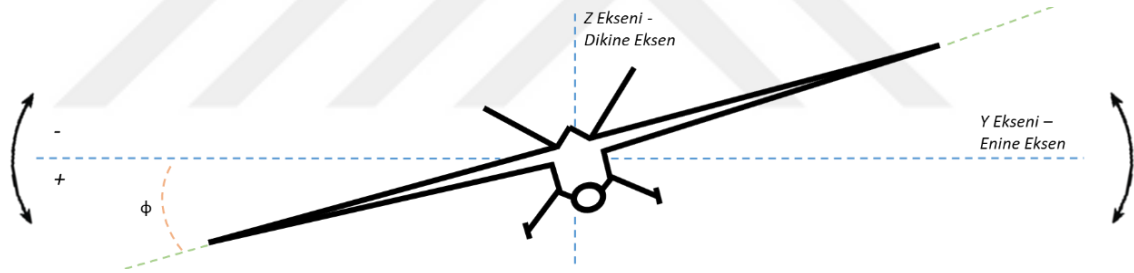
Yerden teker kestikten sonra havada sanal X, Y ve Z eksenlerinde yaptığı manevralar, aynı zamanda dönüş açıları, özel isimlendirmelere ve tanımlamalara sahiptir. Bu açılar aşağıdaki gibidir:

- Yatış Açısı (Roll Angle)
- Yunuslama Açısı (Pitch Angle)
- Sapma Açısı (Yaw Angle)

Amoruso (1996); yatış, yunuslama ve sapma açılarının bir uçağın açısal hareketini tanımlaması veya görselleştirmesi için doğal bir yol olduğunu belirtmektedir. Uçuş sırasında kanatlar üzerinde bulunan kanatçıklar vasıtasıyla herhangi bir anda bu açılardan yalnız birinin değişebileceği gibi, birden fazla açının da değişmesi mümkündür. Manevra sırasında durum açılarının hava aracına özgü sınırları bilindiğinden sınırlar dışında bir hareket komutu gönderilmesi çoğu zaman engellenir. Sınırların dışında bir değerde komut gönderildiği durumlarda ise ilgili kontrol bilgisayarı tarafından bu girdinin sönümleneceği en uygun hareket gerçekleşir.

2.3.1 Boyuna eksen ve yatış açısı

Hava aracının burun tarafındaki en uç noktasından ve ağırlık merkezinden geçen sonsuz uzunluktaki doğru; boyuna eksen (longitudinal axis), bir diğer tabirle uzunlamasına eksen, olarak isimlendirilir. Bu eksen koordinat sisteminde X eksenine karşılık gelir.

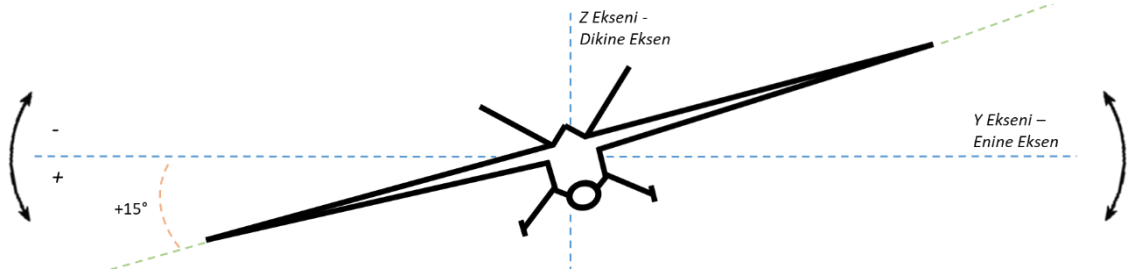


Şekil 2.4 Önden görünümü verilen bir hava aracının yatış açısı tanımlaması

Boyuna eksen referans alınarak hava aracının yaptığı hareket; yatış hareketi, bir diğer tabirle yuvarlanma hareketi, olarak isimlendirilir. Yatış açısı (roll angle) ise hava aracı ile enine eksen arasında kalan açıdır. ϕ (phi) sembolü ile gösterilir ve -90° ile $+90^\circ$ arasında değer alabilir.

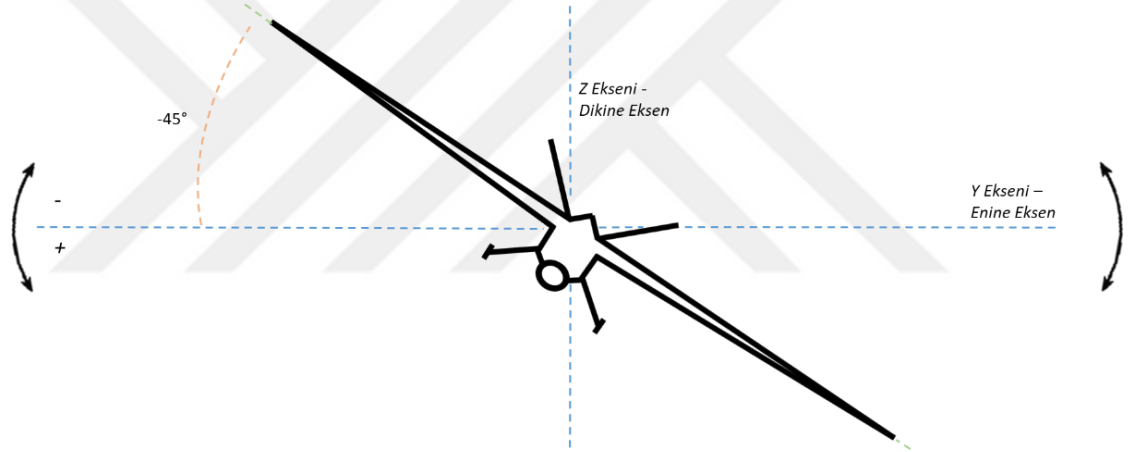
Yatış açısı değişirken hava aracının bir kanadı yer yüzüne yaklaşır, diğer kanadı ise yeryüzünden uzaklaşır. Şekil 2.4'te önden görünümü verilen bir hava aracının yatış açısı tanımlaması yapılmıştır.

+15° yatış açısı ile yatış manevrası yapan hava aracı **şekil 2.5**'teki gibidir.



Şekil 2.5 Önden görünümü verilen bir hava aracının +15° yatış açısı

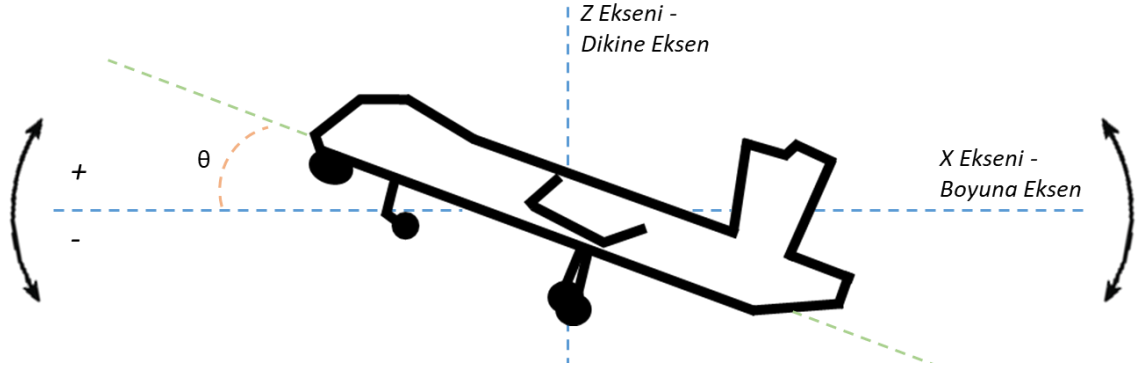
-45° yatış açısı ile yatış manevrası yapan hava aracı **şekil 2.6**'daki gibidir.



Şekil 2.6 Önden görünümü verilen bir hava aracının -45° yatış açısı

2.3.2 Enine eksen ve yunuslama açısı

Hava aracının ağırlık merkezinden geçen ve gövdenin her iki yan kısmına dik olan sonsuz uzunluktaki doğru; enine eksen (lateral axis), bir diğer tabirle yanlamasına eksen, olarak isimlendirilir. Bu eksen, koordinat sisteminde Y eksenine karşılık gelir.

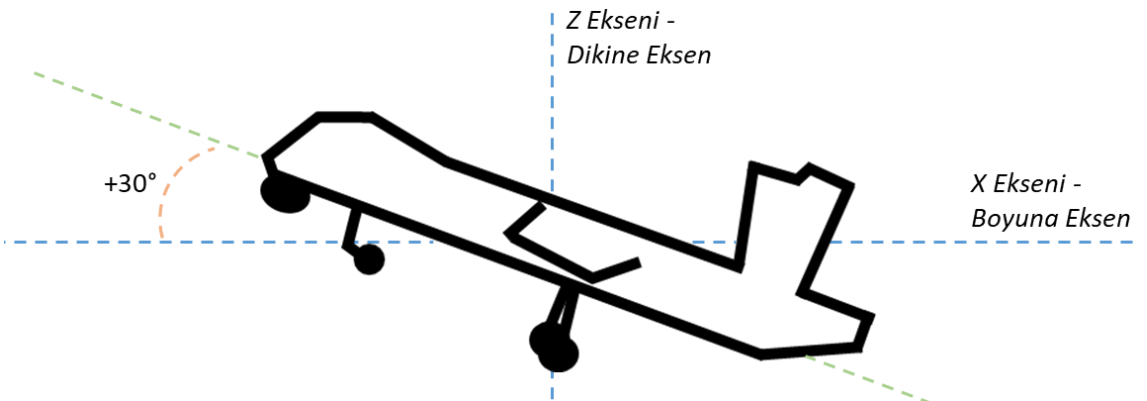


Şekil 2.7 Yandan görünümü verilen bir hava aracının yunuslama açısı tanımlaması

Enine eksen referans alınarak hava aracının yaptığı hareket; yunuslama hareketi olarak isimlendirilir. Yunuslama açısı (pitch angle) ise enine eksen bakış açısından hava aracı ile boyuna eksen arasında kalan açıdır. θ (theta) sembolü ile gösterilir ve -90° ile $+90^\circ$ arasında değer alabilir.

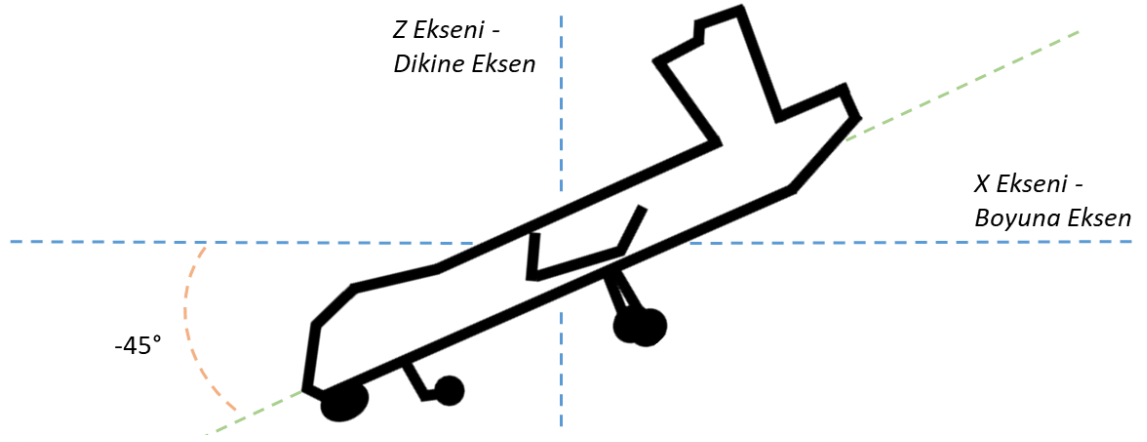
Bu hareket sırasında hava aracının burnu yukarıya kaldırılıyorsa kuyruk kısmı yeryüzüne yaklaşırken; hava aracının burnu aşağıya indiriliyorsa kuyruk kısmı yeryüzünden uzaklaşır. Şekil 2.7’de yandan görünümü verilen bir hava aracının yunuslama açısı tanımlaması yapılmıştır.

$+30^\circ$ yunuslama açısı ile yunuslama manevrası yapan hava aracı **şekil 2.8**’deki gibidir.



Şekil 2.8 Yandan görünümü verilen bir hava aracının $+30^\circ$ yunuslama açısı

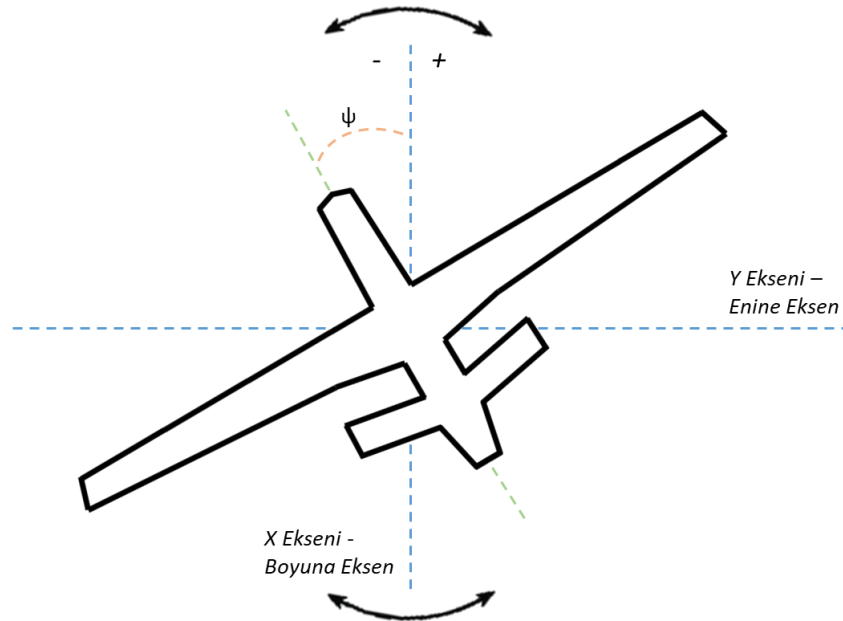
-45° yunuslama açısı ile yunuslama manevrası yapan hava aracı **şekil 2.9**'daki gibidir.



Şekil 2.9 Yandan görünümü verilen bir hava aracının -45° yunuslama açısı

2.3.3 Dikine eksen ve sapma açısı

Hava aracının ağırlık merkezinden geçen ve gövdenin üst ve alt kısımlarına dik olan sonsuz uzunluktaki doğru; dikine eksen (vertical axis), bir diğer tabirle düşey eksen, olarak isimlendirilir. Bu eksen, koordinat sisteminde Z eksenine karşılık gelir.

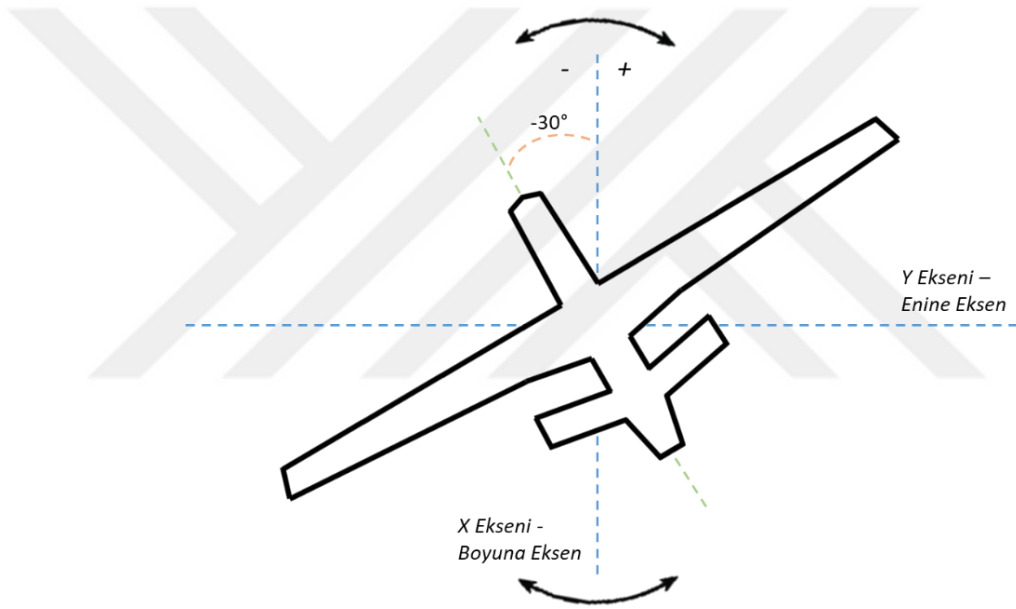


Şekil 2.10 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının sapma açısı tanımlaması

Dikine eksen referans alınarak hava aracının yaptığı hareket; sapma hareketi olarak isimlendirilir. Sapma açısı (yaw angle) ise, dikine eksen bakış açısından hava aracı ile boyuna eksen arasında kalan açıdır. ψ (psi) sembolü ile gösterilir ve 0° ile 360° arasında değer alabilir.

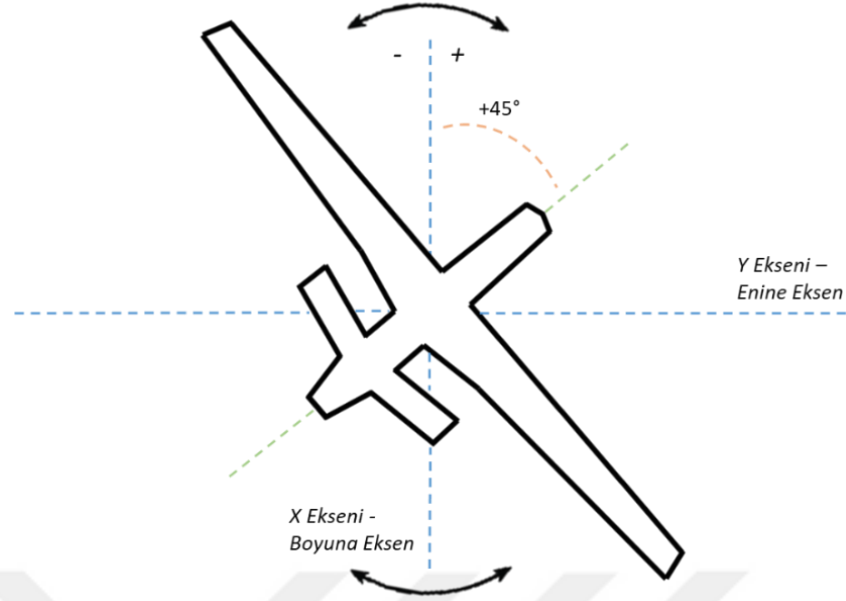
Bu hareket sonucu hava aracının burnunun sağa/sola dönmesi sağlanır. **Şekil 2.10**'da yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının sapma açısı tanımlaması yapılmıştır.

-30° sapma açısı ile sapma manevrası yapan hava aracı **şekil 2.11**'deki gibidir.



Şekil 2.11 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının -30° sapma açısı

$+45^\circ$ sapma açısı ile sapma manevrası yapan hava aracı **şekil 2.12**'deki gibidir.



Şekil 2.12 Yukarıdan görünümü verilen bir hava aracının $+45^\circ$ sapma açısı

2.4 İHA'lar da Sürü Davranışı

İHA'lar; kullanım çeşitliliği, operasyon sıklığı ve paralelde gelişen teknolojiler ile bu konu hakkındaki mevcut literatürlerin günden güne değişmesine neden olmaktadır. Tek bir İHA ile yapılan operasyonlar ve görevler, iki ve/veya daha fazla İHA yani bir sürü ile, daha büyük ölçekli planlarla, başarı oranı yüksek şekilde ve kısa sürede tamamlanabilir. Örneğin bir askeri görev için ihtiyaç duyulan farklı faydalı yüklerin, tek bir İHA üzerinde hazır bulunması; kimi zamanlarda boyut, ağırlık ve çevresel şartlar nedeniyle, kimi zamanlarda ise bu faydalı yüklerin birbirleri ile EMI/EMC etkileşimine girmesi dolayısıyla mümkün değildir.

İHA'lar ile oluşturulan bir sürüde ise görevleri bireyler arasında paylaştırarak çeşitlilik artırılabilir. Böylelikle daha küçük boyutlu, daha düşük maliyetli ve hava aracı kaybının bir nebze olsa da önemsiz hale geldiği bir yapı oluşturulmuş olunur. Operasyon sırasında bireylerin herhangi birinde meydana gelecek sorunun operasyonu etkilememesi hedeflenir.

Kalkış ve bekleme hareketlerini içeren görev öncesi bölümde bireyler arasında bir birliktelik veya uyum olması gerekmemektedir. Bireyler, hareketlerine farklı noktalardan farklı zamanlarda da başlayabilirler.

Bir sürü eğer aynı tip (Sabit Kanatlı/Döner Kanatlı) İHA’lardan oluşuyorsa ve aynı aviyonik/elektronik ekipmanlara sahip ise homojen sürü olarak; en az bir İHA farklı tip ise veya aynı tip İHA’lar arasında ekipman farkı var ise heterojen sürü olarak adlandırılmaktadır.

Bu tez için yapılan çalışmanın içerdiği algoritma adımlarına göre haberleşme senkronizasyonu tamamlandıktan ve nüfus sayımı yapıldıktan sonra Rehber İHA ve bireylerin sürü içerisindeki yerlerini belirlemek adına düğüm analizi yapılır. İterasyonlar sonunda her birey aynı düğüm analizi sonucunu elde ederse göreve başlanır.

Rehber İHA belirli mantıklara göre seçilen sürü içerisindeki bireylerden biridir. Sürü içerisinde herhangi bir yönetim veya komuta rolü yoktur. Rehber İHA’nın konum bilgileri referans alınarak diğer bireyler görev planındaki noktalara uygun olan şekilde kendi düğümlerine karşılık gelen rotayı hesaplayarak operasyonu gerçekleştirirler.

2.5 İHA’larda Sürü Kontrol ve Haberleşme Mimarileri

Bireyler; üzerlerinde bulunan haberleşme birimleri, en basit konfigürasyonla tanımlayacak olursak anten ve modem, vasıtasıyla birbirleri ile haberleşerek kablosuz bir ağ oluştururlar. Oluşturulan bu ağ farklı mimariler ile idame edilebilir. Anten ve modem altyapısı, bütçe kısıtları, yedeklilik isterleri, kimi zaman İHA’ların boyutlarından dolayı üzerlerinde bulunan anteni gölgeleme durumları ve ilgili bölgedeki genel meteorolojik ve coğrafik koşullar haberleşme mimarisi seçiminde rol oynar.

Sürü sisteminde haberleşmenin farklı patikaları vardır. Jawhar vd. (2017), UAV-to-UAV (U2U) yani İHA’dan İHA’ya iletişim ve UAV-to-Infrastructure (U2I) yani İHA’dan Yer Sistemi’ne iletişimden bahsetmiştir.

Bu çalışmada İHA'dan İHA'ya yapılan iletişim “i2i” şeklinde, İHA'dan Yer Sistemi'ne yapılan iletişim “i2y” ve bir İHA sürüsünden diğer bir İHA sürüsüne yapılan iletişim ise “s2s” şeklinde tanımlanmıştır. İletişim yollarının özellikleri ve hangi durumlarda kullanıldıkları **çizelge 2.1**'de detaylandırılmıştır:

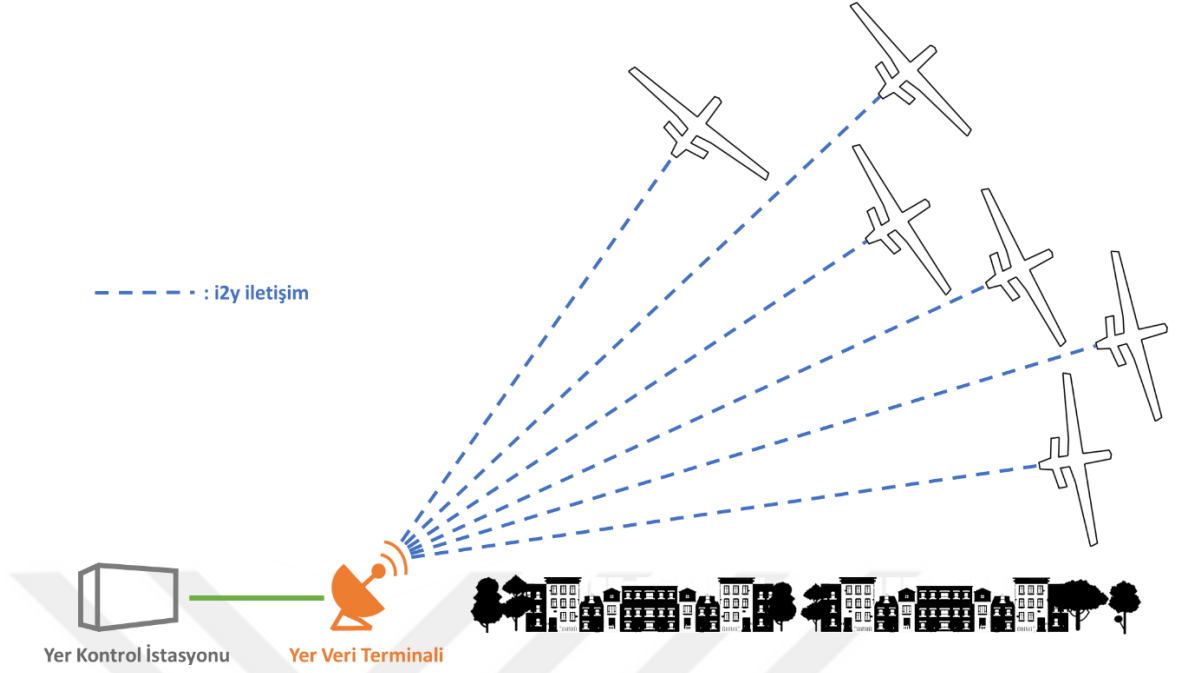
Çizelge 2.1 İletişim yolları

i2i	i2y	s2s
-İHA'dan İHA'ya yapılan iletişimdir. -Direkt 2 birey arasında olabileceği gibi atlamalı bir şekilde diğer bireyler üzerinden de iletişim gerçekleşebilir. -Sürü davranışının devamı için gerçek zamanlı bilgiler i2i ile aktarılır.	-İHA'dan Yer Sistemi'ne yapılan iletişimdir. -Seçilen bir birey aracılığıyla iletişim gerçekleşir. -Telemetri verilerini takip etmek ve gerekmesi halinde görev planı gönderimi için i2y iletişim kullanılır.	-Bireyler ile oluşturulan sürülerin birinden diğerine yapılan iletişimdir. -Her bir sürüden seçilen birer birey aracılığıyla iletişim gerçekleşir. -Sürüler arası bilgiyi aktarmak için s2s iletişim gereklidir.

İHA'larda sürü kontrol ve haberleşme mimarileri için literatürde bütün araştırmacıların ve yazarların halihazırda kalıplara soktuğu ve tam anlamıyla kabul ettiği bir alt kırılım yoktur. Bu çalışmada Chen vd. (2020) tarafından oluşturulan gruplama örnek alınmıştır. Bu gruplamaya göre merkezi ve merkezi olmayan şeklinde iki ana başlıkta ve devamında da alt başlıklarla konu takip edilecektir.

2.5.1 Merkezi kontrol ve haberleşme mimarisi

Merkezi kontrol ve haberleşme mimarisi, bireylerin ayrı ayrı yollarla YVT ve YKİ ile direkt haberleşerek bir sürü oluşturması olarak yorumlanabilir. Havada “i2i” veri aktarımı ve bireylerde sürü davranışı mantıkları bulunmamaktadır. YKİ ile yapılan birebir haberleşme ile YKİ'deki kontrol yazılımından ve sürü algoritmalarının sonucundan bireye özgü atamalar ile hareket etmektedirler. Merkezi haberleşme ve kontrol mimarisinin şematik gösterimi **şekil 2.13**'teki gibidir.



Şekil 2.13 Merkezi haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema

Chriki vd.'ne (2019) göre; YKI, kapsama alanında çalışan birden fazla İHA arasındaki bant genişliği paylaşımını yönetmek için merkezi bir ağ denetleyicisi olarak kullanılır. Sürünün boyutu, görevin kapsama alanı küçük ve görev nispeten basitse bu tür bir mimari daha uygundur. Gözlem amaçlı kullanımlarda da tercih edilmektedir.

Olumsuz yönleri düşünüldüğünde ise, İHA'ların yüksek hareket kabiliyeti ve sürü uygulamalarının kapsama gereksinimleri göz önüne alındığında merkezi haberleşme ve kontrol mimarisi tam anlamıyla güvenilir değildir. Komut için girdiye ve diğer bireylerin bilgileri için YKI'ye mutlak ihtiyaç bulunan bu yapıda YKI'de meydana gelecek herhangi bir arıza görevin işleyişini tehlikeye atacaktır (Manathara vd. 2010).

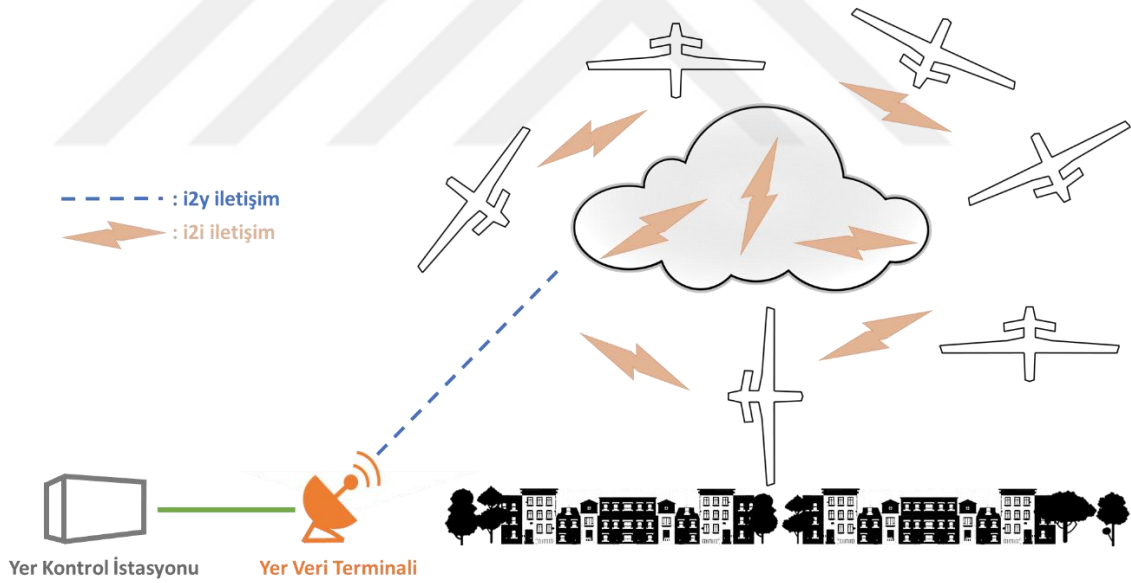
2.5.2 Merkezi olmayan kontrol ve haberleşme mimarisi

Merkezi olmayan kontrol ve haberleşme mimarisi; bireylerin ve/veya sürünün iletişim yolları tekli grup sürü ağı, çoklu grup sürü ağı ve çoklu katman sürü ağı alt başlıkları ile farklılaşmaktadır. Merkezi kontrol ve haberleşme mimarisine göre sürü; büyümeye ve nüfus artışına müsait yapıdadır.

Gupta vd.'nin (2015) belirttikleri üzere, İHA'lar genellikle yüksek hızlarda ve geniş alanlarda görevler icra ettiklerinden bağlı bulundukları haberleşme ağından kopma olasılıkları vardır. Bu yapıda sürü içindeki bireyler, gerçek zamanlı etkileşimli iletişim kurar; böylece YKİ'ye olan bağımlılık ve iletişim menzili kısıtlamaları bir nebze ortadan kalkar.

2.5.2.1 Tekli grup sürü ağı

Tekli grup sürü ağında havada “i2i” iletişim kullanılmaktadır. Sürü mantıkları havada, her hava aracının kontrol bilgisayarı aracılığıyla icra edilir. Telemetri verileri ve görev planı “i2y” çift yönlü haberleşme ile Geçit (Gateway) İHA adı verilen, tek bir birey üzerinden; YVT ve YKİ ile haberleşerek bir sürü oluşturması olarak yorumlanabilir. Tekli grup sürü ağı şematik gösterimi **şekil 2.14**'teki gibidir.



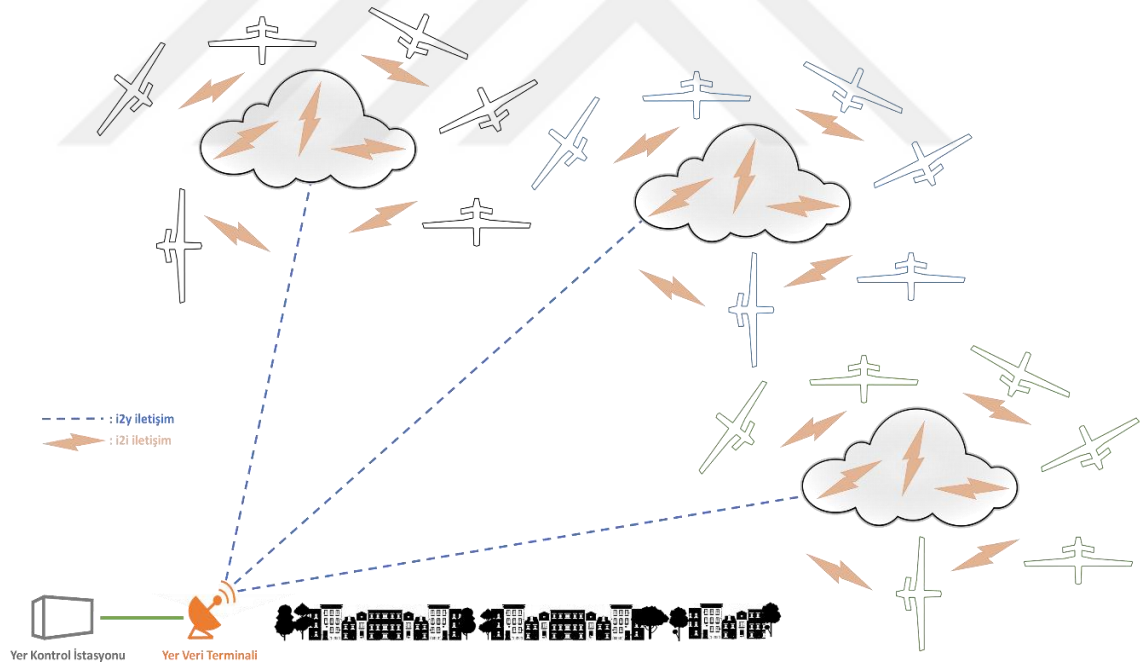
Şekil 2.14 Tekli grup haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema

Homojen sürülerde Geçit İHA'nın hangi birey olduğu farketmeksizin o birey üzerinden hava-yer haberleşmesi sağlanabilir. Heterojen sürülerde ise bu seçim yapılırken gerekli ekipmanlara ve kabiliyete sahip birey ve/veya bireylerin seçilmesi gerekmektedir.

2.5.2.2 Çoklu grup sürü ağı

Merkezi kontrol mimarisi ile tekli grup mimarinin birleşimi olarak düşünülebilir. Özellikle askeri operasyonlarda farklı gruplara farklı görevler atanabilir durumdadır. Bu mimaride de Geçit İHA'lar hala grupların YVT ve YKİ ile haberleşmesinden sorumludur. Bu sürü ağı, bazı yayınlarda Yarı-Merkezi Kontrol Mimarisi olarak da isimlendirilir (Chen vd. 2020).

Çoklu grup sürü ağındaki havada “i2i” iletişim bulunmaktadır. Sürü içi mantıklar havada, her hava aracının kontrol bilgisayarı aracılığıyla icra edilir. Sürüler arası haberleşme ise YVT ve YKİ aracılığıyla bütün sürülerden inen bilginin yorumlanması ile sağlanır. Sürüler arası hava-hava iletişim yoktur. Çoklu grup sürü ağı şematik gösterimi **şekil 2.15**'teki gibidir. Aynı sürüdeki bireyler, aynı renk gösterilmiştir.

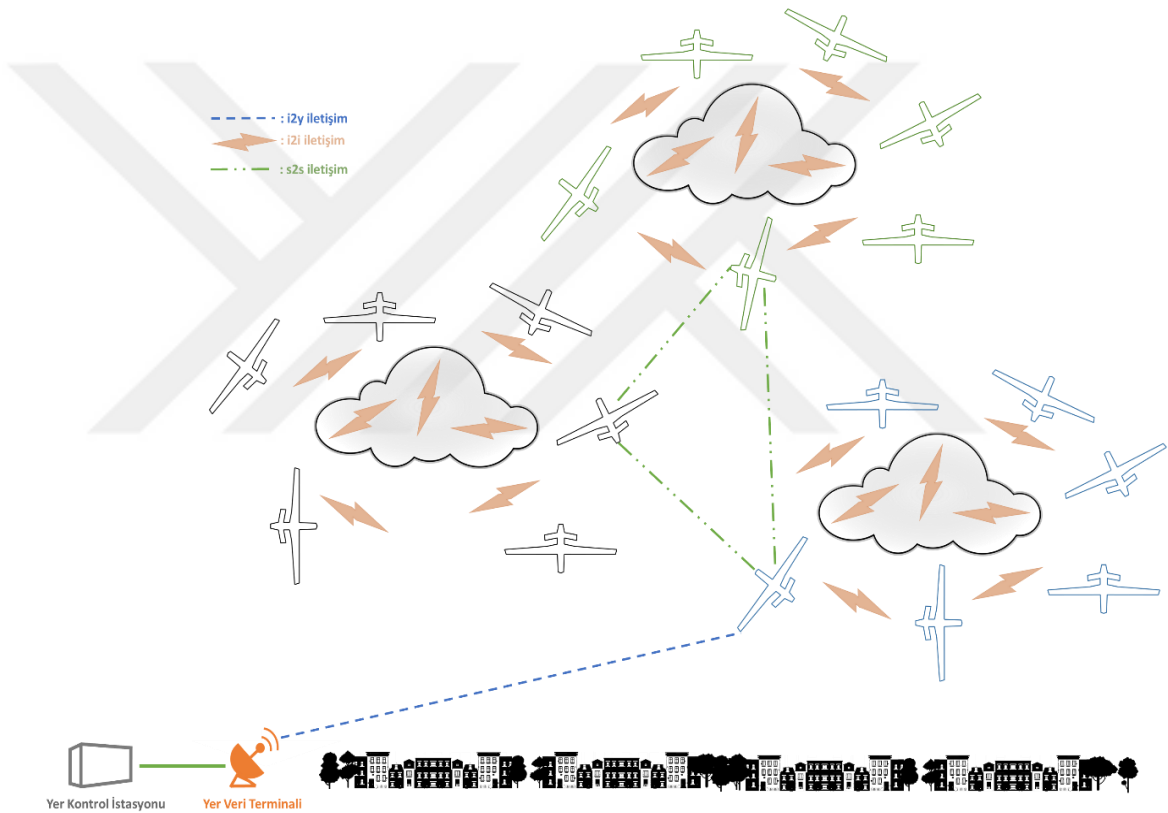


Şekil 2.15 Çoklu grup haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema

Çoklu grup sürü ağındaki YKİ, aynı anda birden fazla grup ile haberleşeceği için gecikmeler yaşanması olası olup; sürüler ile farklı frekanslarda haberleşme göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5.2.3 Çoklu katman sürü ağı

Çoklu katman sürü ağında havada “i2i” iletişim kullanılmaktadır. Çoklu grup sürü ağının sürüler arası haberleşme rotası farklı olan uygulamasıdır. Sürüler arası “s2s” haberleşme her bir sürüden seçilen Geçit İHA ile sağlanır. “i2y” haberleşme ise Geçit İHA’lar arasından hava-hava haberleşmesi ile birlikte hava-yer haberleşmesi yapabileni üzerinden sağlanır. Çoklu katman sürü ağı şematik gösterimi **şekil 2.16**’daki gibidir. Aynı sürüdeki bireyler, aynı renk gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Çoklu katman haberleşme ve kontrol mimarisini gösteren şema

Çoklu katman sürü ağı, sürünün görevlerinin karmaşık olduğu senaryolarda ve grupların görev sırasında farklı rollerde olması gereken senaryolarda kullanışlı bir çözümdür (Jacquet vd. 2001).

2.6 Mesaj İçerikleri

Sürü haberleşme ve kontrol mimarisi tasarımı tamamlandıktan sonra; kurulan bu sistemde haberleşme içeriğinin yani mesajların ve mesaj alanlarının nasıl doldurulacağı, hangi bilgileri içereceği ve gönderim frekansına karar verilmelidir.

İletilecek veri periyodik olabileceği gibi aperiodyk de olabilir. Bu kararı verirken bahsi geçen mesajın içeriğine; sistemde ne kadar “anlık” ihtiyaç duyulduğu göz önünde bulundurulmalı, haberleşme altyapısının ve veriyi işleyecek donanımların bant genişliği de hesaba katılmalıdır. Bu doğrultuda; sistemin sınırları içerisinde gerçek zamanlı ihtiyaç duyulmayan veriler yavaşlatılabilir, gerçek zamanlı ihtiyaç duyulanlar ise hızlandırılabilir.

Bir İHA’nın birey olarak yönetilebilmesi için temelde aşağıdaki bilgilere anlık olarak ihtiyacı vardır:

- Hız (V_x, V_y, V_z)
- Enlem (Latitude)
- Boylam (Longitude)
- İrtifa (Altitude)
- Yatış (Roll) Açısı
- Yunuslama (Pitch) Açısı
- Sapma (Yaw) Açısı
- Yakıt Bilgisi

Bir sürüde ise yukarıdakilere ek olarak temelde aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır:

- Görev Planı
- Sürü Nüfusu
- Bireylerin Sağlık Durumu
- Sürü Sağlık Durumu
- Birey Kimlik Bilgileri
- Sürü Kimlik Bilgisi

2.7 Formasyon Tipleri

İnsanlı hava araçları ile genellikle gösteri uçuşları için kullanılan kol uçuşu yani formasyon uçuşu dizilim çeşitleri mevcuttur. Bu formasyonlar uzun süren eğitimler ve tekrar tekrar denemeler sonucunda pilotların yüksek el-göz koordinasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde Türk Hava Kuvvetleri bünyesinde bulunan Türk Yıldızları ekibi de gösterilerini belli kurallar ve dizilimler doğrultusunda gerçekleştirirler.

Çalışmada kullanılan formasyon tiplerinin seçiminde Amerika Birleşik Devletleri Donanması bünyesinde bulunan “Blue Angels” uçuş gösteri filosunun yayınladığı “2024 Manevralar Kılavuzu” kaynak olarak alınmıştır ve buradaki formasyon tiplerinden esinlenilmiştir (Anonim, 2024).

İHA’larda ise; görev planları ve bu formasyonlar sürü uygulamaları ile hayata geçirilebilir. Bireyler, daha önceden; formasyon tipleri ve hangi formasyonda hangi düğümün hangi konumda olması gerektiği bilgilerini barındırmalıdır. Devamında sürü nüfusu, düğüm analizi sonuçları ve görev planı istekleri (formasyon tipi, sürü hızı, bireyler arası mesafe, hareket noktaları vb.) ile bu formasyonlar icra edilebilir. Formasyonlar için her düğüm aynı irtifada olabileceği gibi; görev planı ile bu irtifalar farklılaştırılabilir.

Bu başlıkta, çalışma boyunca kullanılan formasyon tipleri anlatılırken, bu formasyonların bireyler tarafından nasıl oluşturulacağı MATERYAL VE YÖNTEM başlığında anlatılmıştır.

Çalışmada kullanılan çizgi, ok ve domino formasyonları aşağıda kısaca anlatılmıştır. Diziliş şekillerinde turuncu ile gösterilen bireyler, Rehber İHA’dır. Rehber İHA’nın diğer bireyler üzerinde herhangi bir komut üstünlüğü bulunmamakta ve görev planı boyunca Rehber İHA’nın konumu sürü için referans nokta olarak alınmaktadır.

2.7.1 Çizgi (Line) formasyonu

Hava araçlarının, sözün özünü söylemek gerekirse; omuz omuza durduğu, sürüye kuş bakışı bakıldığında hedef noktasına doğru hareket eden düz bir hat olarak görünen formasyon tipidir. **Şekil 2.17**'de sürüye kuş bakışı çizgi formasyonu verilmiştir.



Şekil 2.17 Çizgi formasyonu

2.7.2 Ok (Arrow) formasyonu

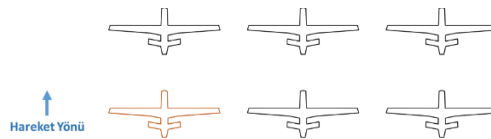
Hava araçlarının “^” şekli oluşturduğu formasyon tipidir. “V” şeklinde ters (reverse) ok formasyonu da mevcuttur. **Şekil 2.18**'de sürüye kuş bakışı ok formasyonu verilmiştir.



Şekil 2.18 Ok formasyonu

2.7.3 Domino formasyonu

Havada oluşan görüntünün domino taşına benzemesi nedeniyle bu adı almıştır. 3x2'lik matris şeklinde olabileceği gibi 2x3'lük domino formasyonu da yapılabilmektedir. **Şekil 2.19**'da sürüye kuş bakışı 2x3'lük domino formasyonu verilmiştir.



Şekil 2.19 Domino formasyonu

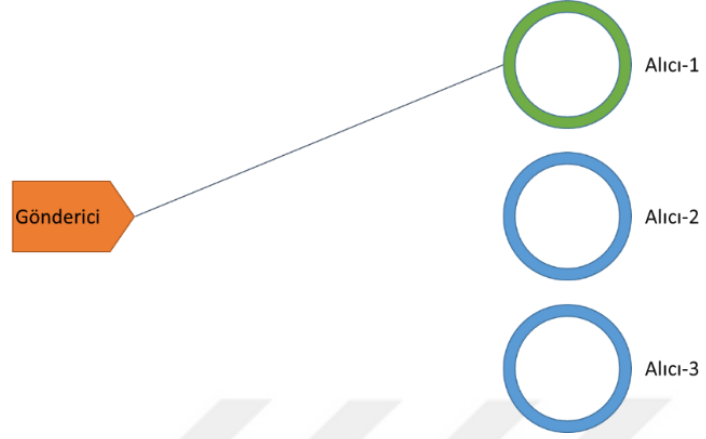
2.8 Ağ Sistemleri

Bilgisayarlarda haberleşme, belirli protokoller aracılığıyla gerçekleştirilir ve ihtiyaca göre seçimler yapılır. Haberleşme için, temelde; IP adresi (Internet Protocol address) ihtiyacı bulunmaktadır. IP adresi kısaca; haberleşmeyi yapan veya haberleşmenin yapılacağı bileşenin ağ sistemindeki adresi şeklinde tanımlanabilir. Günümüzde sıkça kullanılan ve 4. versiyonu olan IPv4'tür; 4 oktet, 32 bitten oluşur (Örneğin: 10.105.2.56, 192.168.10.5 gibi). Port ise kurulan bu haberleşmenin daha da özelleşmiş amacını ve IP adresinin daha da bölünmüş halini temsil eder. Port numarası 0 ile 65535 arasında bir değer alabilir. İlk 1024'ü (0'dan 1023'e) port numarası standartlaştırılmış, özel ve atanmış hizmetler için rezerve edilmiştir (Örneğin: Port 80, HTTP, HyperText Transfer Protocol ve Port 53, DNS, Domain Name System vb.). Port atamaları sayesinde; tek bir IP adresinin birden çok bilgi alışverişi yapması sağlanabilir. Haberleşme için kaynak (source) ve hedef (destination) ağ elemanları bulunur.

TCP (Transmission Control Protocol) ve UDP (User Datagram Protocol) tasarlanan ağ sistemine göre seçilebilecek protokollerdir. TCP ve UDP için sırasıyla Postel (1981) ve Postel (1980)'nin tanımladığı üzere; TCP, bağlantı odaklı, uçtan uca güvenilir bir protokoldür. UDP, uygulama programlarının minimum protokol mekanizmasıyla diğer programlara mesaj göndermesi için bir prosedür sağlar. Protokol, işlem odaklıdır; teslimat ve güvenlik garanti edilmez.

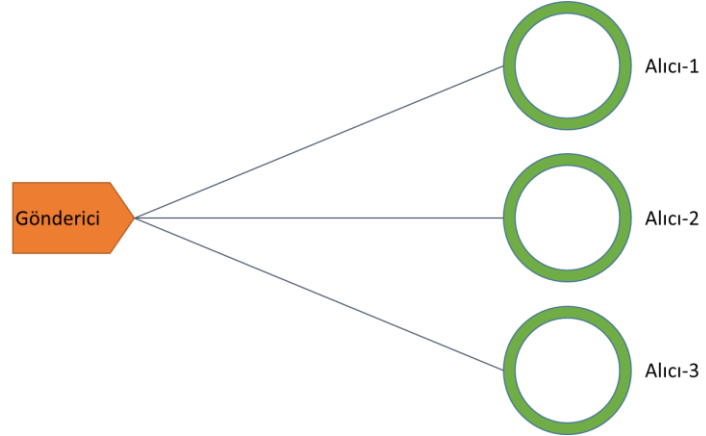
TCP'de adından da anlaşılacağı üzere iletim kontrolü (transmission control) yani haberleşmenin yapıldığı alıcı ile karşılıklı sorgulama, el sıkışma vardır ve UDP'ye göre güvenlik daha ön plandadır. TCP'de ağ elemanları arası bağlantı isteği yollanması ve bu isteğin kabul edilmesi gerekmektedir. UDP'de ise gönderici ve alıcı arasında bağlantı kurulmadan veri gönderimi başlar. UDP'de sorgulama ve güvenlik önlemleri daha az olduğu için TCP'ye göre daha hızlıdır. Gönderilen bilgi, TCP'de sıralı, UDP'de ise toplu şekilde iletilir. IPv4 için yayın tipleri ise Unicast, Multicast ve Broadcast olarak üçe ayrılır. **Şekil 2.20**, **şekil 2.21** ve **şekil 2.22**'de bu haberleşme tipleri sırasıyla görselleştirilmiştir. Gönderici ile alıcılar arasındaki haberleşmelerde yayın tiplerine göre; alıcılardan aktif bağlantıya sahip olanları yeşil renk ile gösterilmiştir.

Unicast: Birebir (one-to-one) iletişim olarak tabir edilir. Bu yayın türünde alıcı belli ve tekdir.



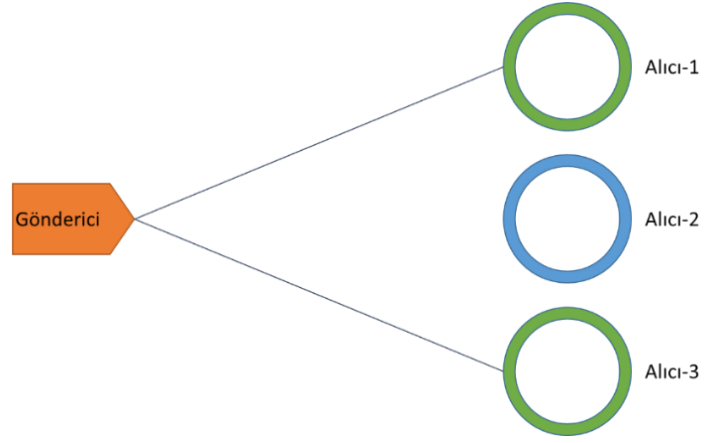
Şekil 2.20 Bir ağdaki Unicast haberleşmenin gösterimi

Broadcast: Birden hepsine (one-to-all) yayın yapılır. Gönderici, alıcı sistemleri sorgulamaksızın ağdaki bütün elemanlara yayın yapar, bütün elemanlar bu veri yayınına maruz kalır.



Şekil 2.21 Bir ağdaki Broadcast haberleşmenin gösterimi

Multicast: Birden çok (one-to-many) yapılan bu yayında birden çok gönderici olabileceği gibi hiç alıcı olmayabilir. Broadcast ile arasındaki en önemli fark; veriye erişecek elemanların Multicast için özel atanmış IP adresleri ile dinleme yapmasıdır.



Şekil 2.22 Bir ağdaki Multicast haberleşmenin gösterimi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Senaryo

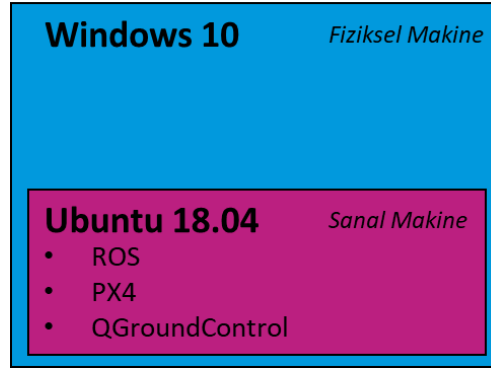
Sabit kanatlı homojen bir İHA sürüşü, merkezi olmayan tekli grup kontrol ve haberleşme mimarisi ile daha önceden hareket için belirlenen ilgili alanda farklı yaklaşma ve formasyon tipleri ile uçuş gerçekleştirecektir.

Harekat alanı için, Kastamonu ili içerisinde ve Küre Dağları Milli Parkı bünyesinde bulunan en derin noktası 800 m derinliğe ve baştan sona 12 km uzunluğa sahip Valla Kanyonu seçilmiştir. “V” şeklinde uzun yarıklar içeren bu kanyona yaklaşan bir İHA sürüşünün; kanyona giriş, kanyon içerisi ve kanyondan çıkış için hızın, formasyon tipinin, formasyon tipleri arasındaki geçişlerin ve bireyler arası mesafenin etkisi gözlemlenecektir.

3.2 Simülasyon Ortamının Oluşturulması

3.2.1 Simülasyon altyapısı

Microsoft Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayarda sanal makine (virtual machine), bu sanal makinenin içerisine de Linux tabanlı olan Ubuntu 18.04 işletim sistemi kurulmuştur. ROS, PX4 ve QGroundControl açık kaynak simülasyon ortamlarının MAVLink haberleşme protokolü ile iletişimleri sağlanarak sanal bir dünya oluşturulmuştur. Fiziksel makinenin (bilgisayar), sanal makinenin ve kullanılan programların/ortamların hiyerarşisi **şekil 3.1**'de gösterilmiştir.



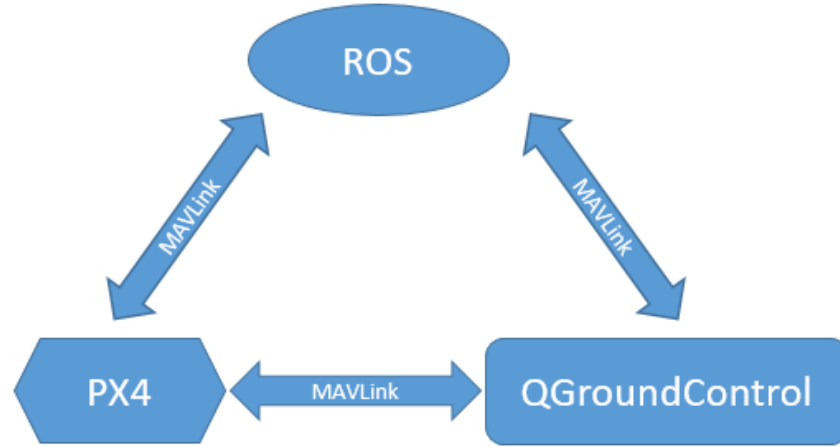
Şekil 3.1 Makinelerin hiyerarşi gösterimi

Oluşturulan bu sanal görev dağılımı aşağıdaki şekildedir:

ROS: Robot İşletim Sistemi (Robot Operating System, ROS); robotik davranışları yönetmeye, taklit ve simüle etmeye yarayan açık kaynak bir sistemdir. Çalışılan projedeki ihtiyaca göre değişiklik yapılmasına imkan tanır. Kod parçalarının gerçekleştirilmesi için gerekli olan sensörler ve donanımlar gibi ortam ihtiyaçlarını sanal olarak sunar.

PX4: Özellikle sabit ve döner kanatlı İHA'ları otonom hale getirmeye yarayan, uçuş davranışlarını ve işlevlerini içerisinde barındıran açık kaynak uçuş kontrol yazılımıdır.

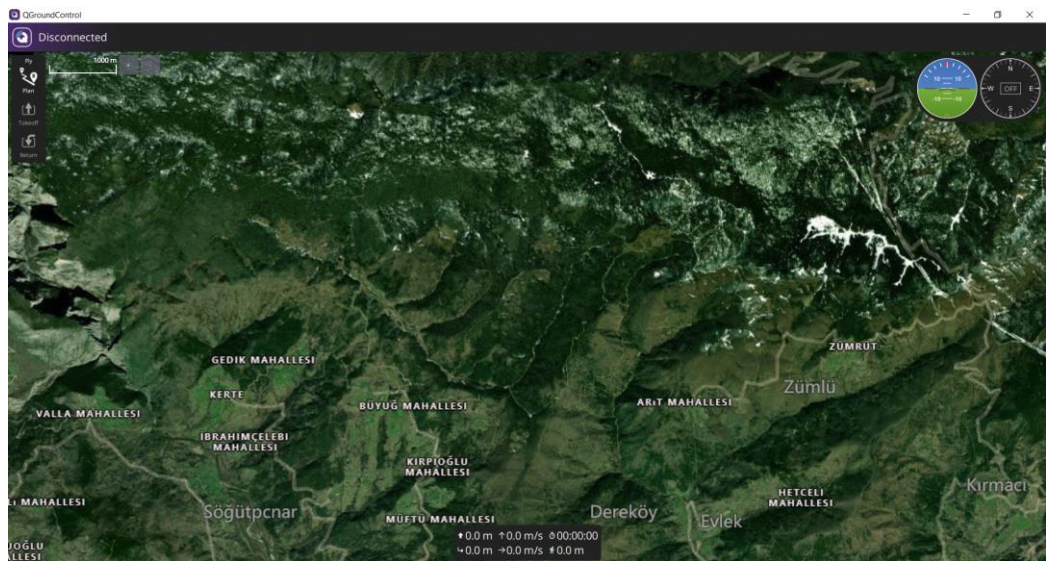
MAVLink: Mikro Hava Aracı Bağlantısı (Micro Air Vehicle Link, MAVLink); dronelerde iletişimi sağlayan, göndericinin ve alıcının kimliğini barındıran, mesajların ve komutların yapısını ve nasıl iletileceğini tanımlayan çift yönlü mesajlaşma protokolüdür. Kütüphanesinde bulunan mevcut parametreler kullanılarak ihtiyaç duyulan değerler elde edilir ve istenilmesi halinde “SET” komutları ile bu alanlara değer ataması yapılabilir. Şekil 3.2’de ROS, PX4 ve QGroundControl haberleşmesinde MAVLink’in izlediği yol verilmiştir.



Şekil 3.2 Haberleşmede MAVLink'in izlediği yol

QGroundControl: PX4 uçuş kontrol yazılımı ile uyumlu bir şekilde çalışabilen açık kaynak bir görev planlama programıdır. İHA'nın icra edeceği görevin oluşturulmasında kullanılır. Görev sırasında ise hava aracının gerçek zamanlı bilgilerinin görüntülenmesine olanak sağlayan pencereler, alanlar ve göstergeler barındırır.

QGroundControl programına çevrimdışı Valla Kanyonu ve yakın çevresinin haritaları yüklenmiştir. Bu haritalarda yükseklik bilgileri bulunmamaktadır. Şekil 3.3'te harita yüklenmiş QGroundControl programı arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Harita yüklenmiş QGroundControl programı arayüzü

3.2.2 Simülasyon mimarisi

Python programlama dili kullanılarak, ROS ve PX4 aracılığıyla bir İHA'yı simüle edecek, bir başka deyişle gerçekleyecek yazılımlar hazırlanmıştır. UAV.py ismi verilen bu yazılım sürüyü oluşturması için çeşitli parametreler değiştirilerek 6 farklı UAV versiyonuna çoğaltılmıştır. Çalışmanın geri kalan kısmında bu yazılımlar “İHA dosyası” olarak isimlendirilecektir. Bu İHA dosyaları birbirleri ile aynı fonksiyonlara ve yeteneklere sahip olsalar da bir yandan da farklılaşmaları ihtiyacı doğmuştur. Farklılaşmayı ve sağlıklı bir uçuşu sağlamak için hava araçlarına özgü olacak aşağıdaki mesaj alanları eklenmiştir:

UAVID: Hava aracı kimliğini içeren bu mesaj alanı 3 basamaklı ve tam sayı olacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir İHA dosyasında bu alanın farklı olması zorunluluğunu içeren mantık yazılıma eklenmiştir.

NodeID: Hava araçlarının sürüde hangi düğümde, yani pozisyonda, olacaklarını anladığı değerdir. 1 basamaklı ve 0 ile 6 arasında tam sayı değer alabilen bu alanın varsayılan değeri 0 (sıfır)'dır. Düğüm analizi fonksiyonu çalıştıktan sonra her İHA dosyasında da bu alana atanan değer farklı olması gerekmektedir. Farklılaşma oluşana kadar 20 döngü boyunca düğüm analizi tekrarlanır ve iterasyon sonucu beklenir. 20 döngüden önce herhangi bir döngüde sonuç başarılı olursa fonksiyon sonlanır. 20. döngünün sonunda dahi sürüdeki her hava aracı birbirlerinden farklı değer alamazsa sürü oluşturulamamış sonucu elde edilir ve görev başlamadan iptal edilir.

UAVHeader & UAVFooter: İHA dosyaları çalıştırıldığında kurulan iletişim sonrası görev başlanamamış olsa bile bilgi alışverişi başlar. Bilgi alışverişinde gelen mesajlar “parse” edilirken, yani en kısa tabirle; anlamlandırılabilir seviyede küçük mesaj alanlarına dönüştürülürken, mesajın doğruluğunu ve herhangi bir kayma olup olmadığını anlayabilmek adına mesajların başında UAVHeader, sonunda ise UAVFooter alanları kullanılmıştır. Her İHA dosyasına özel değerler tanıtılmış ve fonksiyonlar oluşturulmuştur.

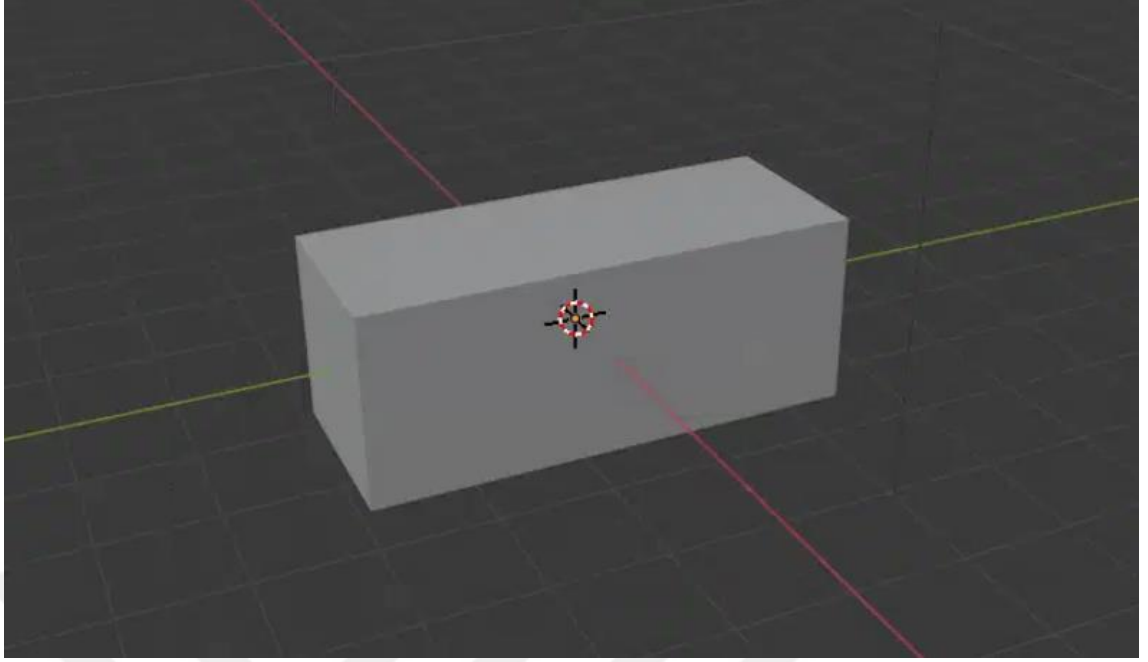
Takeoff Point & Takeoff Altitude: Kalkış noktası (takeoff point) ve kalkış irtifası (takeoff altitude), her İHA dosyasında farklı varsayılan değerler olarak ayarlanmıştır. Bu farklılığın nedeni; kalkış sonrasında görev planı yükleninceye kadarki geçen sürede İHA'ların bekleme noktası (waiting point) adı verilen, hava araçlarının birbirlerini riske atmayacak uzayda birbirleri ile 15° fark olan güvenli noktalarda ve farklı irtifalarda beklemesidir.

Landing Point: İniş noktası (landing point), her İHA dosyasında kalkışın yapıldığı pist olarak aynı varsayılan değerler ile ayarlanmıştır. Hava araçları inişe başlamadan önce, kalkış sonrası kullandıkları bekleme noktalarında bekler. Kalkış sırasının tam tersi şekilde inişlerini gerçekleştirirler.

3.2.3 Simülasyonda koordinat sistemleri

Bu çalışmada global ve lokal koordinat sistemleri kullanılmıştır. Aynı uzayda bulunan cisimlerin global koordinat sisteminde X, Y ve Z eksenleri aynı olarak yorumlanabilir, lakin cisimlerin eksen çevresinde dönmüş hallerine göre lokal koordinat sistemindeki eksenleri farklılık gösterecektir. Bu iki koordinat sistemi arasındaki geçişi anlatabilmek adına, üç boyutlu modelleme programı olan Blender'da bir dikdörtgenler prizması oluşturulmuştur.

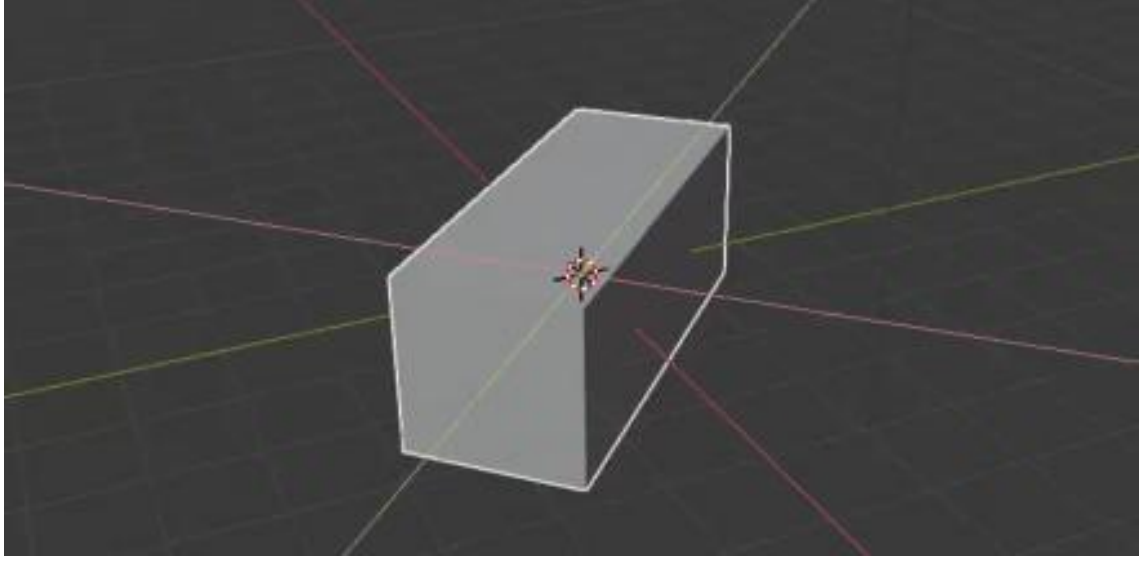
Şekil 3.4'te görüldüğü üzere kırmızı çizgi ile gösterilen eksen global koordinat sisteminde X eksenini iken, sarı çizgi ile gösterilen ise Y eksenidir.



Şekil 3.4 Global koordinat sisteminde X ve Y eksenlerinin gösterimi

Dikdörtgenler prizmasının, Z ekseninde 45° döndürülmesi ile elde edilen görünüm **şekil 3.5**'te verilmiştir. **Şekil 3.4**'te gösterilen global koordinat sistemindeki eksenler döndürülmüş dikdörtgenler prizmasının eksenleri ile aynı olmasına rağmen lokal koordinat sisteminde cismin X ve Y eksenleri değişmiştir.

Şekil 3.5'te pembe çizgi ile gösterilen eksen lokal koordinat sisteminde X ekseni iken, yeşil çizgi ile gösterilen ise Y eksenidir.



Şekil 3.5 Lokal koordinat sisteminde X ve Y eksenlerinin gösterimi

Bu çalışmada hava araçlarının sapma açısına göre değişiklik göstereceği için; İHA'ların konumları üzerinden yapılan işlemlerde, global-lokal koordinat sistemleri arasında PX4 kütüphanesinde bulunan dönüşümler kullanılmıştır.

3.3 Görev Planlama Yazılımı

İHA dosyalarının çalıştırılması ile İHA'lar kalkış (takeoff) gerçekleştirir ve ön belleklerinde bulunan kalkış enleminde, boylamında ve irtifasında (takeoff_lat, takeoff_lon ve takeoff_alt) bekleme moduna geçerler. Haberleşme, İHA dosyaları çalıştığı anda başladığı için İHA'lar birbirlerinden haberdar olurlar lakin bir sürü oluşturmazlar.

Bir önceki bölümde bahsedilen QGroundControl yazılımı tek bir İHA'yı simüle etme ve görev planı yükleme yeteneğine sahiptir. Tez çalışması için gerekli olan sürü mantığı bu açık kaynak yazılıma entegre değildir. Bu nedenden ötürü QGroundControl yazılımının sadece görselleştirme yetenekleri bu çalışmada kullanılmıştır. Yazılım konfigürasyon dosyasında yer alan dinleme portundan kullanıcıların oluşturduğu İHA dosyalarını dinleme ve görev planı gönderme yeteneğini barındırmaktadır. Konfigürasyon dosyasına,

hazırlanan 6 İHA dosyasında bulunan gerçek zamanlı İHA bilgileri gönderme ve alma yani telekomut ve telemetri için IP ile port bilgileri eklenmiştir. Böylece konum, hız, irtifa ve durum açıları gibi gerçek zamanlı bilgiler; QGroundControl yazılımı arayüzünden takip edilebilir hale getirilmiştir.

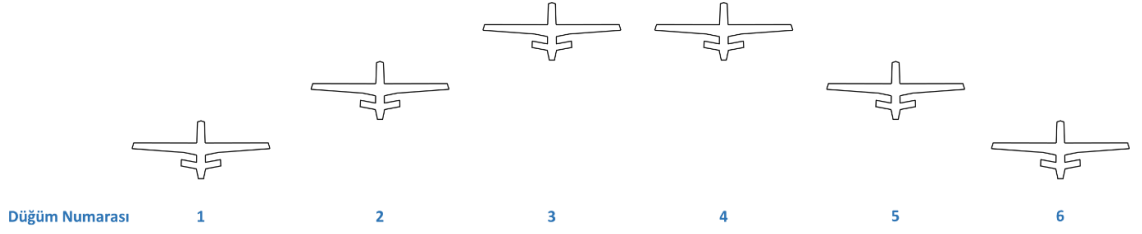
QGroundControl'ün yapamadığı sürü görev planı yükleme ve diğer gerekli ihtiyaçlar doğrultusunda uygun gereksinimler belirlenmiş ve Görev Planlama Yazılımı (GPY) tasarlanmıştır. Normal şartlarda YKİ'de bulunacak olan bu yazılım; hazırlanan simülasyon ortamında sanal makinede bulunmaktadır.

GPY çalıştırıldığında, o Ethernet ağında haberleşebildiği İHA dosyalarını listelemektedir. Ardından aşağıdaki sıralı adımlar gerçekleşir:

1. Sürüye katılacak bireyler seçilir. (Bu çalışmada bütün bireyler seçilmektedir.)
2. Kullanıcı, görev planının kaç farklı bacadan (güzergah parçasından) oluşacağını seçer.
3. Kullanıcı, her bacağa ayrı ayrı; X ve Y düzlemlerindeki güzergah noktası (waypoint) ve uçuş formasyon tipi için istenen girdileri yapar.
4. Görev planını yükler ve görev başlar.

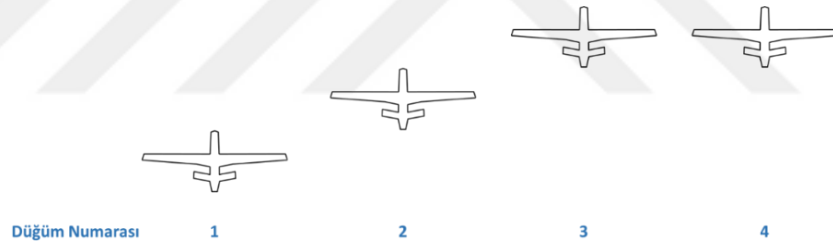
GPY için, “Formasyon Tipleri” başlığında bahsedilen çizgi, ok ve domino formasyon şablonları hazırlanmıştır. Kullanıcının seçtiği formasyon tipine göre ilgili şablondaki dağılım uygulanır. Bu dağılım için her formasyon tipi Python'da array'ler kullanılarak bir matris şeklinde temsil edilmiştir. Matrisin n. elemanı, sürünün n+1. düğümü için ilgili İHA'nın 3 boyutlu uzay düzleminde referans noktaya göre bulunması gereken uzaklıkları barındırır.

Formasyon tiplerinde düğüm numarası sıralaması kuş bakışı bakıldığında soldan sağa, küçükten büyüğe olacak şekildedir. **Şekil 3.6'**da nüfusu 6 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları verilmiştir.



Şekil 3.6 Nüfusu 6 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları

Sürü nüfusu her seferinde, maksimum sayı olan, 6 olmak zorunda değildir. Oluşturulan sürüde kullanıcının seçtiği formasyon; sürü nüfusu kaç olursa olsun, görsel olarak seçilen formasyonun adını tam olarak yansıtmaya bile gerçekleştirilir. Sürü nüfusunun sayısı herhangi bir bireyin alabileceği maksimum düğüm numarasına eşittir. **Şekil 3.7**'de nüfusu 4 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları verilmiştir. Yazılım bu yeteneğe sahip olsa da daha önce de bahsedildiği gibi bu çalışmada sürü her koşulda 6 bireyden oluşacaktır.



Şekil 3.7 Nüfusu 4 olan bir sürüde ok formasyonu için düğüm numaraları

3.4 Simülasyonda Haberleşme

Görev planlama yazılımı, İHA dosyaları, QGroundControl programı, PX4 ve ROS sanal makinede çalışmaktadır. Bu sanal makine, Ethernet haberleşme için fiziksel makinenin Ethernet kartını kullanmaktadır. Sanal makinede çalışan bütün ilgili programlar, dosyalar ve yazılımlar UDP protokolü ile haberleşmektedir.

Ortamın bulunduğu fiziksel makinenin işlemcisi üzerinde aynı anda birden fazla işlem yapmak için “Thread” yani “İş Parçası” yapısına ihtiyaç vardır. Thread, Python

dosyalarında yapılan her işlemin paralelde aynı anda yapılabilmesini sağlayan işlemcilerdir.

Bu çalışmada Thread yapısı mesaj alma ve/veya gönderme işlemlerinin aynı anda birçok hedef ve/veya kaynak ile yapılabilmesi için kullanılmıştır. Thread'lerin kullanılma nedeni, işlemci vasıtasıyla İHA dosyasındaki bir işlem yapılırken aynı anda diğer işlemlerin de yapılabilmesidir. Aksi durumda ancak o döngüde yapılan bir işlem bittikten sonra diğer yeni bir işlem başlayabilir ve bütün çalışma süresi (running time) boyunca döngü bu şekilde devam eder. Bu durum da gerçek zamanlı uçuşun yapılamamasına neden olur. Bu proje için hazırlanan ana yazılımdan, Thread oluşturma ve çalıştırma aşamalarına bir örnek aşağıda verilmiştir:

```
def start_threads(self):  
  
    process1 = threading.Thread(target=self.listen_swarm_info_uavn)  
  
    process1.start()
```

TCP'de, bilginin gönderici ve alıcı arasında kurulan bağlantı ile sağlıklı iletilip iletilmediği sorgulanır. UDP'de ise taraflar arasında bağlantının varlığı kontrol edilmeden haberleşme başlar. Kurulan haberleşme ortamında bilgi ve ortam bütünlüğü esas olmadığı ve gerçek zamanlı iletişim gerektiği için UDP tercih edilmiştir. İHA dosyalarından gelen mesajlar çözülürken (decode), oluşturulan UAVHeader ve UAVFooter alanlarının kontrolü ve önceden bilinen mesaj boyutları ile gelenlerin karşılaştırılmasıyla doğrulama yapılmaktadır.

6 bireye kadar büyüyen bir sürü, arka planda çalışması gereken 6 adet İHA dosyası anlamına gelmektedir. Bir bireyden gönderilen mesajın; bütün bireyler tarafından dinlenmesi, teslim alınması ve işlenmesi gerekmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için İHA dosyalarından gönderilen mesajlar Multicast olarak ayarlanmıştır. Gereksiz trafik olmaması için Broadcast tercih edilmemiştir. Bir bireyin sürüdaşlarından gelen mesajları dinlemesi için hazırlanan ve Multicast olan haberleşmenin, İHA dosyası içindeki örnek kısmı aşağıda gösterilmiştir:

```
def send_message(self):
```

```
    MCAST_GRP_uavn = '225.1.1.111'
```

```
    MCAST_PORT = 52001
```

```
    MULTICAST_TTL = 8
```

```
    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM, socket.IPPROTO_UDP)
```

```
    sock.setsockopt(socket.IPPROTO_IP, socket.IP_MULTICAST_TTL, MULTICAST_TTL)
```

Örneğin; nüfusu 6 olan bir sürüde, bireyden bireye haberleşme için bağlantı kurulacak birey başına t Mbps ihtiyaç olduğu varsayılın. Bir bireyin diğer 5 bireyle haberleşmesi gerektiğini göz önüne alırsak; Multicast kullanımı yerine Unicast tercih edilseydi birey başına t x 5 Mbps bant genişliği kullanım ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Birey sayısının artabileceği çalışmalarda bu değerler artabileceği için; Multicast seçilmesinin nedeni kısıtlı olan Ethernet kartı kabiliyetlerini maksimum verimde kullanmaktır.

3.5 Simülasyon ve Algoritma

Bu çalışma için hazırlanan yazılımlardaki varılmak istenen sonuç; sistemde bulunan hava araçlarından istenilenleri ile bir sürü oluşturmak ve ilgili görevi icra etmektir. Görevin ne olduğundan bağımsız işleyen mantık ve algoritmaların sıralaması en sade haliyle şu şekildedir:

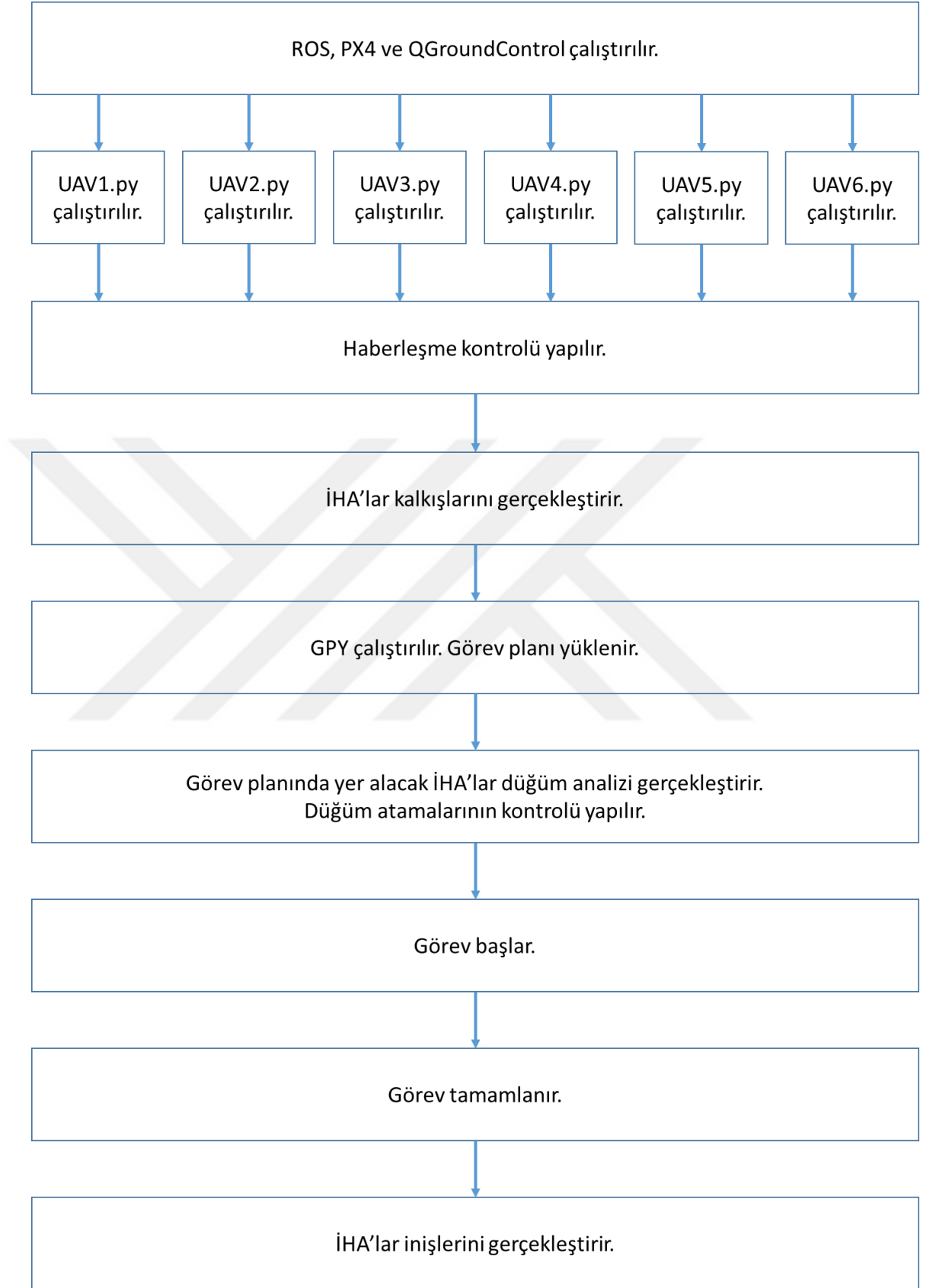
1. Sistemdeki hava araçları saptanır.
2. Sürü için istenilen bireyler kullanıcı tarafından seçilir.
3. Düğüm analizi gerçekleşir.
4. Görev planı yüklenir.
5. Görev planı icra edilir.

ROS, PX4, QGroundControl, İHA dosyaları ve GPY çalıştırılır. Çalışan İHA dosyaları sonrası hava araçları aynı pistten havalandığı için herhangi bir tehlikeli ortam oluşmaması

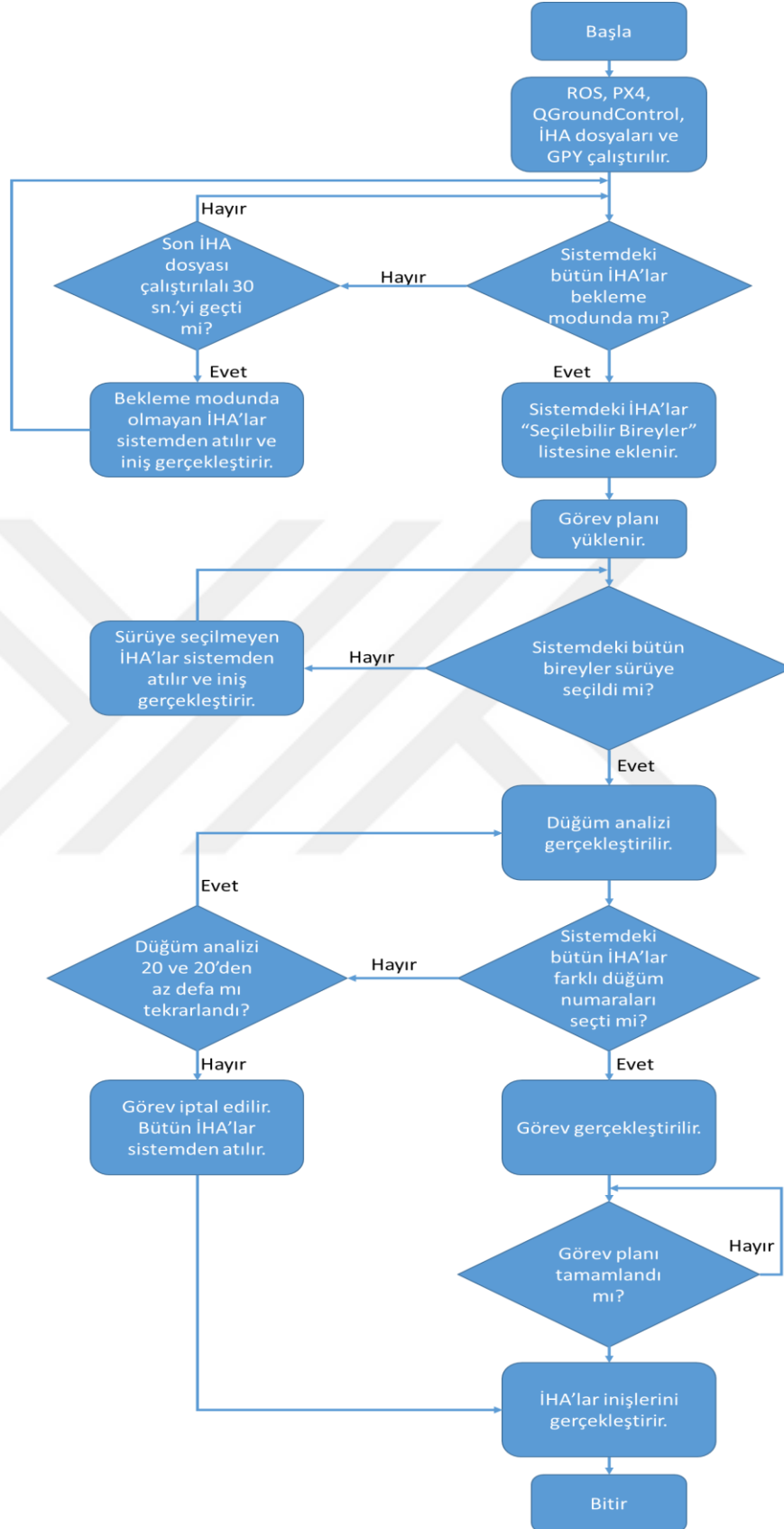
adına aralarında t sn. süre vardır, bir hava aracı kalkışa başladıktan t sn. sonra diğer hava aracı kalkışa başlar. Hava araçlarının kalkış sıraları İHA dosyalarının dosya adlarında bulunan numaraların küçükten büyüğe sıralamasına göredir. Kalkış tamamlandıktan sonra bekleme moduna geçen hava araçları seçilebilir bireyler listesine eklenir. Bu listeye eklenmeyenler ise sistemden atılır ve iniş gerçekleştirir.

Sürüye dahil edilecek bireyler seçilir ve görev planı yüklenir. Görev planını alan her hava aracının İHA dosyasında bulunan ve birbirlerinden farklı olan UAVID mesaj alanlarının karşılaştırılması ile düğüm analizi gerçekleştirilir. En küçük UAVID'e eşit hava aracına, düğüm numarası "1" olarak atanır. En büyük düğüm numarası sürü nüfusuna eşit değer alabilir. Bütün bireylere atama yapılana kadar UAVID'ler küçükten büyüğe karşılaştırılarak işlem tamamlanır.

Bütün alt elemanlarla birlikte bir sistem oluşturulduğunda ortaya çıkan simülasyon ortamı akış diyagramı **şekil 3.8**'de, detaylı sürü davranışı algoritması ise **şekil 3.9**'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Simülasyon ortamı akış diyagramı



Şekil 3.9 Sürü davranışı algoritması

Düğüm analizi gerçekleştikten sonra ilgili birey Rehber İHA ise görev planında belirtilen hızda, formasyon tipinde, görev irtifasında ve güzergah noktaları boyunca görevi gerçekleştirilir. İlgili birey Rehber İHA değilse, kaçınıcı düğüm numarasında olduğuna göre Rehber İHA'nın konumunu referans alarak formasyon şablonlarında tanımlanan, olması gerektiği konuma anlık karar vererek göreve devam eder. Pozisyon kararı Rehber İHA'nın konumuna göre anlık gerçekleştiği için ideal olmayan koşullarda bile algoritma güvenli bir şekilde çalışacaktır. Örneğin; Rehber İHA'nın rüzgar nedeniyle kayma yaşadığı durumlarda diğer bireyler algoritmayı aynı şekilde takip ederek yeni referans konuma göre, kendi olmaları gereken konuma karar verecektir.

3.6 Verilerin Toplanması

Gerçekleştirilen senaryoların sonuçlarının değerlendirilebilmesi için İHA'ların gerçek zamanlı telemetri verilerinin kaydedilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda İHA dosyasından gönderilen ve halihazırda Multicast olan mesajların dinlenip kaydedileceği yeni bir kod parçası hazırlanmıştır. Bu dinleme ve kayıt yazılımının da gerçek zamanlı çalışabilmesi için yeni bir Thread daha oluşturulmuştur. Çalıştırıldığı anda ilgili IP ve port aracılığıyla Multicast mesajları 50 milisaniyelik periyod ile dinlemeye başlayan bu kod, devamında oluşturduğu “.xls” uzantılı Excel dosyasına zaman damgası ile birlikte telemetri verilerinin bazılarını kaydetmeye başlamaktadır. Her bir senaryoda bütün İHA'ları kapsayan kayıt dosyasının boyutu yaklaşık 10 Megabayt'tır.

Dinleme ve kayıt yazılımının kodunun bir kısmı **EK 1**'de verilmiştir.

Dinleme ve kayıt yazılımı durdurulduğunda seçilen uzantıya **şekil 3.10**'da içeriği gösterildiği gibi, yine seçilen dosya ismiyle telemetri verileri kaydedilir. Kaydedilen veriler ve bu verilerin ne anlama geldikleri aşağıdaki şekildedir:

Time: İçinde bulunulan döngünün işletim sistemi üzerinden saat/dakika/saniye/salise şeklinde elde edilen zamanıdır.

Current_X & Current_Y & Current_Z: İHA'nın t anında; 3 boyutlu uzayda sırasıyla X, Y ve Z düzlemlerinde bulunduğu noktalarıdır.

Current_Vel_X & Current_Vel_Y & Current_Vel_Z: İHA'nın t anında; 3 boyutlu uzayda sırasıyla X, Y ve Z düzlemlerindeki hızlarıdır.

Current_Pitch & Current_Roll & Current_Yaw: İHA'nın t anında; sırasıyla yunuslama, yatış ve sapma açılarıdır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Time		Current_X		Current_Y		Current_Z		Current_Vel_X	Current_Vel_Y	Current_Vel_Z	Current_Pitch	Current_Roll	Current_Yaw						
2	16:30:06:338793		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
3	16:30:06:590468		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
4	16:30:06:843145		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
5	16:30:07:095505		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
6	16:30:07:348315		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
7	16:30:07:601166		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
8	16:30:07:853897		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
9	16:30:08:106518		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
10	16:30:08:359173		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
11	16:30:08:612111		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
12	16:30:08:863841		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
13	16:30:09:116624		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
14	16:30:09:368706		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
15	16:30:09:621374		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
16	16:30:09:873111		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
17	16:30:10:126966		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
18	16:30:10:379960		0.278		0.272		0.1075		0.188	0.286	0.552	0.24	0.22	0.173						
19	16:30:10:632969		0.952		0.93		0.1195		4.7879	0.525	0.52	0.17	0.26	0.168						

Şekil 3.10 Telemetri kayıt dosyasından örnek bir görüntü

3.7 Senaryolar

Denemeler boyunca hava araçlarının kalkış noktaları ve izledikleri rota her seferinde aynı olacaktır. Öncelikli olarak; sürünün yapacağı görev boyunca hız, irtifa, X ve Y ayrışma mesafeleri sabit tutularak belirlenen rotayı tamamlama ve formasyonları oluşturma süreleri ölçülecektir. Görevleri boyunca sürünün katettiği toplam mesafe, gaz açma ve gaz kısma tekrarları hesaplanacaktır. Bütün bu denemeler sonucunda 6 bireyden oluşan bir sürü için bahsi geçen görevin maksimum verimlilikteki profili ortaya çıkacaktır.

Simülasyon ortamı için otopilotun kabul ettiği hız aralığı [10-20] m/s’dir. Formasyonlar arası geçişi daha rahat gözlemlemek ve arkada kalan İHA’ların tam hız ile (20 m/s) diğerlerine yetişebileceği aynı zamanda da yavaşlama için pay bulunması adına 13 m/s sabit hız ve 200 m sabit irtifa ile **çizelge 3.1**’de verilen formasyon kombinasyonları ile senaryolar gerçekleştirilecektir.

Vadiye giriş ve vadiden çıkış bölgeleri olan A ve C bölgelerinde aynı formasyon, kısıtlayıcı unsur olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 Senaryolara göre bölgelerde takip edilecek formasyon tipleri

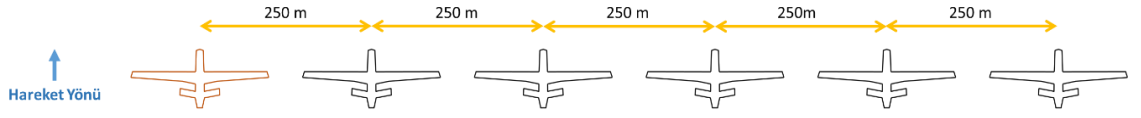
Senaryo No.	A Bölgesi	B Bölgesi	C Bölgesi
1	Çizgi	Ok	Çizgi
2	Çizgi	Domino	Çizgi
3	Ok	Çizgi	Ok
4	Ok	Domino	Ok
5	Domino	Çizgi	Domino
6	Domino	Ok	Domino

Oluşturulacak formasyon tiplerinde X ve Y eksenlerindeki bireyler arası ayrışma mesafesi formasyon tipleri için farklılık göstermekte, aynı formasyon için ise hep sabit olarak tutulmaktadır. Bu mesafeler **çizelge 3.2**’de verilmiştir.

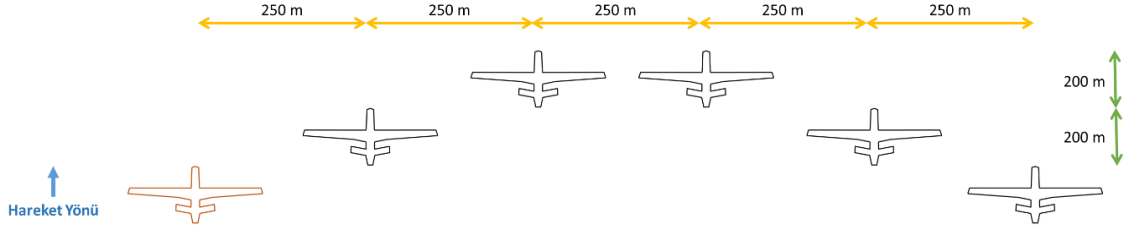
Çizelge 3.2 Formasyon tiplerine göre X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi

Formasyon Adı	X Eksen Ayrışma Mesafesi (m)	Y Eksen Ayrışma Mesafesi (m)
Çizgi	0	250
Ok	200	250
Domino	100	500

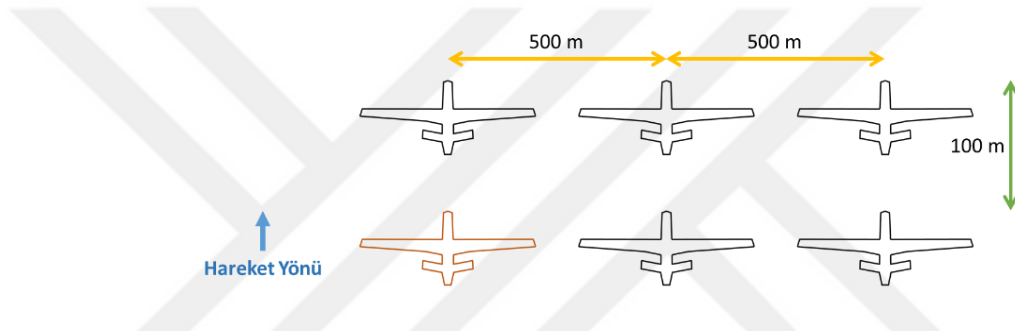
Formasyon tiplerine göre X ve Y eksenlerindeki ayrışma mesafesi (**Çizelge 3.2**), formasyonlar için verilen her iki değerde de birbirine en yakın iki düğüm arasındaki mesafeyi temsil eder. Örneğin; düğüm 1 ile düğüm 3 arasındaki X ayrışma mesafesi, düğüm 3 ile düğüm 4 arasındakine eşittir. Çizgi, ok ve domino formasyonları için ayrışma gösterimleri sırasıyla **şekil 3.12**, **şekil 3.13** ve **şekil 3.14**’te verilmiştir. Bu gösterimlerde yeşil çizgiler X eksen, sarı çizgiler ise Y eksen ayrışma mesafelerini göstermektedir.



Şekil 3.12 Çizgi formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayırışma mesafesi gösterimi



Şekil 3.13 Ok formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayırışma mesafesi gösterimi



Şekil 3.14 Domino formasyonu için X ve Y eksenlerindeki ayırışma mesafesi gösterimi

Seçilen alanda hareketi gerçekleştirmek için görev planlama kısmında 4 bacak seçimi yapılmalıdır. Şekil 3.11’deki vadi geçişini tamamlamak için bacaklar boyunca geçilmesi gereken güzergah noktaları çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Görev planı bacaklarına göre girilmesi gereken güzergah noktaları

Bacak No.	X Eksen	Y Eksen
1	1250	1250
2	3800	2200
3	16500	6700
4	19050	7650

Simülasyon ortamında oluşturulan formasyonların görünümü çizgi, ok ve domino için sırasıyla şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.15 Simülasyonda çizgi, ok ve domino formasyon görünümü

Bireylerin kaynak kodlarında kalkıştan sonra beklemeye geçecekleri irtifalar tanımlıdır. Bu irtifalar (metre cinsinden) birey 1’den birey 6’ya kadar sırasıyla 192, 195, 198, 202, 205 ve 208 m’dir. Formasyonlar arası geçişlerde ise yeni formasyonu X ekseninde oluşturana kadar görev irtifası olan 200 m’den kalkış irtifalarına ayrışır. X ekseninde istenen formasyon oluştuğunda irtifalar tekrar 200 m’e eşitlenir.

Senaryolar için gerçekleştirilen görev planlarından toplanan telemetri verileri ile MATLAB’da çizdirilen uçuş profilleri ve QGroundControl arayüzünde harita üzerindeki güzergah ve formasyon oluşumları her senaryo için ayrı ayrı aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

Telemetri verilerinden oluşturulan “.xls” dosyaları “.csv” (comma separated values, virgülle ayrılmış değerler) formatına çevrilmiştir. CSV’nin 1, 2 ve 3. sütunu ilgili İHA için sırasıyla uzaydaki X, Y ve Z konumunu göstermektedir. Uçuş profillerini çizdirmek için kullanılan MATLAB kodunun tamamı **EK 2**’de verilmiştir. (“EK 2 Uçuş Profillerini Çizdiren MATLAB Kodu” Senaryo-1 için verilmiştir. Her çizdirim sonrası kodda kullanılan ve masaüstü uzantısında bulunan .csv dosyaları ile başlık düzenlenmektedir.)

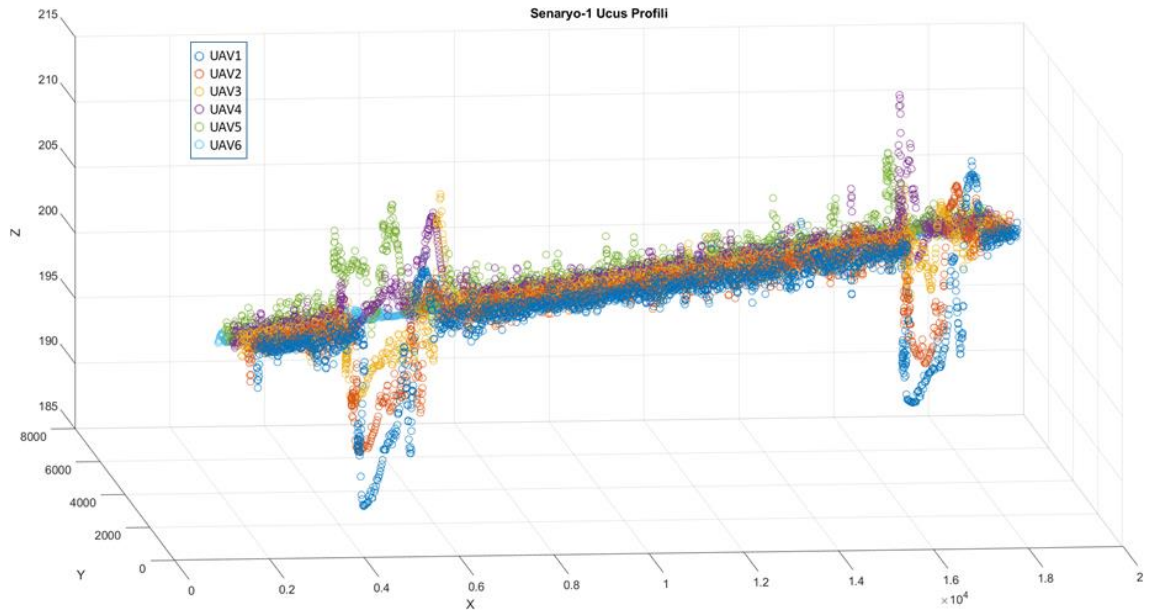
Uçuş profillerinde 2 ayrışma gözlemlenmektedir. İlki; A bölgesinden B bölgesine geçişi, ikincisi ise B bölgesinden C bölgesine geçişteki formasyon değişimlerini ve bu formasyon geçişleri yaşanırkenki irtifa ayrışmasını göstermektedir.

3.7.1 Senaryo-1

Şekil 3.16’de, QGroundControl programında, Senaryo-1’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.17’de ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB’da çizdirilen Senaryo-1 uçuş profili verilmiştir.



Şekil 3.16 Senaryo-1’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



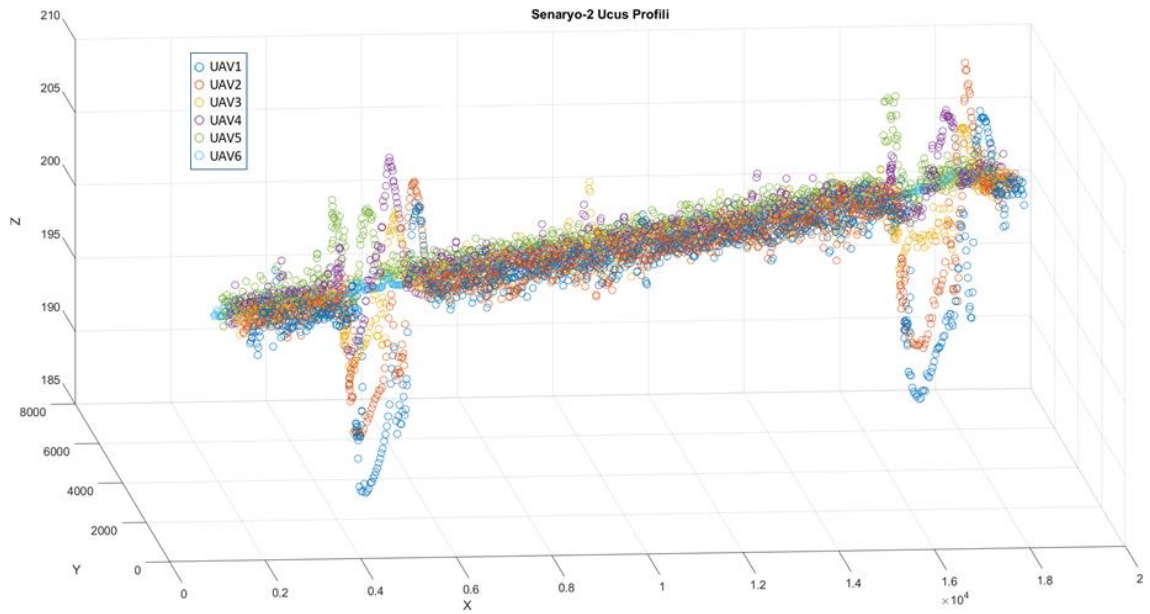
Şekil 3.17 Senaryo-1 uçuş profili

3.7.2 Senaryo-2

Şekil 3.18’de, QGroundControl programında, Senaryo-2’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.19’da ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB’da çizdirilen Senaryo-2 uçuş profili verilmiştir.



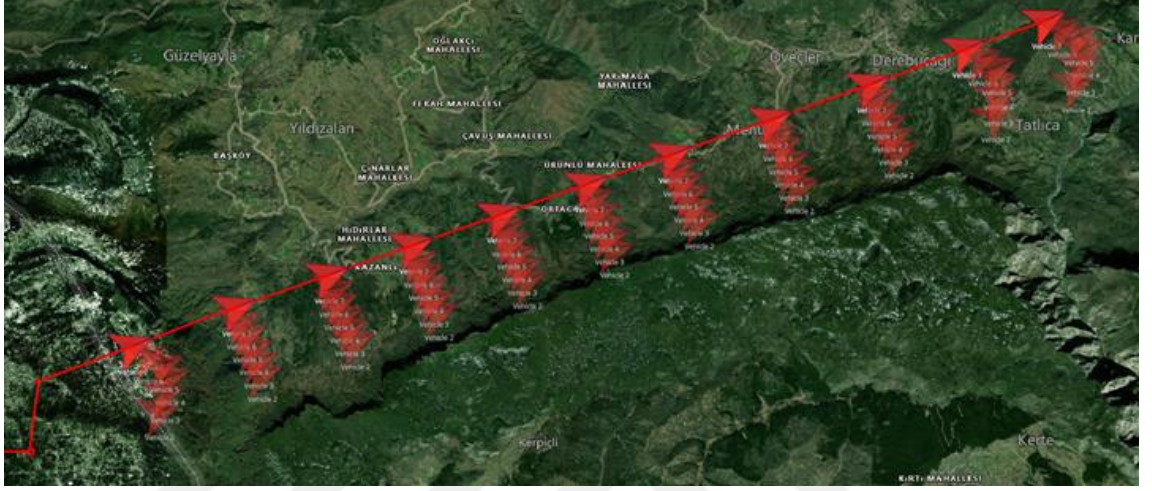
Şekil 3.18 Senaryo-2’de arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



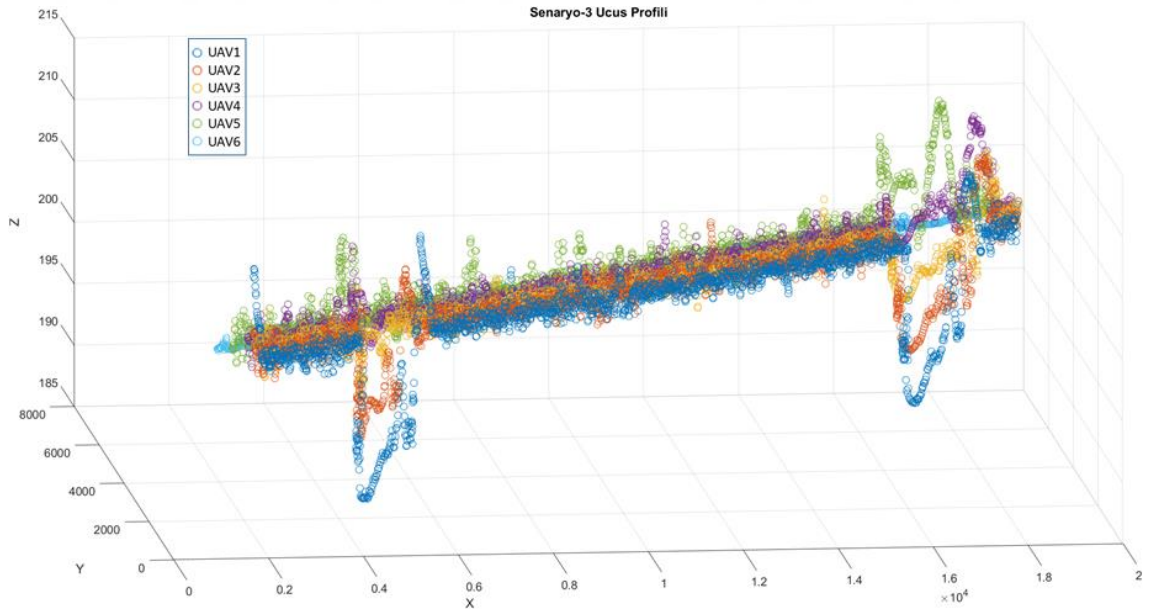
Şekil 3.19 Senaryo-2 uçuş profili

3.7.3 Senaryo-3

Şekil 3.20’de, QGroundControl programında, Senaryo-3’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.21’de ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB’da çizdirilen Senaryo-3 uçuş profili verilmiştir.



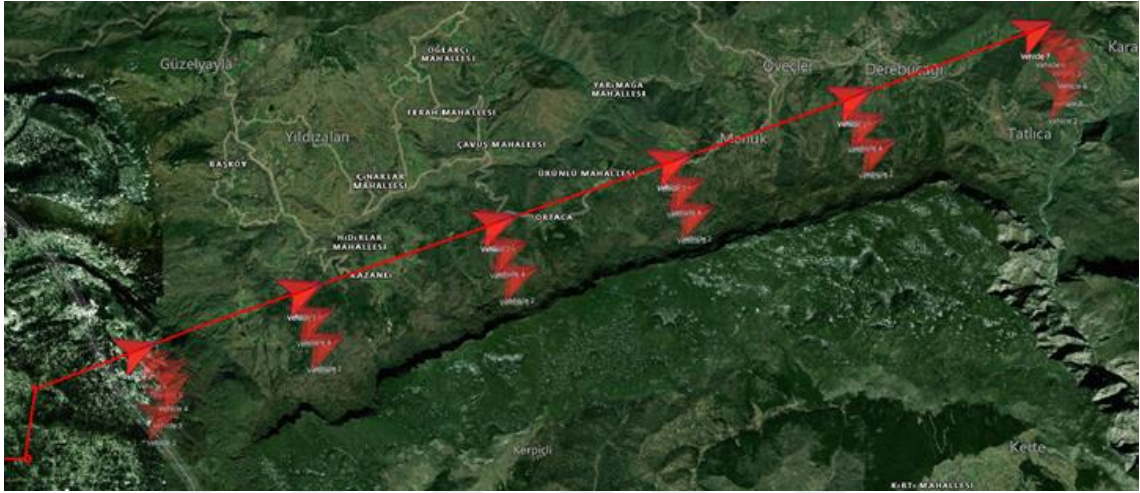
Şekil 3.20 Senaryo-3’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



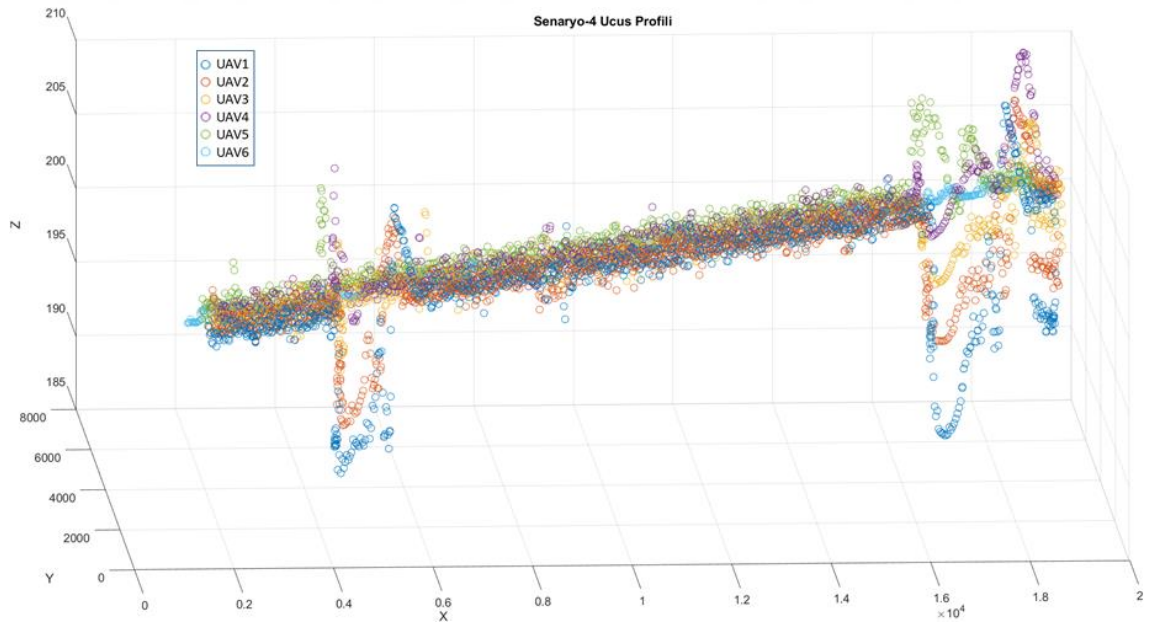
Şekil 3.21 Senaryo-3 uçuş profili

3.7.4 Senaryo-4

Şekil 3.22’de, QGroundControl programında, Senaryo-4’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.23’te ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB’da çizdirilen Senaryo-4 uçuş profili verilmiştir.



Şekil 3.22 Senaryo-4’te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



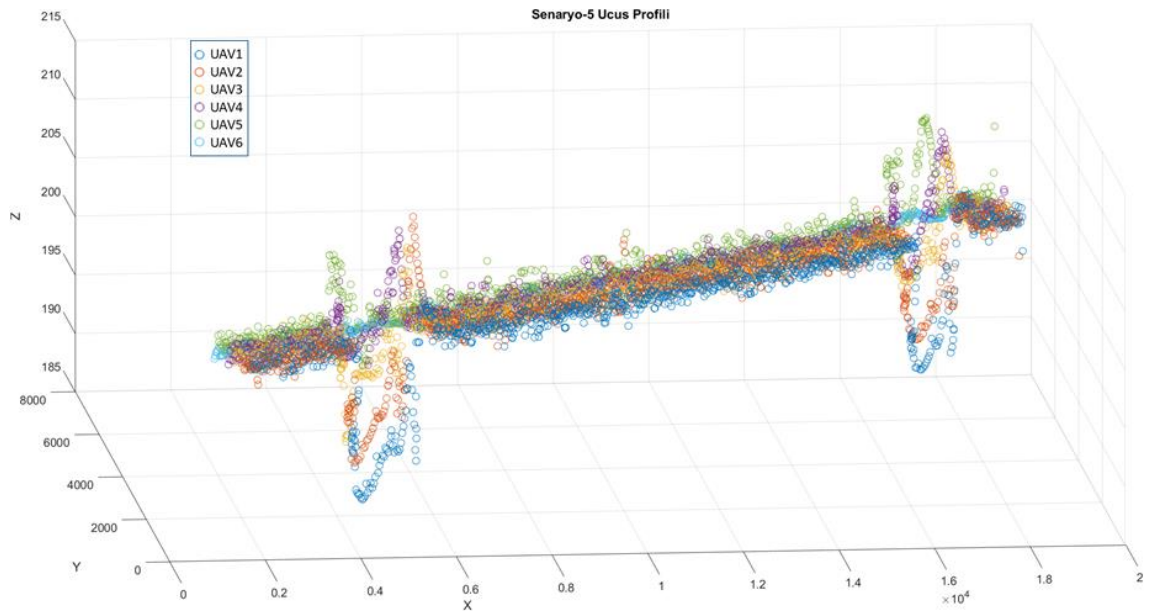
Şekil 3.23 Senaryo-4 uçuş profili

3.7.5 Senaryo-5

Şekil 3.24'te, QGroundControl programında, Senaryo-5'te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.25'te ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB'da çizdirilen Senaryo-5 uçuş profili verilmiştir.



Şekil 3.24 Senaryo-5'te arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



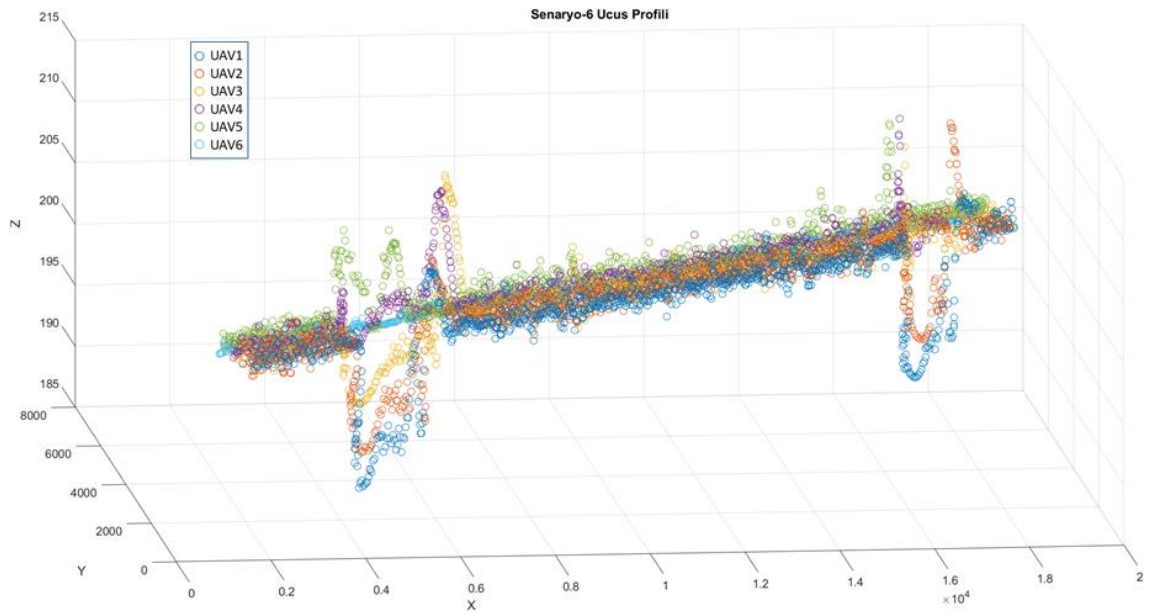
Şekil 3.25 Senaryo-5 uçuş profili

3.7.6 Senaryo-6

Şekil 3.26'da, QGroundControl programında, Senaryo-6'da arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü; Şekil 3.27'de ise elde edilen veriler yardımıyla MATLAB'da çizdirilen Senaryo-6 uçuş profili verilmiştir.



Şekil 3.26 Senaryo-6'da arayüzdeki görüntülerin birleştirilmiş görünümü



Şekil 3.27 Senaryo-6 uçuş profili

3.8 Ölçümler ve Yorumlamalar

Yapılan literatür araştırması ışığında, hazırlanan simülasyon ortamında belli akışlarda ve sınırlarda denemelerle birlikte gözlemler yapılmıştır. A, B ve C bölgelerinde görev planı boyunca belirlenen formasyonların gerçekleştirilmesi sonrasında, 6 senaryodan toplanan veriler doğrultusunda; bölgelerde geçirilen süre, toplam süre, hem bölgeler için ayrı ayrı hem de bütün görev planı için toplam kaç kere gaz açma komutu ve kaç kere gaz kısma komutu verildiğiyle birlikte, pozitifler ve negatifler özelinde toplam kaç birim (m/s) gaz komutu değişimi olduğu yani iki döngü arasındaki ortalama ivmelerin toplamı hesaplanmıştır.

Toplanan verilerin yorumlanmasıyla ortaya çıkan tablolardan ortaya çıkarılan grafiklerin tamamı Senaryo-1'den Senaryo-6'ya kadar sırasıyla **EK 3**'ten **EK 8**'e kadar EKLER bölümünde verilmiştir. Verilen bu grafikler senaryolar özelinde sırasıyla: A Bölgesi İçin Katedilen Mesafe (m), B Bölgesi İçin Katedilen Mesafe (m), C Bölgesi İçin Katedilen Mesafe (m), Toplam Katedilen Mesafe (m), Bölgelerde Geçirilen Süre (SS:dd:ss), Current_Vel İçin Gaz Açma ve Gaz Kısma (Kaç Defa) ve Current_Vel İçin Gaz Açma ve Gaz Kısma (Hız Komutu Deltaları) şeklindedir.

3.8.1 Geçen süre

6 senaryo için A, B ve C bölgelerinde ayrı ayrı geçirilen süreler ile görev planı boyunca, yani A-B-C bölgesinin tamamında, geçirilen süre toplanan verilerden konumlar vasıtasıyla elde edilmiştir. Örneğin; Senaryo-1 için A bölgesinde geçirilen süre “Senaryo-1-A”, Senaryo-5'in tamamı için geçirilen süre ise “Senaryo-5” şeklinde “Saat:Dakika:Saniye” biçiminde **çizelge 3.4**'te verilmiştir.

Aynı bölgelerde aynı formasyonu gerçekleştiren senaryolarda o bölgede geçirilen sürenin farklılaşmasının sebebi; bütün sürünün o formasyonu tutturmak için yaptığı manevralardır. Örneğin; Senaryo-1-A'da ve Senaryo-2-A'da çizgi formasyonu yapmasına rağmen, bölgelerde geçirilen süreler arasında 5 saniyelik bir fark mevcuttur.

Simülasyonda aynı bölgede, aynı formasyonda ve sürü hızı sabit olmasına rağmen bu farklılaşma; tezin çalışma alanı dışında olan otopilot manevralarından kaynaklanmaktadır, yorumlamalar sırasında bu durum göz ardı edilmiştir.

Çizelge 3.4 Senaryolara göre bölgelerde geçirilen süreler

Senaryo-Bölge	Geçirilen Süre (SS:dd:ss)
Senaryo-1-A	0:04:22
Senaryo-1-B	0:21:39
Senaryo-1-C	0:04:11
Senaryo-1	0:30:12
Senaryo-2-A	0:04:27
Senaryo-2-B	0:22:03
Senaryo-2-C	0:04:22
Senaryo-2	0:30:52
Senaryo-3-A	0:04:33
Senaryo-3-B	0:22:12
Senaryo-3-C	0:04:18
Senaryo-3	0:31:03
Senaryo-4-A	0:04:25
Senaryo-4-B	0:21:30
Senaryo-4-C	0:04:15
Senaryo-4	0:30:10
Senaryo-5-A	0:04:32
Senaryo-5-B	0:22:24
Senaryo-5-C	0:04:26
Senaryo-5	0:31:22
Senaryo-6-A	0:04:22
Senaryo-6-B	0:22:09
Senaryo-6-C	0:04:00
Senaryo-6	0:30:31

Senaryolara göre bölgelerde geçirilen süreler (**Çizelge 3.4**) kullanılarak çizdirilen “Senaryolar İçin Bölgelerde Geçirilen Süreler ve Toplam Süre Grafiği” **şekil 3.28**’de verilmiştir. Bu grafik senaryoların ve bölgelerin yorumlanması konusunda yardımcı olacaktır.

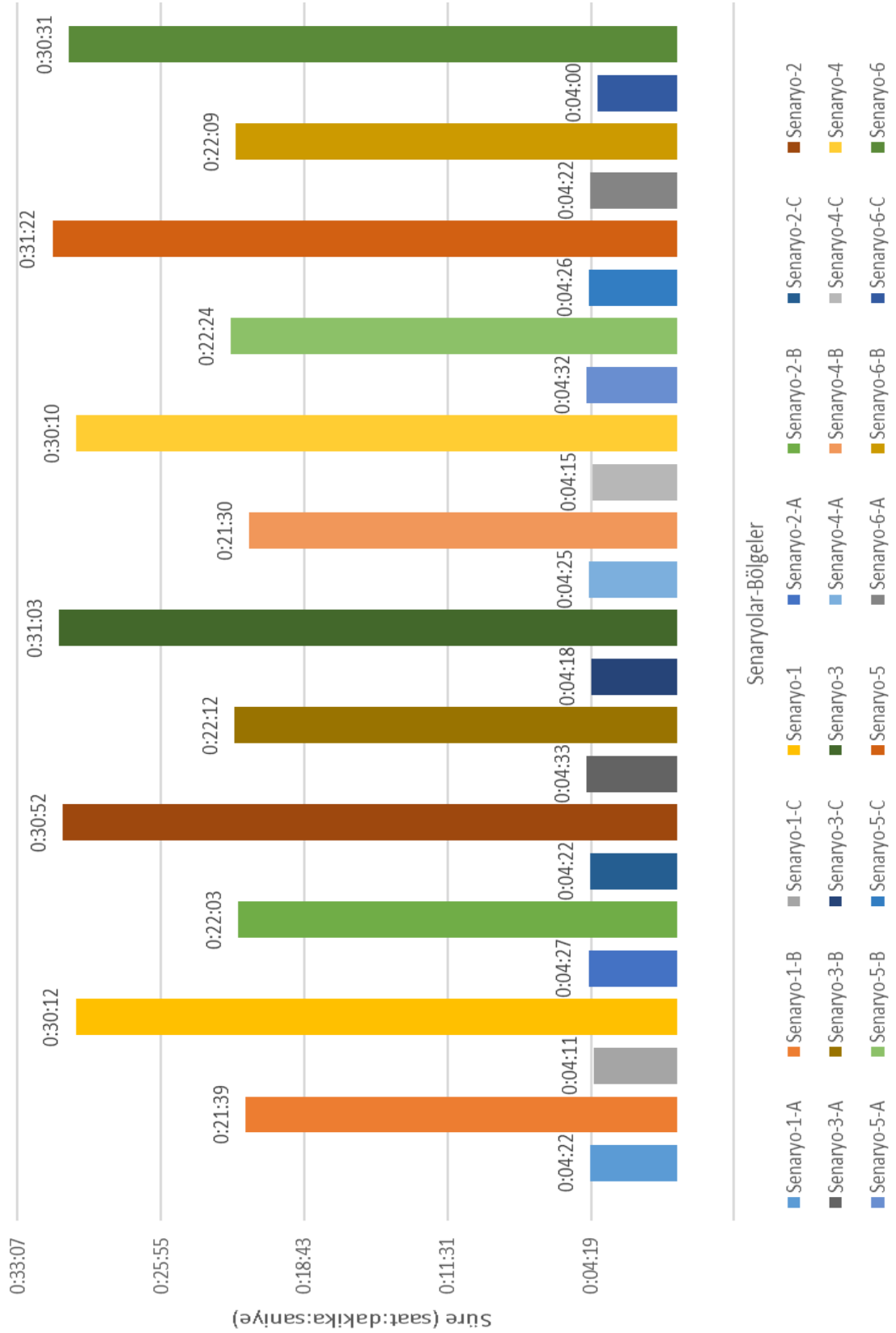
A bölgesi için: Senaryo-1-A (çizgi formasyonu) ve Senaryo-6-A (domino formasyonu) için 00:04:22’lik bir sürede bölgeden geçiş tamamlanmıştır. 6 senaryo içinde en hızlı

gerçekleşen bu iki durumdur. Senaryo-3-A (ok formasyonu) ise 00:04:33 ile en yavaş gerçekleşen senaryodur.

B bölgesi için: Senaryo-4-B (domino formasyonu) 00:21:30 ile B bölgesinden en hızlı geçişi gerçekleştirmiştir. B bölgesini yorumlarken A bölgesinden hangi formasyon ile geçtiğini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Senaryo-4-A'da ok formasyonu ile A bölgesinden geçişi sonrası, daha az zaman kaybederek B bölgesindeki domino formasyonu ile geçişini tamamlamıştır şeklinde yorumlanabilir.

C bölgesi için: Senaryo-6-C'de (domino formasyonu) C bölgesinde diğer senaryolardan en yakın sürede gerçekleşen senaryoya göre 00:00:11 fark ile görev planını tamamlamıştır. Yine B bölgesinde olduğu gibi C bölgesi için de hangi formasyondan geçiş yapıldığı önemli bir noktadır. En hızlı gerçekleşen Senaryo-6-C için B bölgesinden ok formasyonu ile çıkmıştır.

A-B-C bölgeleri için: 6 senaryoda denenilen farklı formasyonlar ve geçişler ile Senaryo-4 (ok-domino-ok formasyonları) 00:30:10 ile görev planını en hızlı şekilde tamamlayan formasyon grubu olmuştur. Senaryo-4 için mesafe olarak en uzun bölge olan B bölgesini, en hızlı şekilde tamamlamış olması görev planının hepsini en hızlı şekilde tamamlaması açısından etkili olmuştur. Sürü A-B-C bölgelerini Senaryo-5 (domino-çizgi-domino) formasyon uçuşu ile 00:31:22 ile geçişi en yavaş şekilde tamamlamıştır. Bunun nedeni; dominodan çizgiye, çizgiden dominoya geçişlerin, bireyler için en uzun süren değişiklikler olduğu şeklinde açıklanabilir. Vadi geçişinin hızlı tamamlanması hem yakıt kullanımı açısından faydalı olabilecektir hem de sürünün vadi içerisinde daha az süre kalıp, çarpışma gibi risklerin oluşma olasılığını azaltacaktır.



Şekil 3.28 Senaryolar için bölgelerde geçirilen süreler ve toplam süre grafiği

3.8.2 Katedilen mesafe

Senaryolar gerçekleştiği sırada her bir İHA için dinleme ve kayıt yazılımı ile her dngde telemetri verileri toplanır. İHA'ların X, Y ve Z eksenlerinde koordinat düzlemindeki yani uzaydaki konumları da kaydedilir. Simülasyondaki koordinat düzleminde, her 3 eksen için de konum için 1 birim 1 metreye eşittir, yani (20, 30, 55) noktalarında bulunan bir İHA orijine göre X ekseninde 20 m., Y ekseninde 30 m. ve Z ekseninde 55 m. uzaklıktadır.

Toplanan kayıtlarda herhangi bir İHA için n. dngdeki konumu (X_n, Y_n, Z_n) , n+1. dngdeki konumu $(X_{n+1}, Y_{n+1}, Z_{n+1})$ olsun. İki dng arasında katedilen mesafe (d) aşağıdaki formül ile bulunur:

$$d = \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2 + (Z_{n+1} - Z_n)^2} \quad (3.1)$$

İHA'lar görev planındaki formasyonu oluştururken, 13 m/s'lik sürü hızını tutmaya çalışırken ve formasyon geçişlerinde irtifa değiştirirken her 3 eksende de yol kateder. İstenilen bir aralık için $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ değerleri toplanırsa o İHA'nın belirlenen aralıkta katettiği toplam mesafe metre cinsinden bulunur. Bu alışmada İHA'ların A, B ve C blgerine giriş ve çıkış anları bilindiği için bu değerler sınır kabul edilerek toplam mesafeler bulunmuştur.

3.8.2.1 Katedilen ortalama mesafe (m)

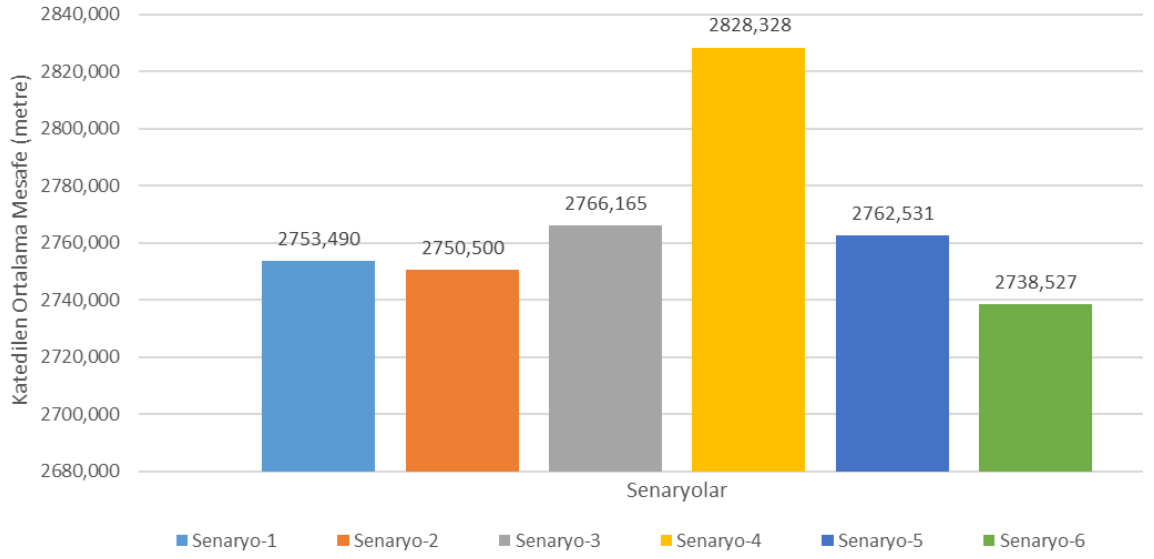
Bütün senaryolar, bireyler ve bölgeler için katedilen mesafelerin ortalamaları alınmış (bir senaryo için bir bölgede bütün İHA'ların katettikleri mesafeler toplanmış ve İHA sayısı olan 6'ya bölünmüştür) ve **çizelge 3.5** oluşturulmuştur. **Çizelge 3.5** doğrultusunda, örneğin; Senaryo-4 için B bölgesinde bütün bireylerin katettiği mesafelerin ortalaması 13707.194 m.'dir şeklinde yorum yapılabilir.

Çizelge 3.5 Bütün senaryolar için bölgelerde katedilen ortalama mesafeler

		Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5	Senaryo-6
Bölge	İHA	Katedilen Ortalama Mesafe (m.)					
A	1	2753.490	2750.500	2766.165	2828.328	2762.531	2738.527
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
B	1	14099.456	13879.640	13786.965	13707.194	13943.210	14046.912
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
C	1	2840.874	3048.231	3184.028	3181.456	3045.601	2871.465
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

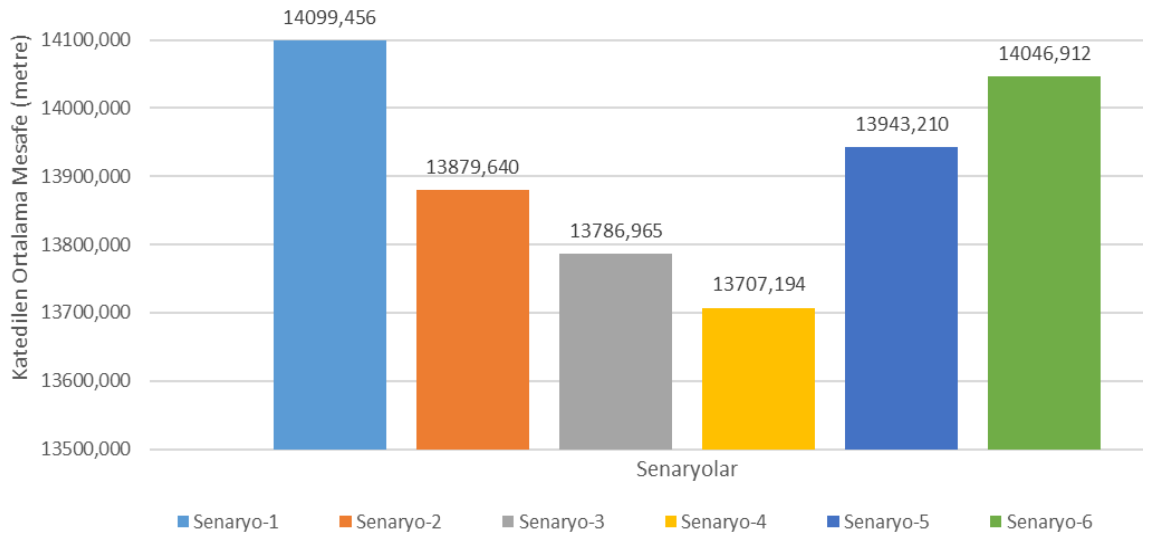
Bütün senaryolar için bölgelerde katedilen ortalama mesafeler (**Çizelge 3.5**) doğrultusunda A, B ve C bölgeleri için çizdirilen grafikler sırasıyla **şekil 3.29**, **şekil 3.30** ve **şekil 3.31**'de verilmiştir.

A bölgesi için: Senaryo-6'da (domino formasyonu) 2738.527 m. ile en az, Senaryo-4'te (ok formasyonu) ise 2828.328 m. ile en çok yol katettiği bölge geçişini yapmıştır. Diğer senaryolarda ise birbirlerine yakın değerler mevcuttur.



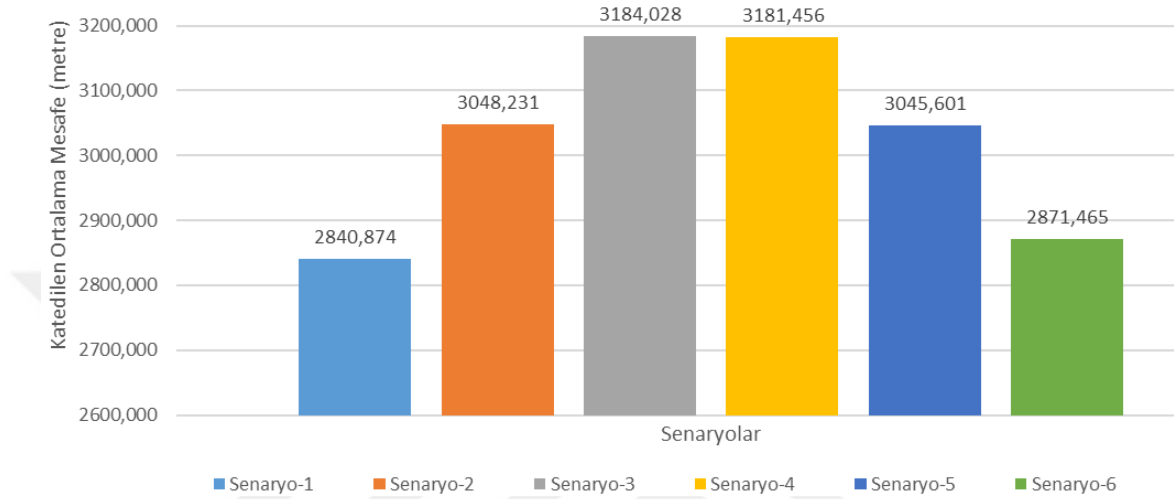
Şekil 3.29 A bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler

B bölgesi için: Senaryo-4'te A bölgesinde ok formasyonu için en fazla yol katedilmesine rağmen B bölgesine girişten itibaren ok-domino formasyon değişiminin ve B bölgesinin tamamlanması sürecinde en az yer değişiminin yapıldığı görülmektedir. En fazla mesafe ise 14099.456 m. ile Senaryo-1'dir.



Şekil 3.30 B bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler

C bölgesi için: ok formasyonu icra edilen Senaryo-3 ve Senaryo-4'te, B bölgesindeki formasyon (yani bir önceki formasyon) farketmeksizin diğer senaryolara göre oldukça fazla yer değişimi olduğu görülmektedir. En az değişim ise 2840.874 m. ile Senaryo-1'de (çizgi formasyonu) gerçekleşmiştir.



Şekil 3.31 C bölgesi için bütün senaryolarda katedilen ortalama mesafeler

A ve C bölgeleri, kenar uzunlukları ve alan olarak birbirlerinin aynısı olan simetrik bölgelerdir. Bir İHA'nın A bölgesi ile C bölgesinde katettiği toplam mesafenin normal şartlar altında aynı olması beklenir.

İkili gruplar halinde Senaryo-1 ve Senaryo-2'nin, Senaryo-3 ve Senaryo-4'ün, Senaryo-5 ve Senaryo-6'nın A ve C bölgelerinde kendi içlerinde aynı formasyonu icra ettikleri bilinmektedir. Bu bölgelerde ilgili senaryolarda katedilen mesafelerin kendi içlerinde ortalamaları alınarak **çizelge 3.6** oluşturulmuştur.

A bölgesinde ortalamalar neredeyse aynı olmasına rağmen C bölgesi için farklılıklar mevcuttur. Senaryo farketmeksizin; C bölgesinde ve yukarıdaki sonuçla aynı doğrultuda, ok formayonuna geçişlerde her zaman fazla mesafe katedilmiştir.

Çizelge 3.6 Aynı formasyonun yapıldığı bölgelerde katedilen ortalama mesafeler

		Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5	Senaryo-6
Bölge	İHA	Katedilen Ortalama Mesafe (m.)					
A	1	2751.99	2797.25	2750.53			
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
C	1	2944.55	3182.74	2958.53			
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

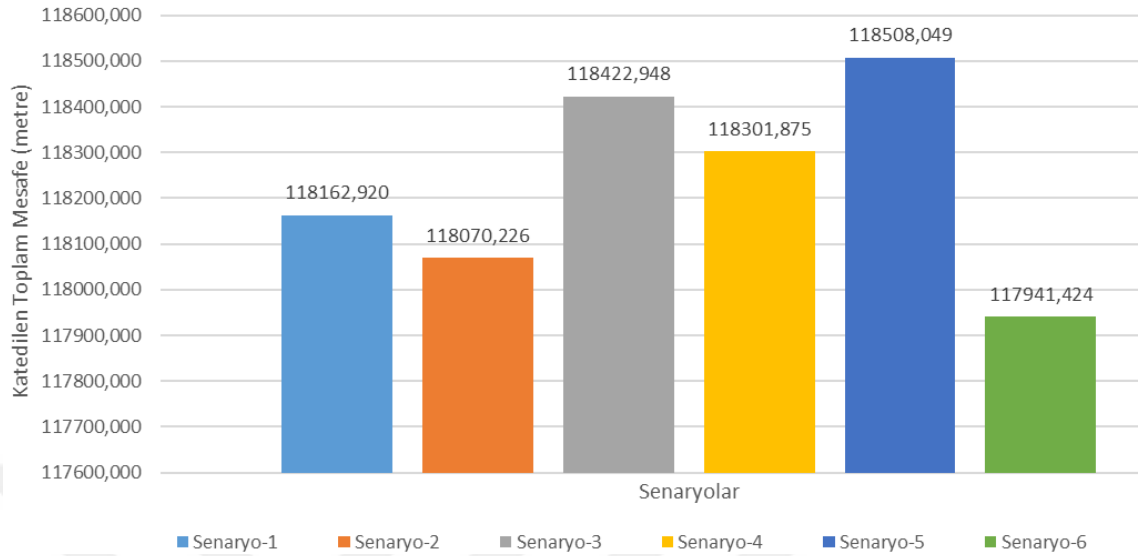
3.8.2.2 Katedilen toplam mesafe (m.)

Bütün senaryolar, bireyler ve bölgeler için katedilen mesafelerin toplamaları alınmış ve **çizelge 3.7** oluşturulmuştur. **Çizelge 3.7**'nin yorumlanması, örneğin; Senaryo-1 için görev boyunca, yani A-B-C bölgelerinde bütün bireylerin katettiği mesafenin toplamı 118162.92 m. şeklindedir.

Çizelge 3.7 Bütün senaryolar için bütün bölgelerdeki katedilen toplam mesafeler

		Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5	Senaryo-6
Bölge	İHA	Katedilen Toplam Mesafe (m.)					
A+B+C	1	118162.920	118070.226	118422.948	118301.875	118508.049	117941.424
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

Çizelge 3.7'ye göre A, B ve C bölgeleri için çizdirilen grafik **şekil 3.32**'de verilmiştir.



Şekil 3.32 Bütün bölgeler için bütün senaryolarda katedilen toplam mesafeler

Senaryo-5 (domino-çizgi-domino formasyonları) 118508.049 m. ile en çok mesafe katedilen; Senaryo-6 (domino-ok-domino formasyonları) ise 117941.424 m. ile en az mesafe katedilen görev planıdır.

3.8.2.3 Gaz açma ve gaz kısma

Görev planı boyunca hem bireysel hem de sürü olarak hareketleri gerçekleştirebilmek, formasyonu takip etmek, irtifayı ayarlamak ve en önemlisi sürü hızını tutmak için ihtiyaç duyulması halinde gaz açma ve gaz kısma komutları uygulanır.

Gerçek ortamda gerek yakıt tüketimi gerekse motor vb. parçaların ömrünü uzatabilmek adına bu hareketin sürekli yapılması istenmez. Gaz komutu ne kadar az değişirse, yani İHA'lar rölanti (idle) şekilde ne kadar çok yol katederse o uçuştan alınan verim yükselmiş olur denilebilir.

Toplanan kayıtlarda İHA'ların 3 boyutlu uzayda sırasıyla X, Y ve Z düzlemlerindeki anlık hızları sırasıyla $Current_Vel_X$, $Current_Vel_Y$ ve $Current_Vel_Z$ alanlarına kaydedilmektedir.

Bir İHA için $Current_Vel_X$ 'i CV_x , $Current_Vel_Y$ 'yi CV_y ve $Current_Vel_Z$ 'yi CV_z olarak belirtirsek; herhangi bir t anında uzaydaki hızı (CV) aşağıdaki formülle bulunur:

$$CV = \sqrt{(CV_x)^2 + (CV_y)^2 + (CV_z)^2} \quad (3.2)$$

Herhangi bir İHA için n. döngüdeki hızı (CV_n), n+1. döngüdeki hızı (CV_{n+1}) olsun. İki döngü arasındaki hız değişimi ise (ΔCV) aşağıdaki formül ile bulunur:

$$\Delta CV = CV_{n+1} - CV_n \quad (3.3)$$

Hareketli bir aracın istenen zaman aralığı başına düşen hızı ortalama ivmedir ve aşağıdaki formül ile bulunur:

$$a = \frac{\text{Hızdaki değişim}}{\text{Zamandaki değişim}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te verilen ivme formülünün, iki döngü arasındaki değişime eşit hali bu çalışmada denklem 3.3 şeklinde kullanılmıştır. Denklem 3.3, sıralı iki döngü arasındaki ortalama ivmeyi vermektedir.

ΔCV 'nin pozitif olması İHA'nın o döngüde gaz açtığı; negatif olması ise gaz kısıtıldığı anlamına gelmektedir. ΔCV 'nin 0'a eşit olduğu durumlarda İHA rölantide hareketine devam etmiştir. Pozitif ve negatif ΔCV 'lerin sayısı ne kadar azsa o kadar verimli olduğu şeklinde yorum yapılabilir.

Pozitif ΔCV 'lerin toplamı, toplam gaz komutu artım değerini (ΣCV_+); negatif ΔCV 'lerin toplamı ise toplam gaz komutu azaltım değerini (ΣCV_-) vermektedir. Senaryolar boyunca

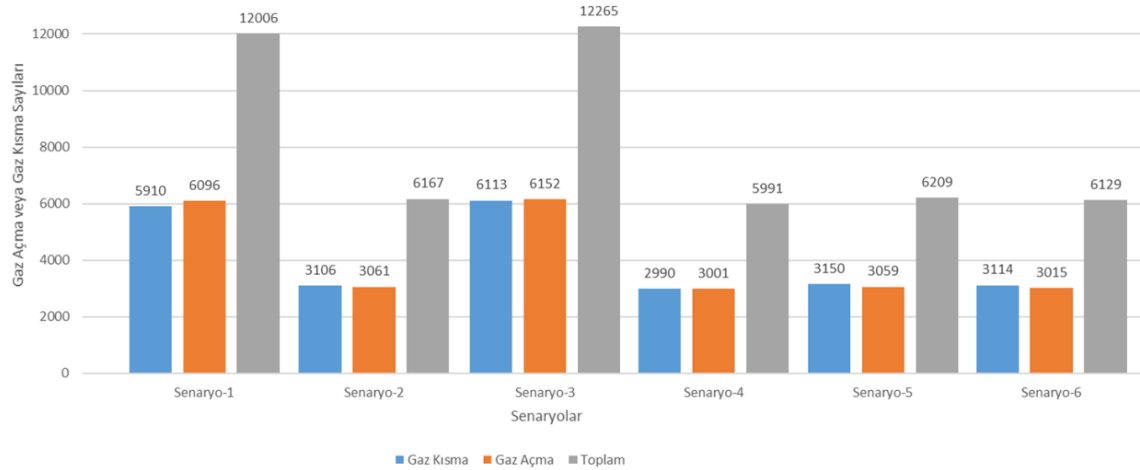
her bir bireyden toplanan verilerden; CV, ΔCV , (ΣCV_+) ve (ΣCV_-) değerleri hesaplanmıştır.

Yorumlamak adına her senaryo için A, B ve C bölgelerindeki toplam değerler ile kaç defa gaz açıldığı ve kaç defa gaz kısıldığına dair **çizelge 3.8** hazırlanmıştır.

Çizelge 3.8 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma sayıları

	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5	Senaryo-6
CV ₋ (Gaz Kısma)	5910	3106	6113	2990	3150	3114
CV ₊ (Gaz Açma)	6096	3061	6152	3001	3059	3015
Toplam	12006	6167	12265	5991	6209	6129

Bütün senaryolar için bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma sayıları (**Çizelge 3.8**), **şekil 3.33**'te grafik olarak çizdirilmiştir.



Şekil 3.33 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma sayılarının grafiği

Senaryo-2, Senaryo-4, Senaryo-5 ve Senaryo-6 için toplamda neredeyse eşit defa gaz açma veya gaz kısma komutu uygulanmıştır. Bu dört senaryo için gaz açma tekrarı birbirlerine çok yakın olsa da; Senaryo-4, 3000'in altında olan gaz kısma ihtiyacı ile genel olarak bakılacak olursa en iyi senaryo konumundadır.

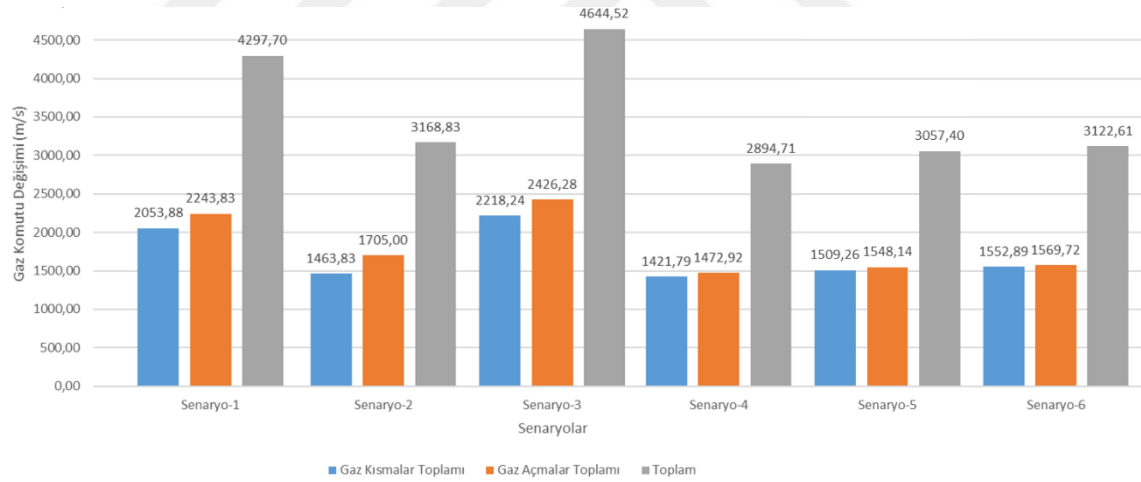
Senaryo-1 ve Senaryo-3 için, birbirlerine yakın ve diğer senaryoların yaklaşık iki katı defa (12000+) komut girdisinde bulunulmuştur.

Yine her bir senaryo için A, B ve C bölgelerindeki gaz kısımlar ile gaz açmaların toplam değeri için **çizelge 3.9** hazırlanmıştır.

Çizelge 3.9 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma değerleri toplamaları

	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4	Senaryo-5	Senaryo-6
(ΣCV -) (Gaz Kısımlar Toplamı)	2053.88	1463.83	2218.24	1421.79	1509.26	1552.89
(ΣCV -) (Gaz Açmalar Toplamı)	2243.83	1705.00	2426.28	1472.92	1548.14	1569.72
Toplam	4297.70	3168.83	4644.52	2894.71	3057.40	3122.61

Bütün senaryolar için bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma değerleri toplamaları (**Çizelge 3.9**), **şekil 3.34**'te grafik olarak çizdirilmiştir.



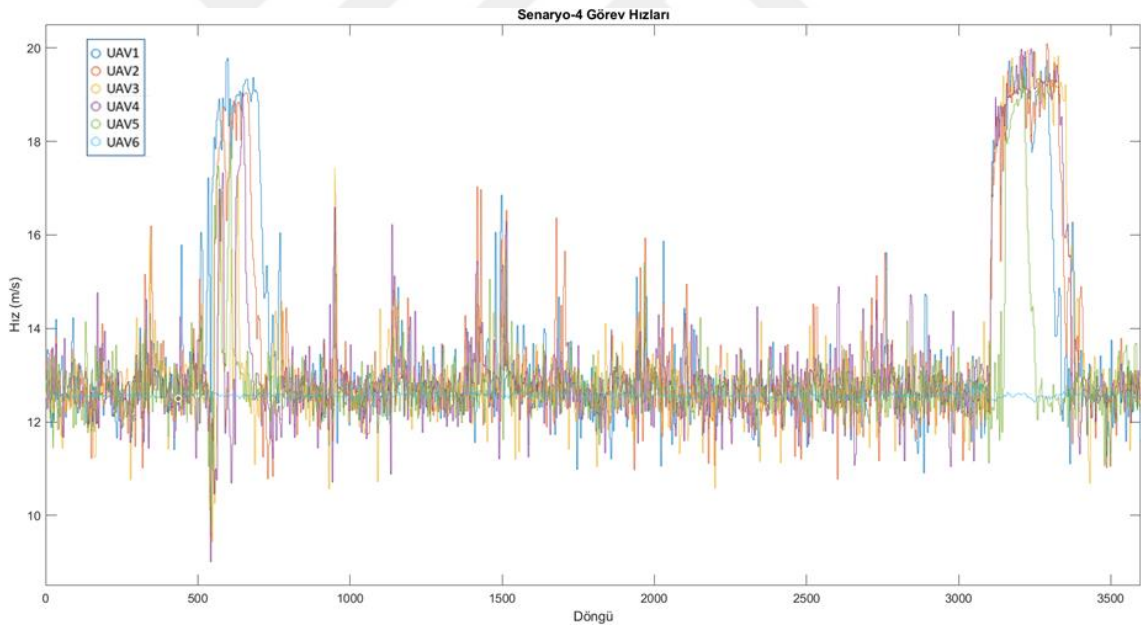
Şekil 3.34 Bütün bölgelerdeki gaz açma ve gaz kısma değerleri toplamalarının grafiği

Senaryo-2, tekrar açısından en kötü iki senaryodan biri olsa da gaz komutu toplam değişim (3168.83 m/s) açısından; durum aynı değildir ve bu da Senaryo-2’de fazla tekrarla ama küçük gaz komutu değişimleri ile görev planını icra ettiği anlamına gelmektedir.

Senaryo-1 ve Senaryo-3, toplam gaz komutu değişimi açısından en kötü senaryolar olmuştur. Aynı senaryolar 12000’den fazla defa gaz komutu değişimi uyguladığından bu sonuç beklenen bir durumdur.

Senaryo-4’te 2990 defa gaz kısma ve 3001 gaz açma ile toplam 5991 kez gaz komutu değişimi gerçekleşmiştir. Gaz kısımların toplamı 1421.79 m/s, gaz açmaların toplamı 1472.92 m/s ve toplam gaz komutu değişimi ise 2894.71 m/s’dir. Başlıca yakıt optimizasyonu nedeniyle görev planı için en az değişim komutu ve toplamda en az değişim isteneceğinden, bu değerler ile tercih edilebilecek en iyi senaryodur.

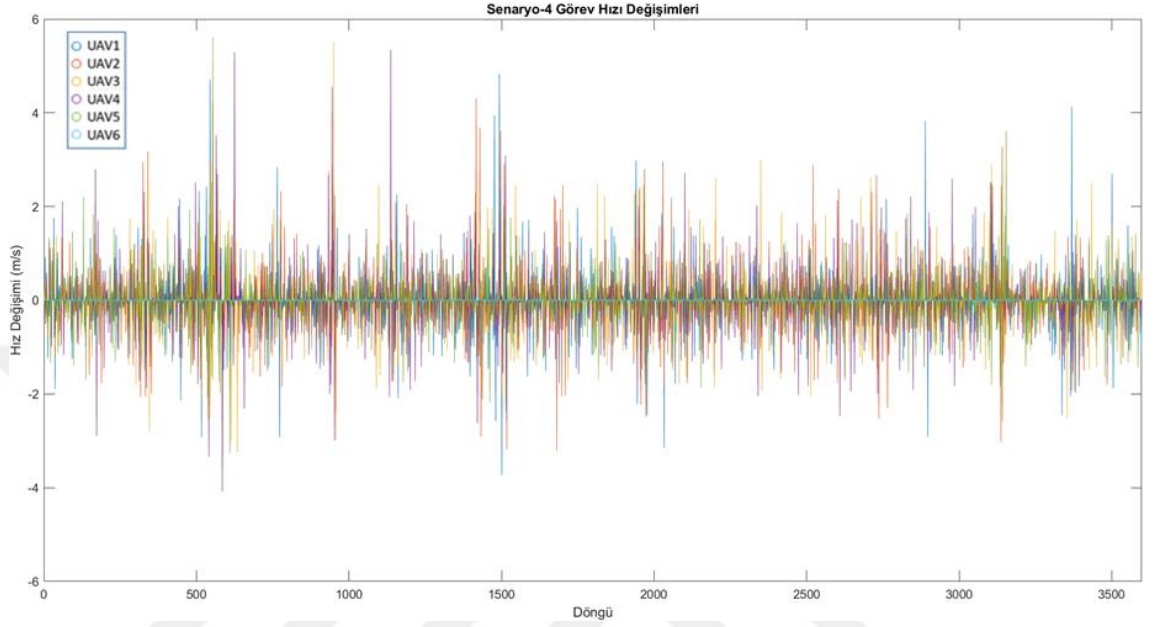
Senaryo-4 özelinde görev planı boyunca birey hızları MATLAB’de grafik olarak çizdirilmiş ve şekil 3.35’te “Senaryo-4 görev hızları grafiği” olarak verilmiştir. Hazırlanan MATLAB kodunun tamamı EK 9’da verilmiştir.



şekil 3.35 Senaryo-4 görev hızları grafiği

şekil 3.35’te, yaklaşık 550.-750. ve 3100.-3200. döngüler arasında formasyon geişileri gerçekleşmektedir, grafikte hız değişimleri; diğer döngülerde ise bireyler sürü hızı olan 13 m/s ile hareket etmek için gerekli değişiklikleri minimumda yaptıkları görülmektedir.

CV₋ ve CV₊ için “EK 9 Senaryo-4 Görev Hızları Grafiği Çizdiren MATLAB Kodu”na benzer bir MATLAB kodu ile **şekil 3.36**’daki grafik çizilmiştir. Bu benzer MATLAB kodunun tamamı **EK 10**’da verilmiştir.



Şekil 3.36 Senaryo-4 görev hız değişiklikleri grafiği

Senaryo-4, görev hız değişiklikleri grafiğinde (**Şekil 3.36**) görüldüğü üzere döngüler arasında gaz kısma adına en fazla fark -4 m/s’dir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan literatür araştırmaları ışığında; İHA'ların her ne kadar uçan hava araçları olsalar da, uçaklara göre kendine özgü alt sistemlere ve idame yöntemlerine ihtiyacı olduğu anlaşılmıştır.

Sabit kanatlı İHA'lardan oluşacak ve birlikte hareket edecek bir sürü oluşturulduğunda, tek bir İHA'nın uçuşunda kullanılacak mesaj ve mesaj alanlarına ek olarak sürü güdüsü için farklı parametrelere de ihtiyaç duyulacağı fark edilmiş ve çalışmaya dahil edilmiştir. Bu parametreler kullanılarak sürüde her bireyin yerinin kendisine özgü olabilmesi için düğüm analizi gerçekleştirilir. Düğüm analizi sonucu farklılaştığında görev başlar ve bu durumu farklı irtifalarda bulunan bekleme noktaları takip eder.

Oluşturulan sürünün ihtiyacı doğrultusunda literatürdeki farklı sürü kontrol ve haberleşme mimarileri araştırılmış olup, aynı görevi yapacak bireylerden oluşan sürüler için "tekli grup haberleşme ve kontrol mimarisi" homojen yapı, yedeklilik ve düşük ekipman maliyetinden dolayı ön plana çıkmaktadır. "Çoklu grup" ve "çoklu katman" haberleşme ve kontrol mimarileri ise nispeten büyük sürülerde, farklı görevleri icra edecek alt sürüler olduğunda ya da sürüler arası iletişime ihtiyaç duyulduğunda tercih edilebilir.

Oluşturulan sanal ortamda haberleşmenin alt katmanında UDP protokolü ve Multicast haberleşme tercih edilmiştir.

Ortam olarak seçilen Valla Kanyonu'nda yapılacak olan geçişler için çizgi, ok ve domino formasyonlarına karar verilmiş ve İHA'lar tarafından gerçekleştirilebilmeleri için yazılımda şablonları hazırlanmıştır. Simülasyon ortamında belli bir güzergahta yapılması istenilen görev planı farklı formasyonlar ile gerçekleştirilmiş, her İHA'dan veriler anlık olarak kaydedilmiş, toplanan bu veriler anlamlandırılmak üzere çeşitli şablonlara yerleştirilmiş ve daha da kolay yorumlanabilmesi adına bu şablonlar grafik olarak çizdirilmiştir.

Tezin son bölümünde ise senaryolar ve diğer parametler karşılaştırılarak, tamamlanan bu çalışma doğrultusunda elde edilen durumlar ile tez çalışmasının mevcut ve gelecekteki literatür için öneminden bahsedilmiştir.

Görev planları, vadiye giriş ve çıkış bölgesindeki formasyon tipi aynı yapılarak, görev hızı ve görev irtifası parametreleri sabit tutularak ve bazı sınırlar konularak gerçekleştirildiği için; formasyon seçimi, formasyon değişikliği, gaz komutu değişim ihtiyaçları (kısmı veya açma), toplam gaz komutu değişimi, katedilen mesafeler ve geçirilen süreler olarak farklı başlıklar altında değerlendirilmelidir.

Senaryo-6 toplam mesafe, Senaryo-4 ise; toplam geçirilen süre ile toplam gaz açma ve gaz kısma açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Farklılaşmanın en önemli nedeni istenen formasyonlar arasındaki geçiş hareketleridir. Bu çalışma referans alınarak daha kesin sonuçlar istenen bir ortam oluşturulmak istenirse bu başlıkların birbirleri ile bağlantılı olacağı algoritmalar ve senaryolar oluşturulmalıdır.

İHAS'larda kullanılan teknolojilerin hızla gelişmeye devam etmesi, operasyonel olarak ticari ve askeri alanlarda aktif bir şekilde kullanılmaları, kullanıcı eğitim sürelerinin kısalığı, üretim ve idame maliyetlerinin her geçen gün daha da düşmesi bu kadar gündemdeyken; ülkemizin de öncü olarak içinde bulunduğu Sürü İHA teknoloji yarışına girdi yapabilmesi adına bu tez çalışması hazırlanmıştır.

Bu çalışma sayesinde farklı senaryolarda icra edilen görev planları gerçek hayatı yansıtabildiği kadarıyla okuyucularda ve bu konu hakkında çalışanlarda yeni fikirler oluşturabilir. Kurulan simülasyon ortamı ve altyapı daha da geliştirilerek yakıt tüketimi optimizasyonu, engelden kaçınma, çarpışma önleme ve rota kestirimi çalışmaları gibi birçok farklı alanda denemeler yapılabilir. Yeni nesil hibrit savaşlarda ve savunmalarda farklı faydalı yüklere sahip bireylerden oluşan sürülerin; yakın bir gelecekte daha da aktif olarak kullanılacağı zamanla herkes tarafından fark edilecektir.

KAYNAKLAR

- Amoruso, M., J. 1996. Euler Angles And Quaternions In Six Degree Of Freedom Simulations Of Projectiles. 75, New Jersey.
- Anonim. 2024. Web Sitesi: <https://www.blueangels.navy.mil/show/resources.htm>, Erişim Tarihi: 14.06.2024.
- Austin, R. 2010. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. Wiley, 3, Birleşik Krallık.
- Chen, X., Tang, J., Lao, S. 2020. Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols. MDPI Applied Sciences, 10(3661).
- Chriki, A., Touati, H., Snoussi, H., Kamoun, F. 2019. UAV-GCS Centralized Data-Oriented Communication Architecture for Crowd Surveillance Applications, 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), 24-28 Haziran, 2064-2069.
- Department Of Defense 2007. Unmanned Systems Roadmap 2007-2032, 188, Washington DC.
- Gupta, A., Jha, R., K. 2015. A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. IEEE Access. 3, 1206 – 1232.
- Jacquet, P., Muhlethaler, P., Clausen, T., Laouiti, A., Qayyum, A., Viennot, L. 2001. Optimized Link State Routing Protocol For AD Hoc Networks. In Proceedings of the IEEE International Multi Topic Conference. New York, 62–68.
- Jawhar, I., Mohamed, N., Al-Jaroodic, J., Agrawald, D., P., Zhang, S. 2017. Communication and Networking of UAV-Based systems: Classification and Associated Architectures. Journal of Network and Computer Applications, 84, 93-108.
- Keane, J., F. ve Carr, S., S. 2013. A Brief History of Early Unmanned Aircraft. Johns Hopkins APL Technical Digest, 32(3), 558-571.
- Manathara, J.G., Sujit, P., B., Sousa, J 2010. Search Strategies for Multiple UAV Search and Destroy Missions. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 61, 355–367.
- Natarajan G. 2001. Ground Control Stations For Unmanned Air Vehicles. Defence Science Journal, 51(3), 229-237.
- Nonami, K., Kendoul, F., Wang, S., S., W., Nakazawa, D. 2010. Autonomous Flying Robots, Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. Springer, 329, Tokyo Dordrecht Heidelberg London New York.
- Postel, J. 1981. Transmission Control Protocol, RFC 793. USC/Information Sciences Institute, Birleşik Devletler.
- Postel, J. 1980. User Datagram Protocol, RFC 768. USC/Information Sciences Institute, Birleşik Devletler.
- Stansbury, R., S., Vyas M., A., Wilson, T., A. 2009. A Survey Of UAS Technologies For Command, Control and Communication (C3). Journal of Intelligent Robot System, 54(1-3), 61–78.
- Yanmaz, E., Yahyanejad, S., Rinner, B., Hellwagner, H., Bettstetter, C. 2017. Drone Networks: Communications, Coordination, and Sensing, 9th International Conference, AdHocNets, 28-29 Eylül, Lecture Notes, 1-15, Ontario, ABD

- Yao, P., Xie, Z., Ren, P. 2019. Optimal UAV Route Planning for Coverage Search of Stationary Target in River. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 27(2), 822-829.
- Zhang, X., Hu, Y., Li, W., Yu, M., Wang, J. 2020. Mission Planning Of Multi Base UAV Based On Improved Artificial Bee Colony Algorithm. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1550(032072).



EKLER

EK 1 Dinleme ve Kayıt Yazılımından Örnek Kısımlar

```
fileName = "Result_n.xls"
```

```
filePath = '/home/Ubuntu/Desktop/Records/' + fileName
```

```
workbook = xlswriter.Workbook(filePath)
```

```
worksheet_1 = workbook.add_worksheet("UAVn")
```

```
...
```

```
worksheet_1.merge_range('A1:B1', 'Time', merge_format_firmwareversion_1)
```

```
...
```

```
worksheet_1.merge_range('S1:T1', 'Current_Yaw', merge_format_firmwareversion_1)
```

```
...
```

```
MCAST_GRP = '225.1.1.191'
```

```
MCAST_PORT = 52001
```

```
...
```

```
current_vel_x_decimal_binary_index = data[index+1163:index+1195]
```

```
...
```

```
worksheet_1.merge_range("M"+str(b_1)+":N"+str(b_1), str(current_vel_z_int_binary_index_fin_1)+str("."))+str(current_vel_z_decimal_binary_index_fin_1), merge_format_firmwareversion_2)
```

```
...
```

EK 2 Uçuş Profillerini Çizdiren MATLAB Kodu

```
clear all; close all;

data1=importdata('UAV1.csv'); data2=importdata('UAV2.csv');

data3=importdata('UAV3.csv'); data4=importdata('UAV4.csv');

data5=importdata('UAV5.csv'); data5=importdata('UAV6.csv');

x1=data1(:,1); y1=data1(:,2); z1=data1(:,3);

x2=data2(:,1); y1=data2(:,2); z1=data2(:,3);

x3=data3(:,1); y1=data3(:,2); z1=data3(:,3);

x4=data4(:,1); y1=data4(:,2); z1=data4(:,3);

x5=data5(:,1); y1=data5(:,2); z1=data5(:,3);

x6=data6(:,1); y1=data6(:,2); z1=data6(:,3);

xlabel('X'); ylabel('Y'); zlabel('Z'); title ('Senaryo-1 için Uçuş profili');

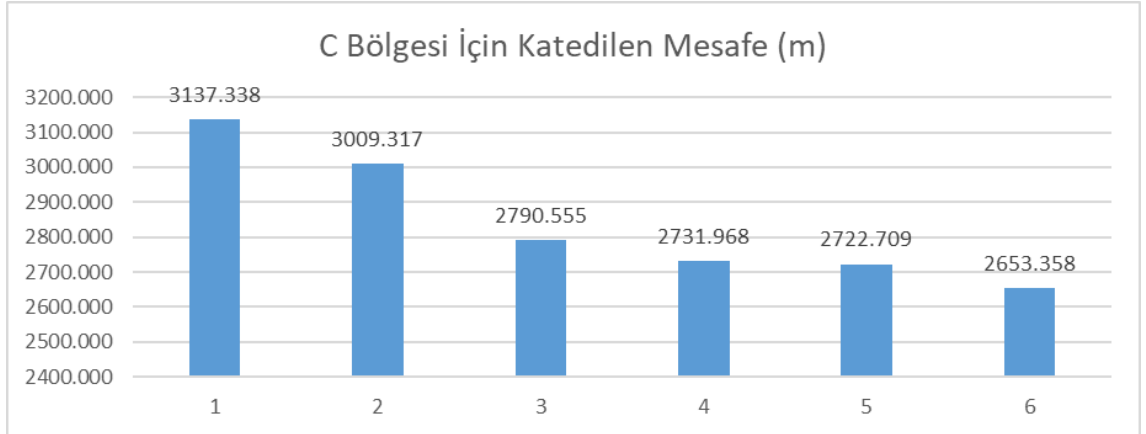
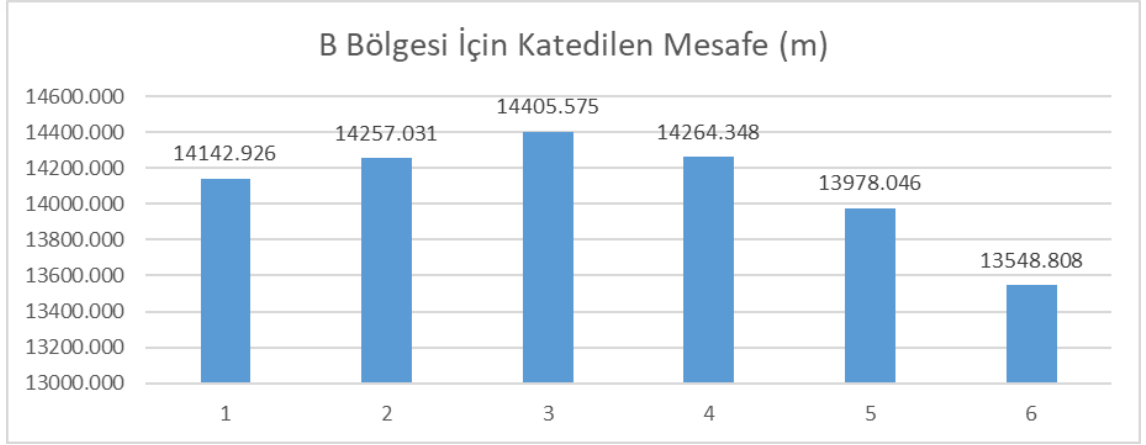
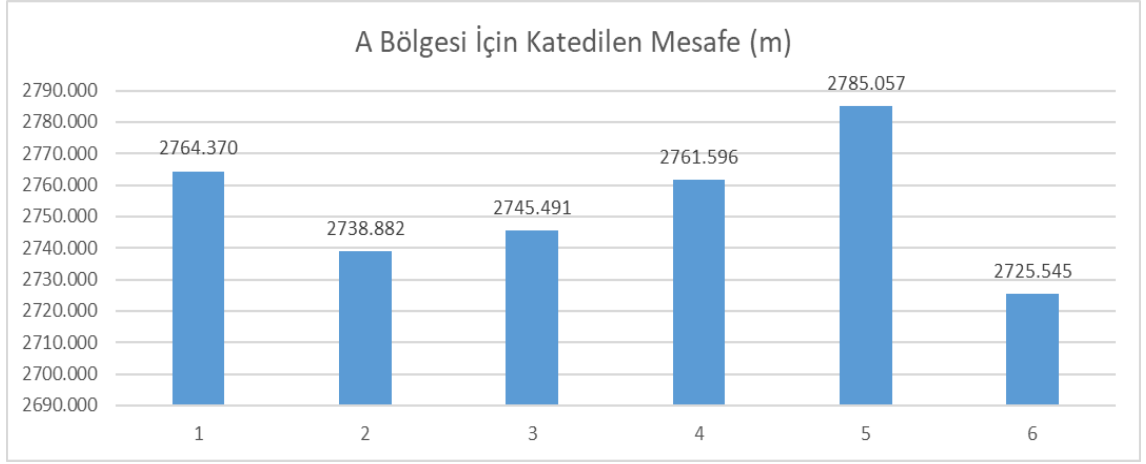
hold on

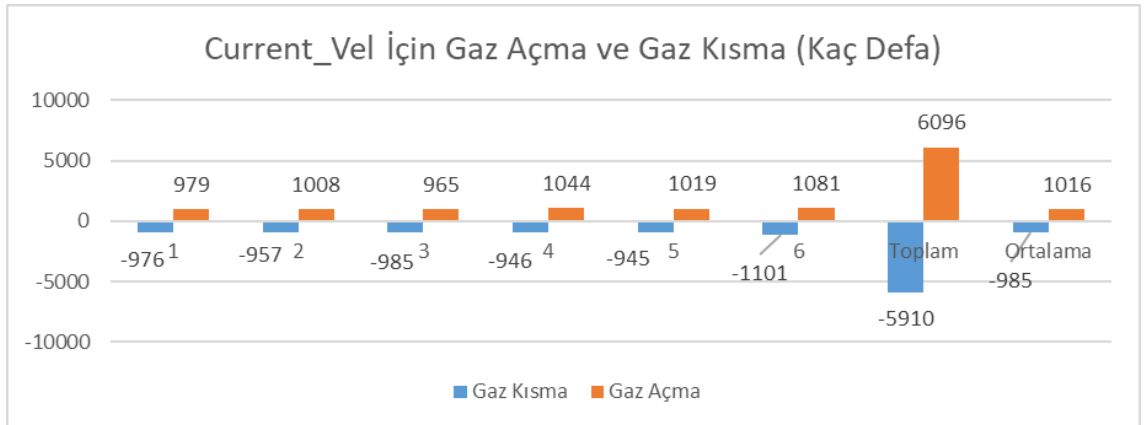
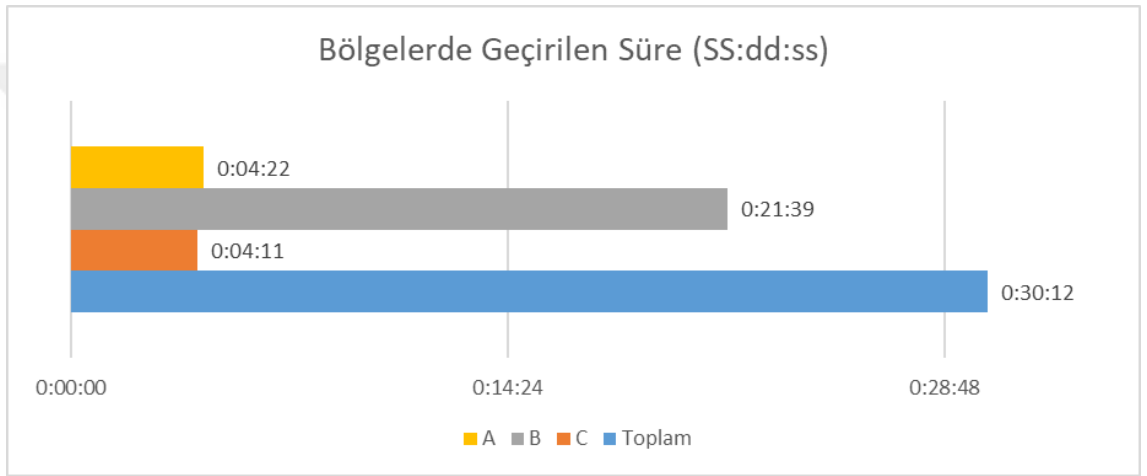
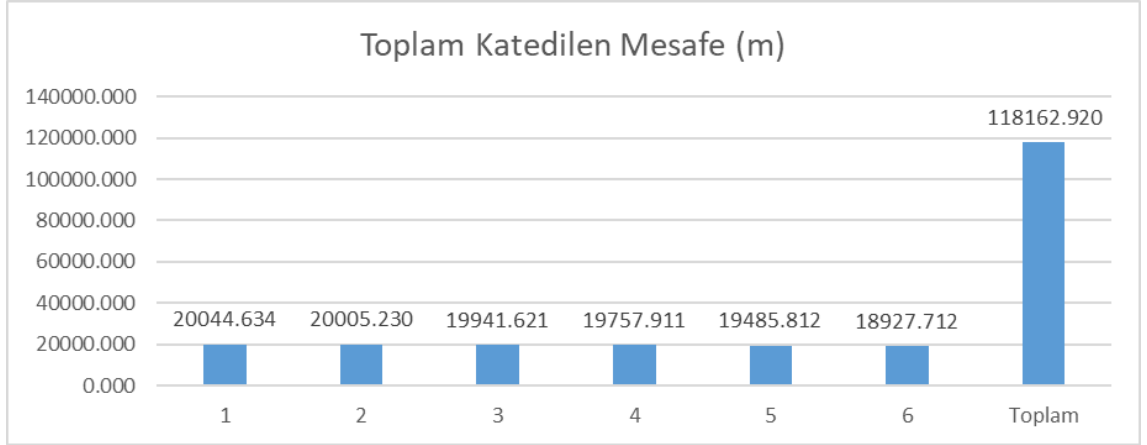
scatter3(x1,y1,z1); scatter3(x2,y2,z2); scatter3(x3,y3,z3);

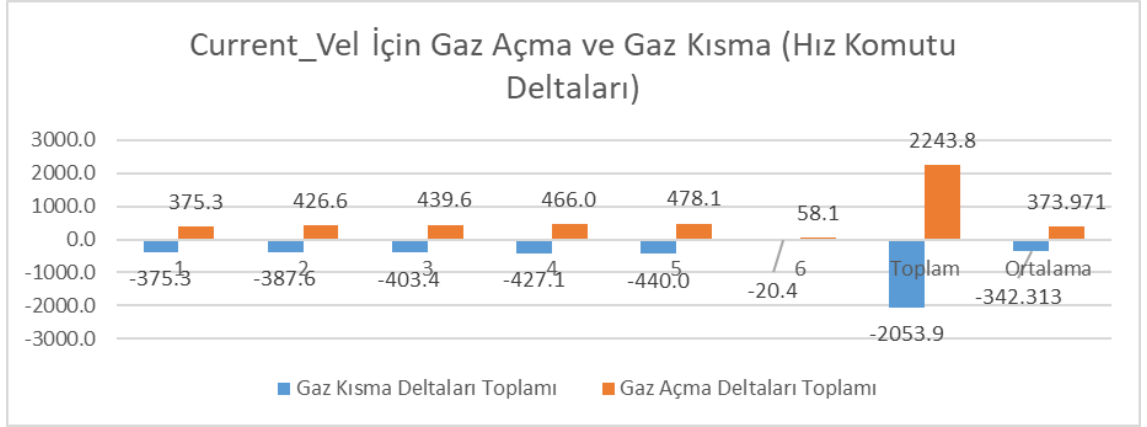
scatter3(x4,y4,z4); scatter3(x5,y5,z5); scatter3(x6,y6,z6);

hold off
```

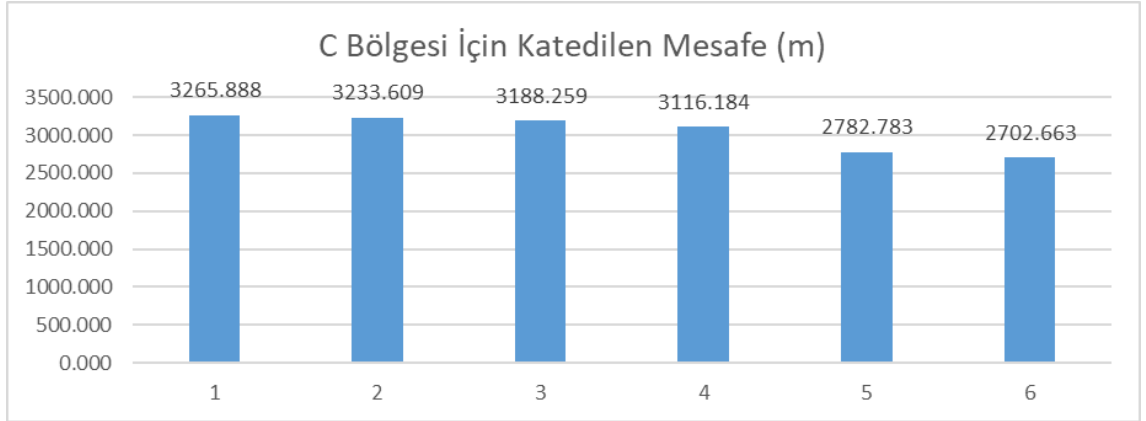
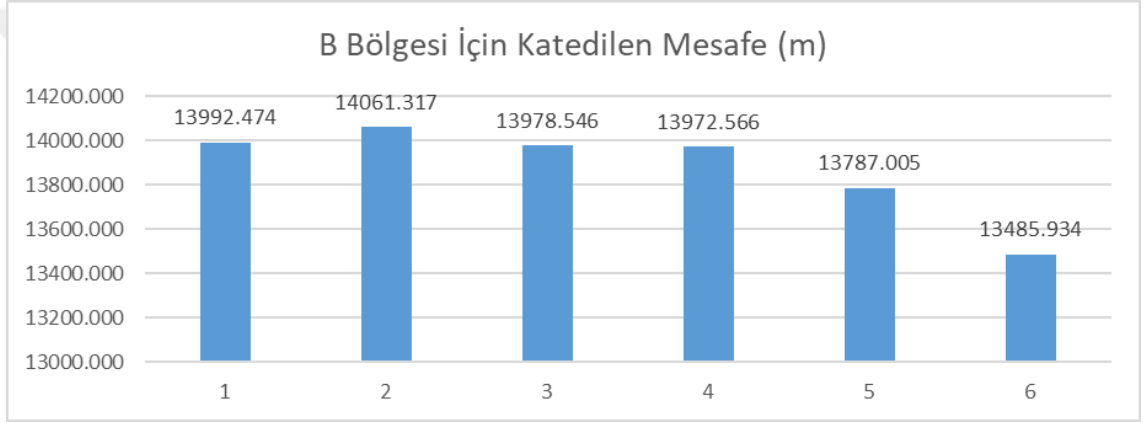
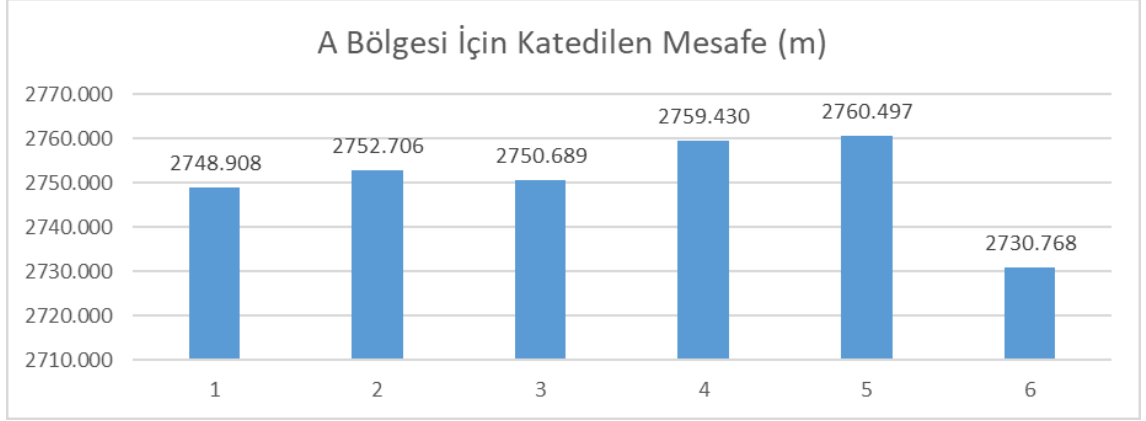
EK 3 Senaryo-1 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler

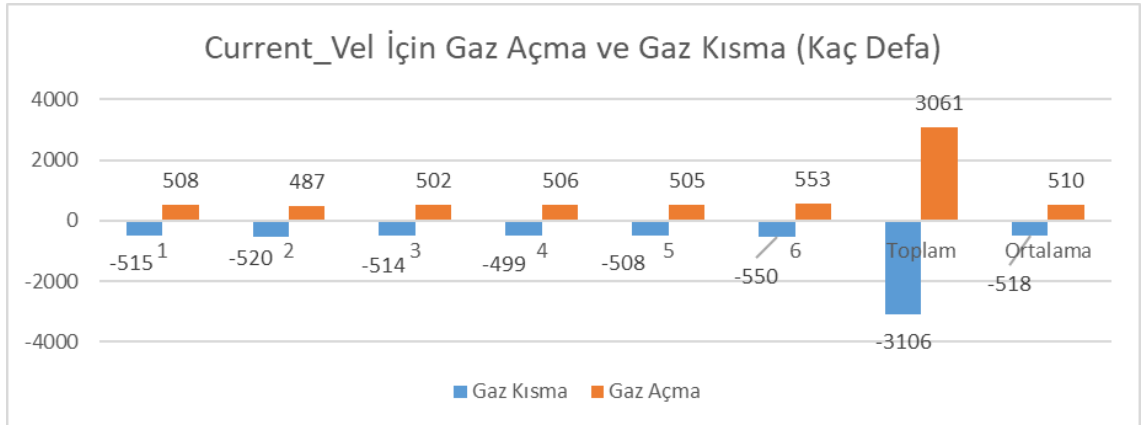
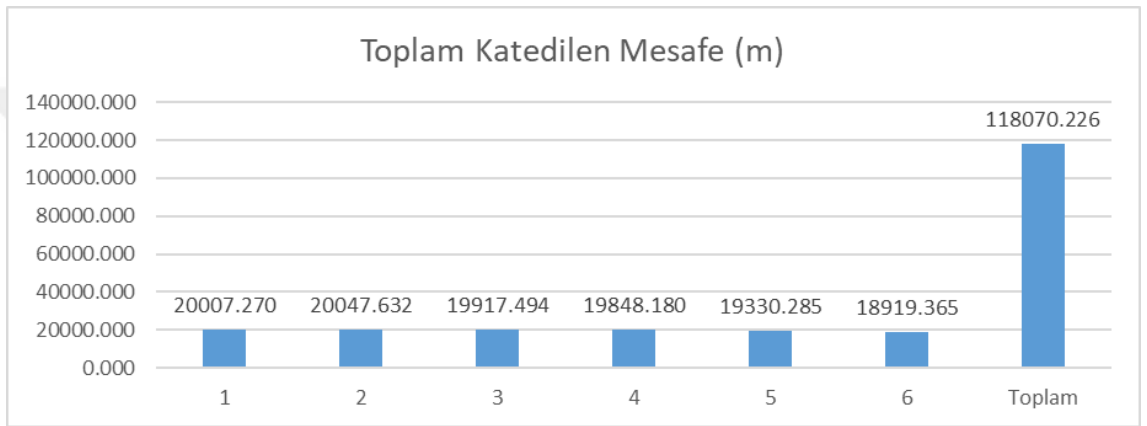
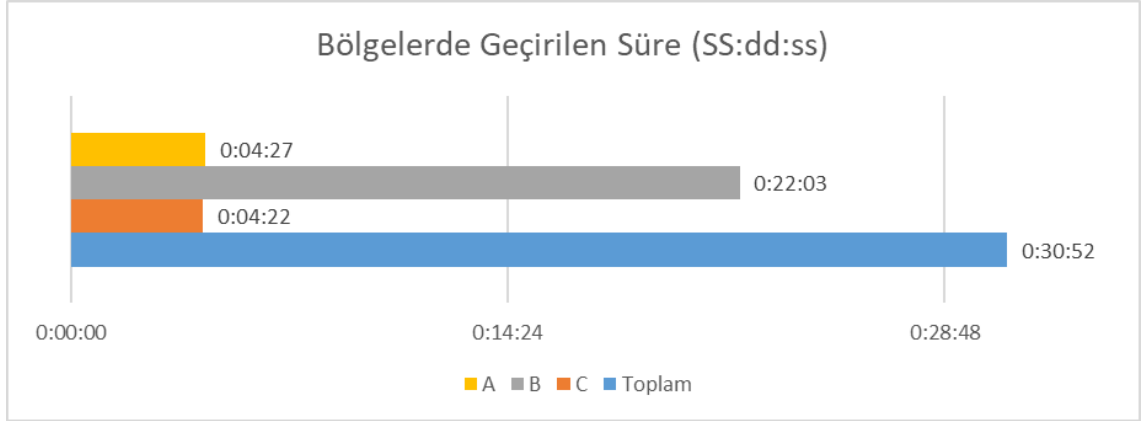


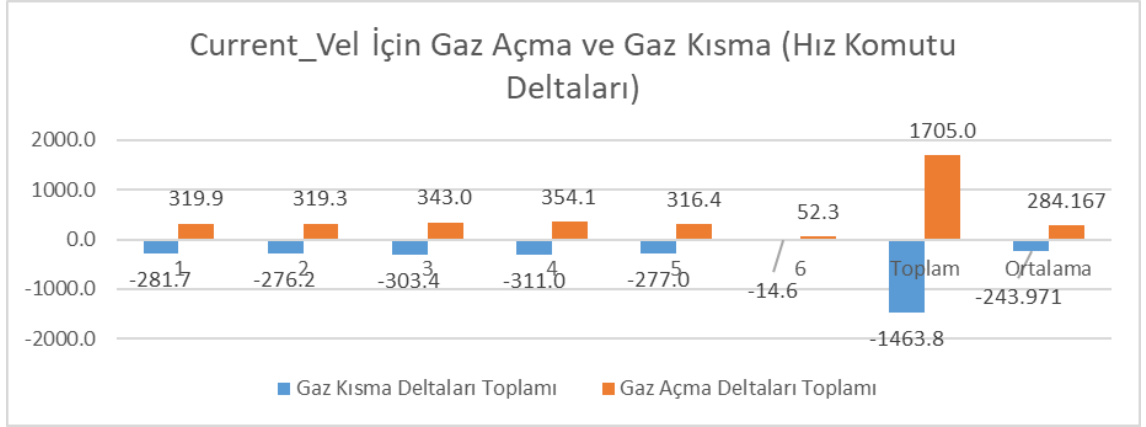




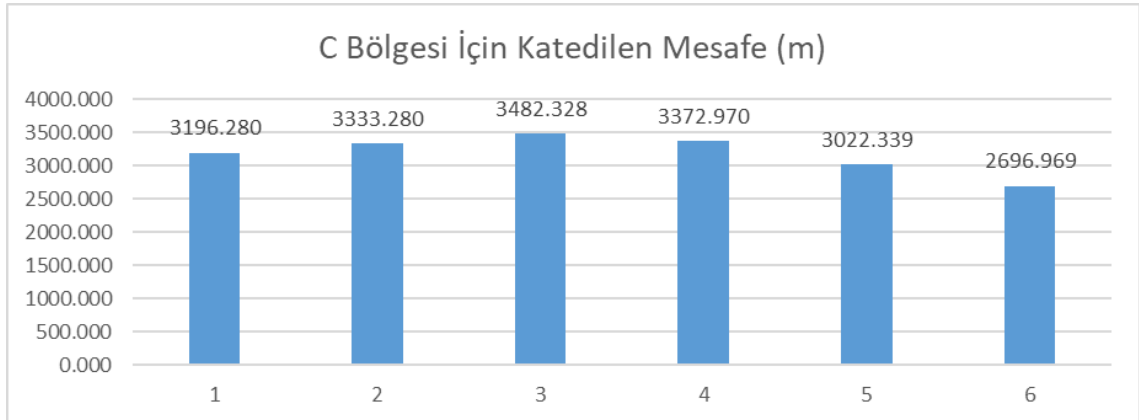
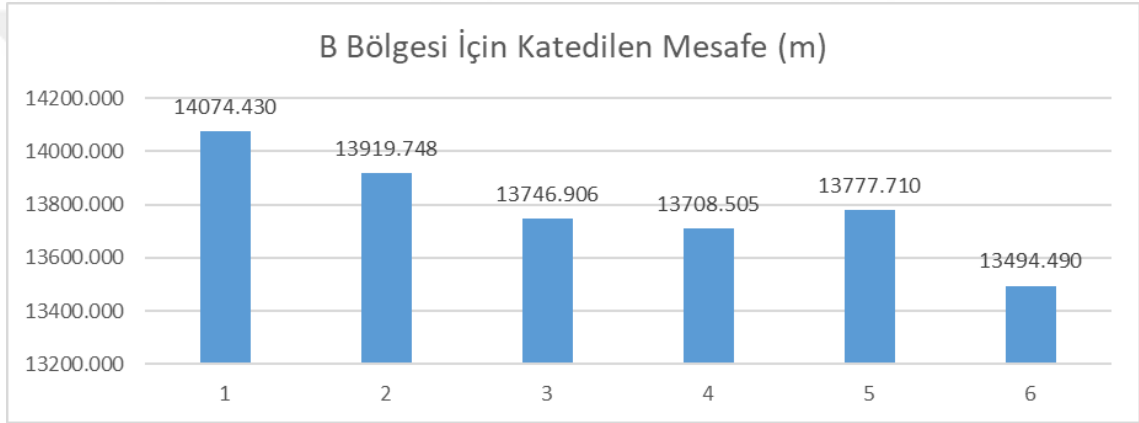
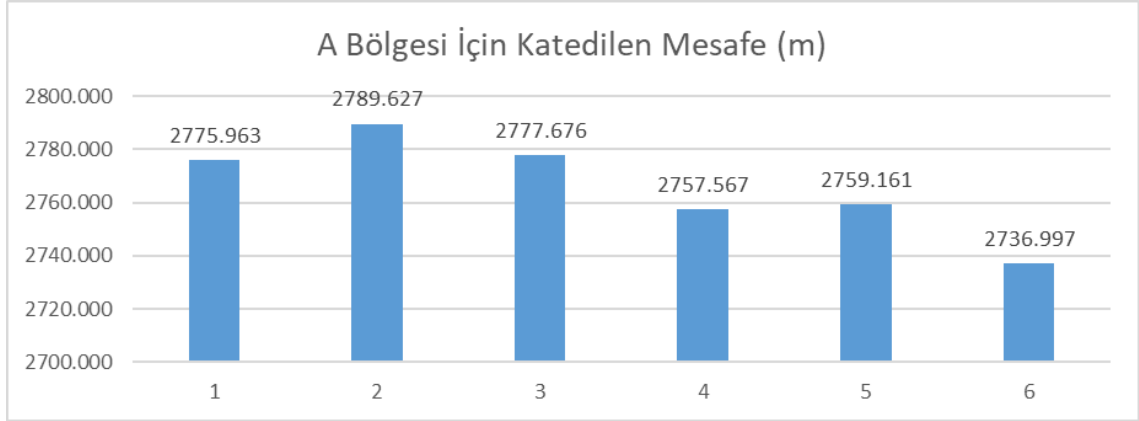
EK 4 Senaryo-2 İçin Toplanan Telemetry Verilerinden Hazırlanan Grafikler

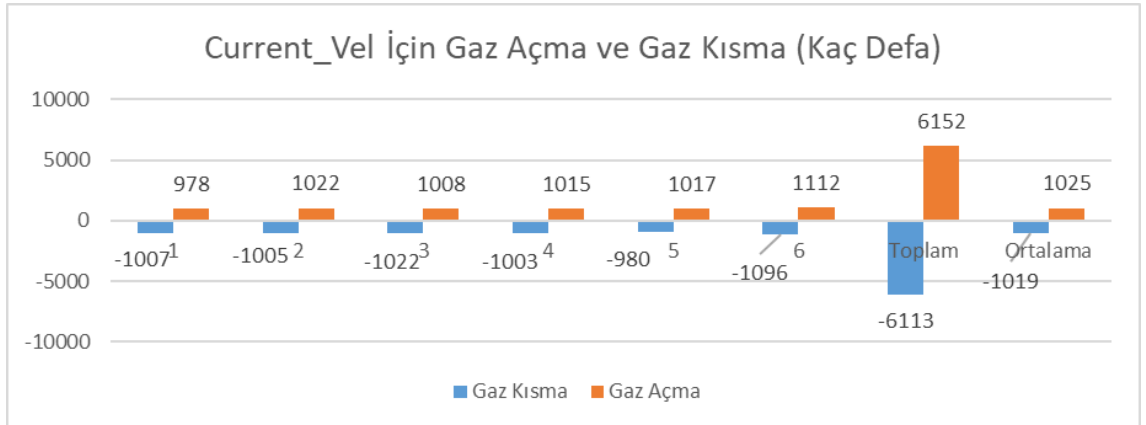
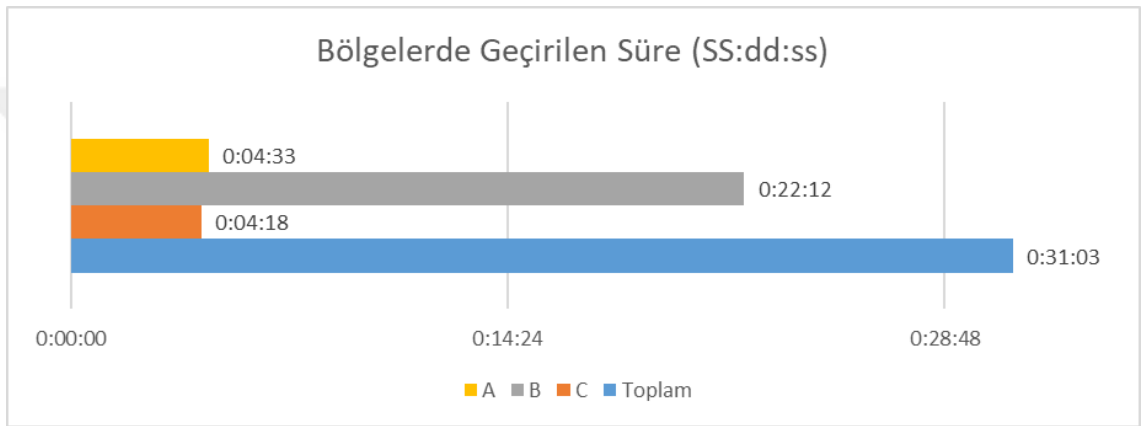
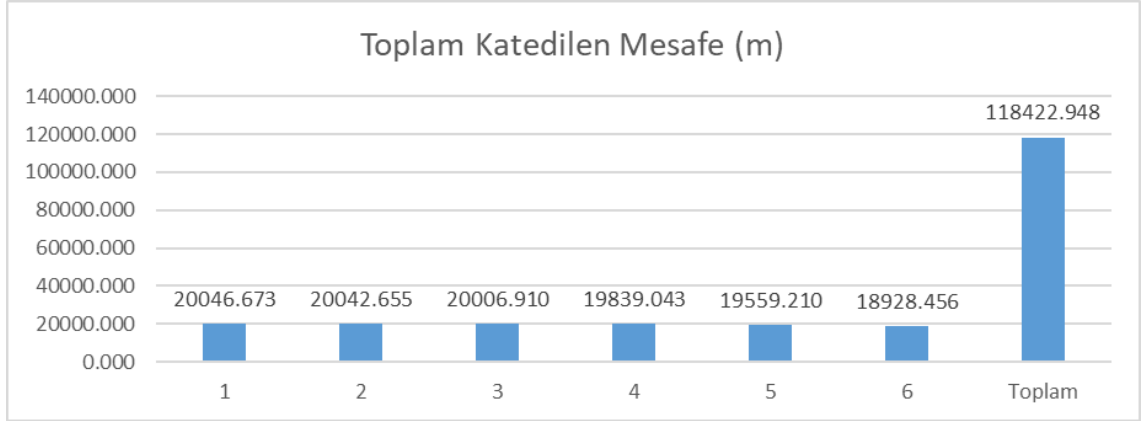


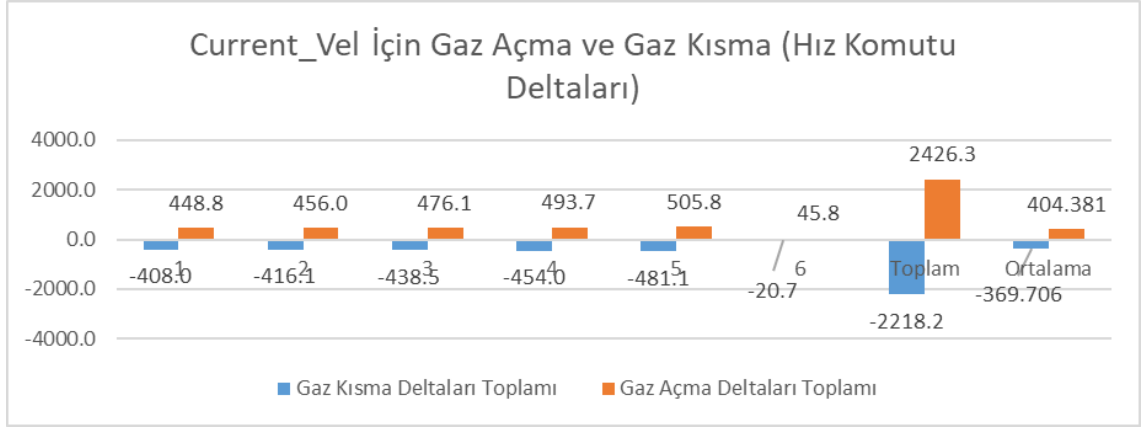




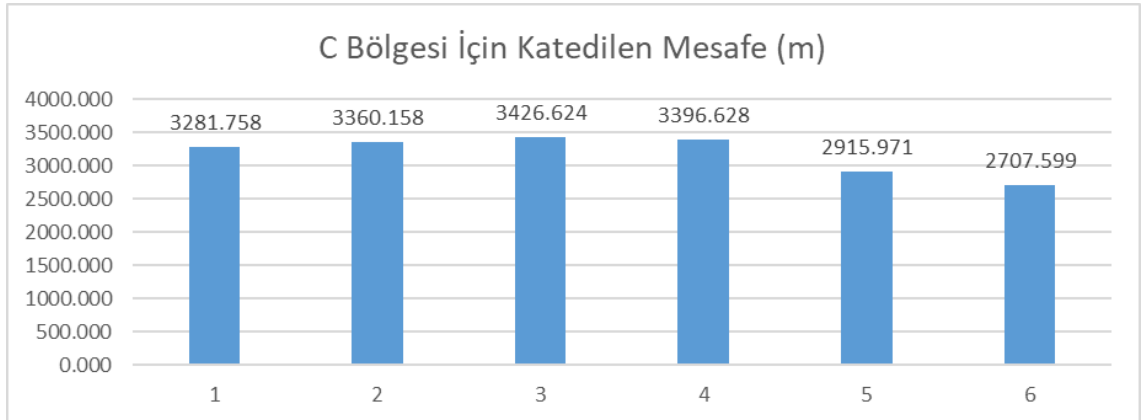
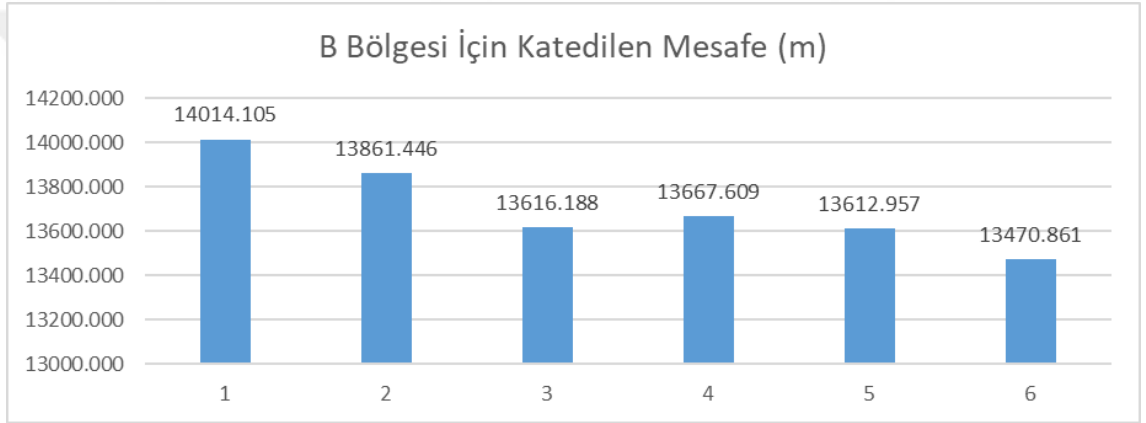
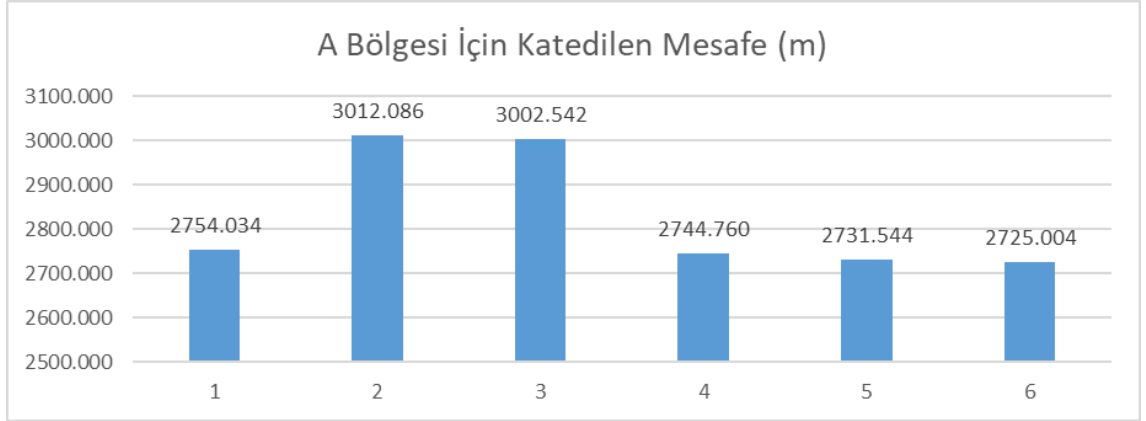
EK 5 Senaryo-3 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler

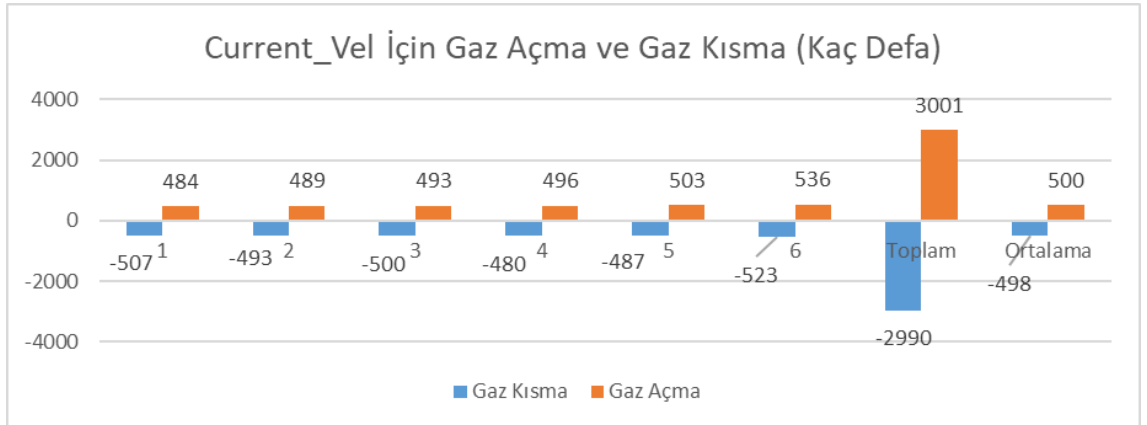
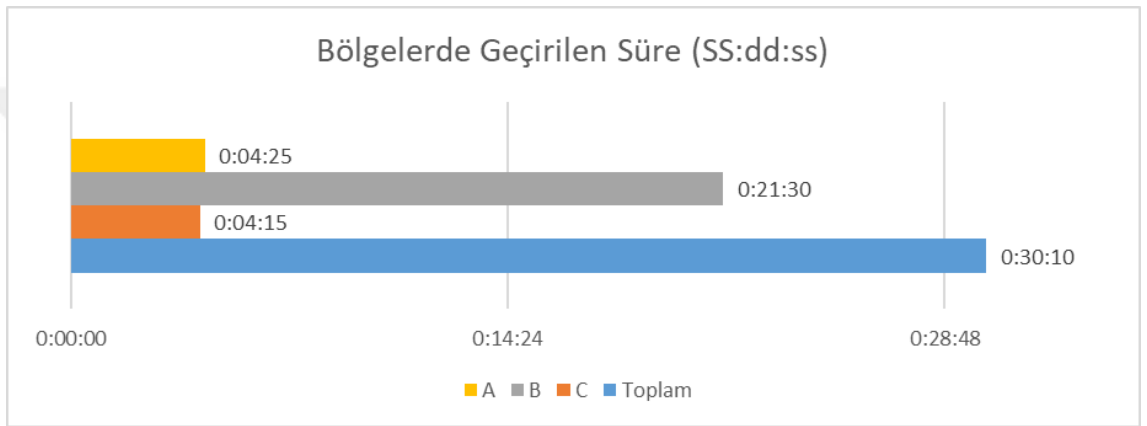
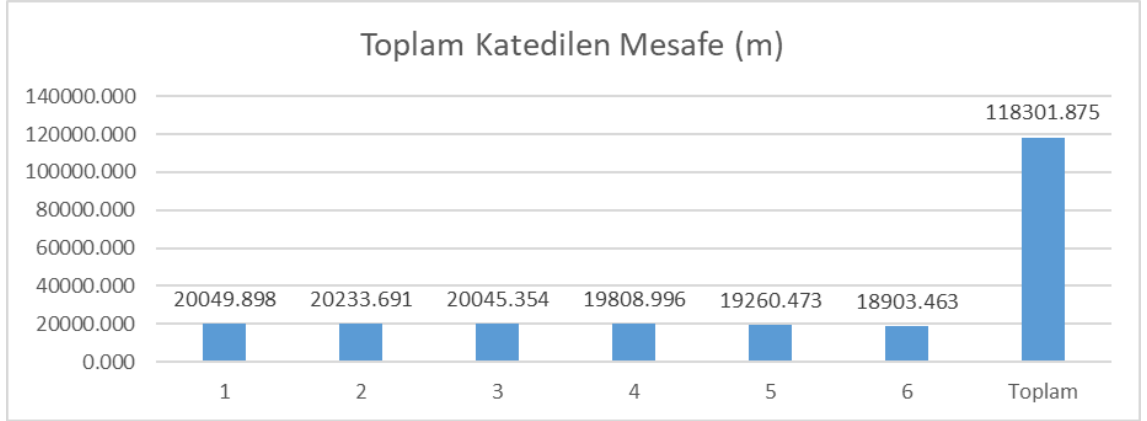


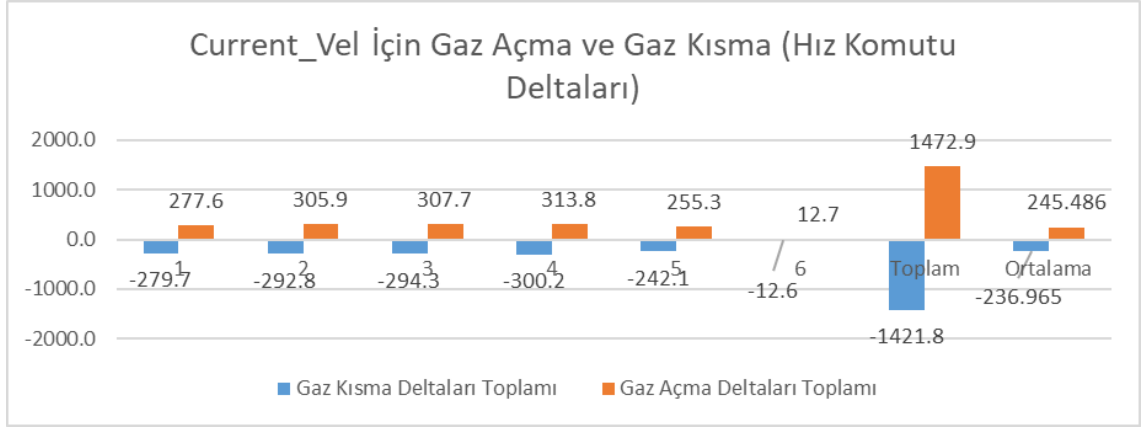




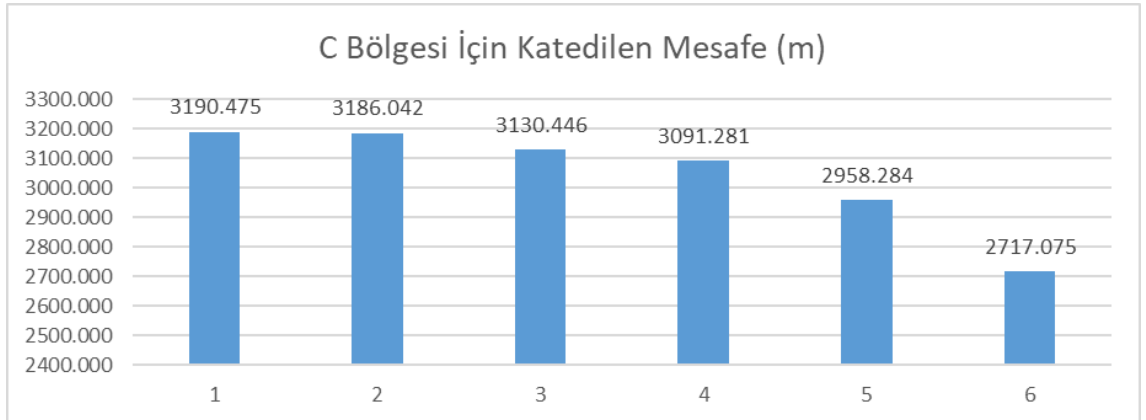
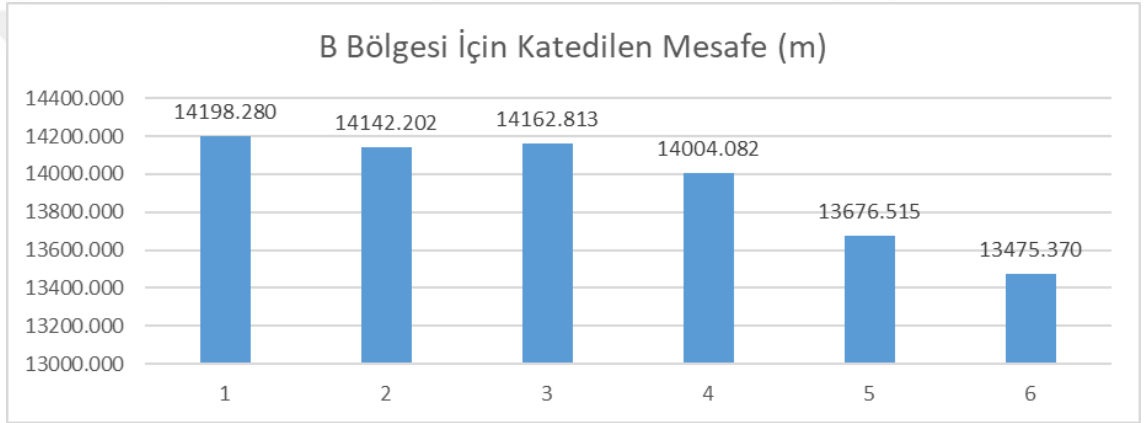
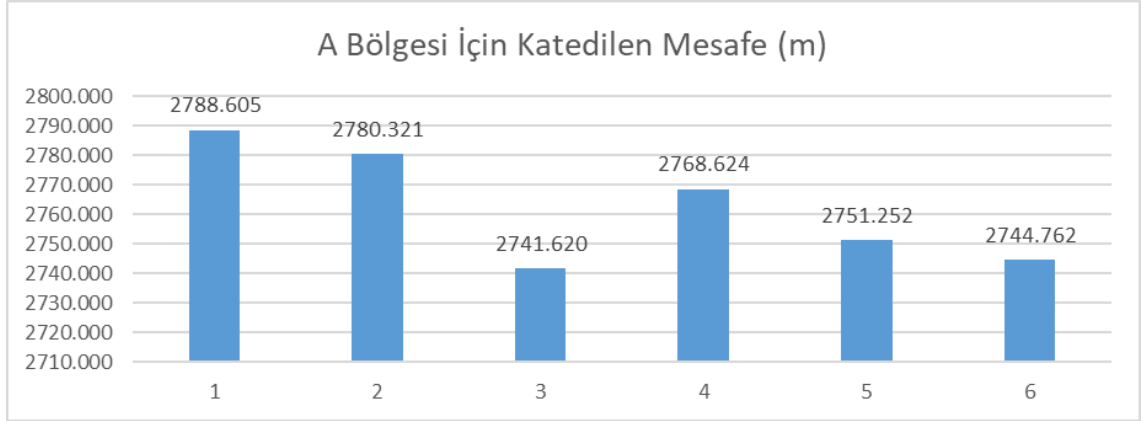
EK 6 Senaryo-4 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler

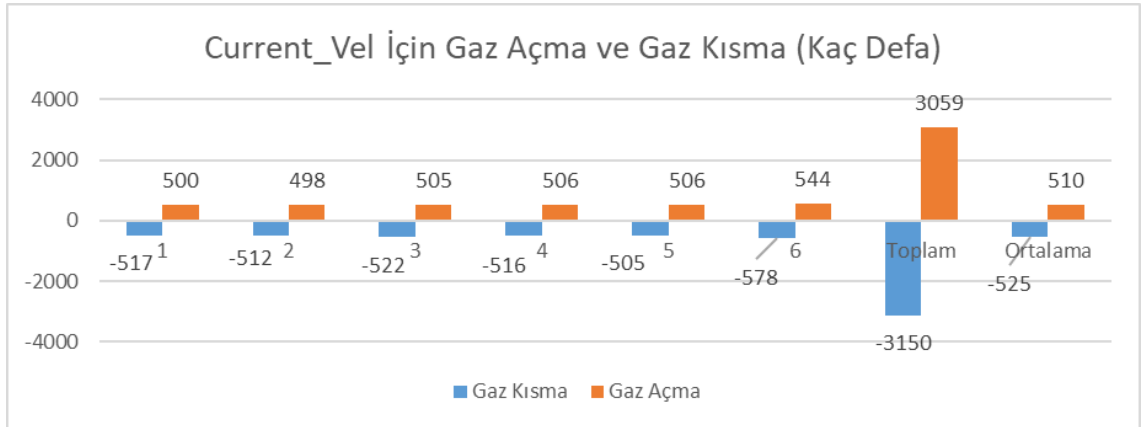
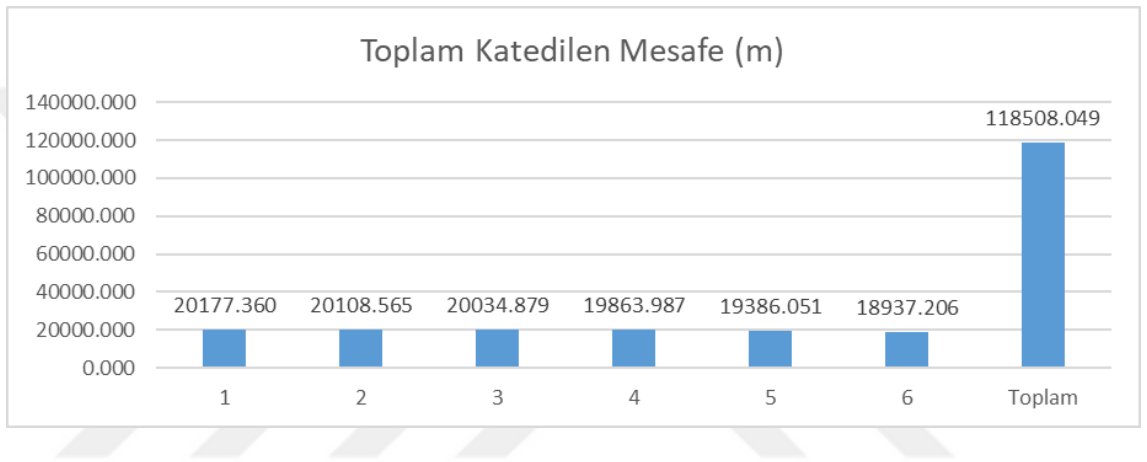
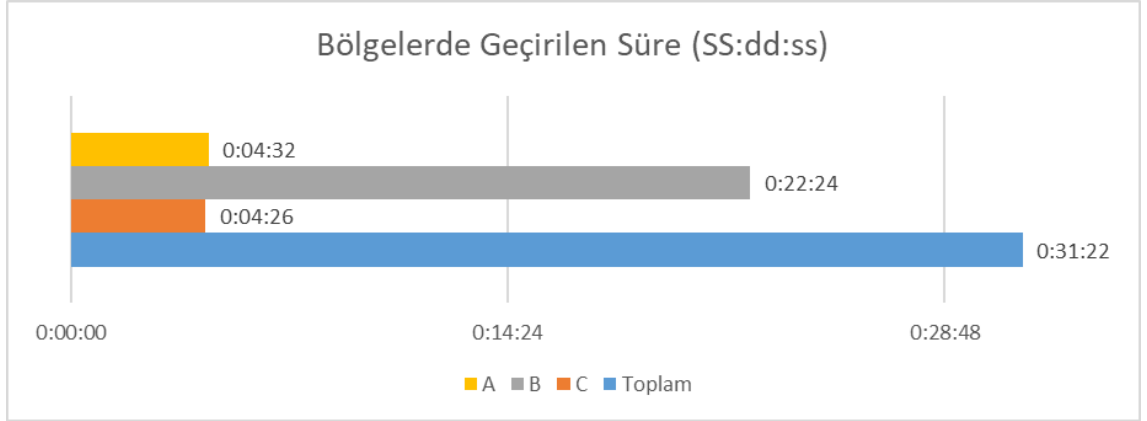


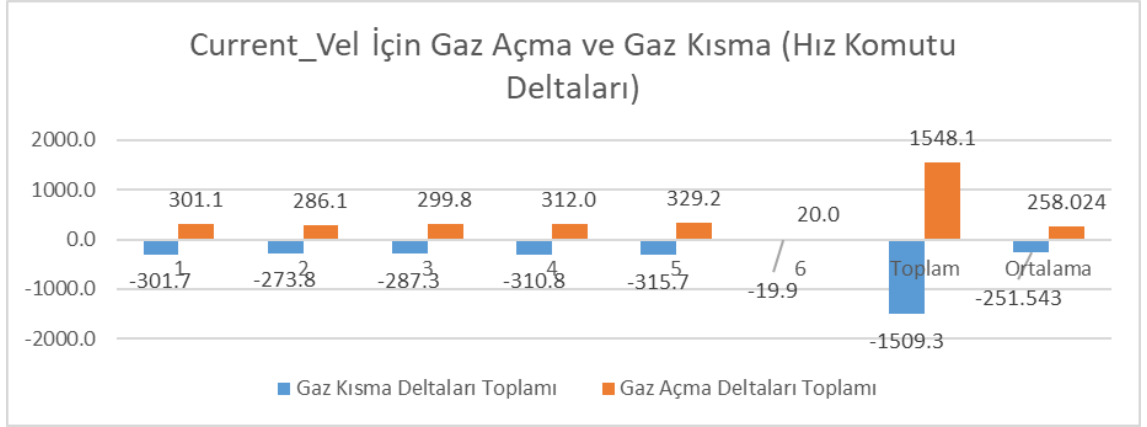




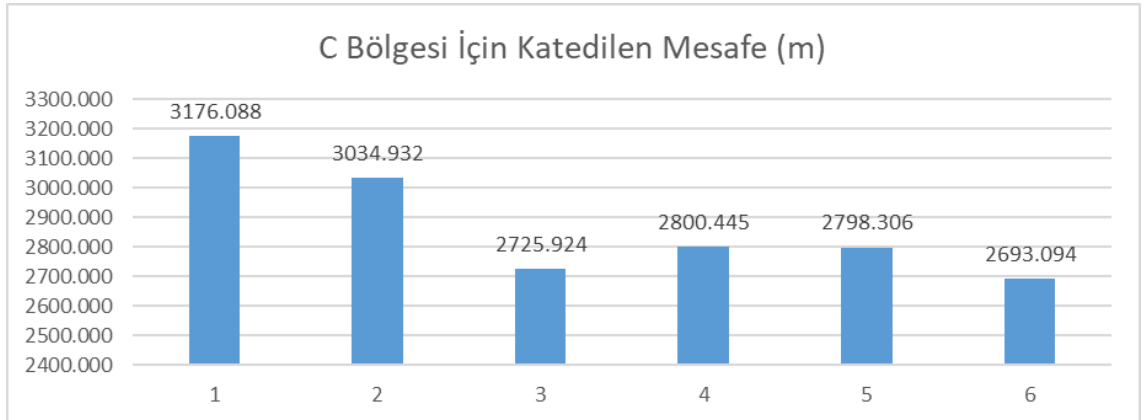
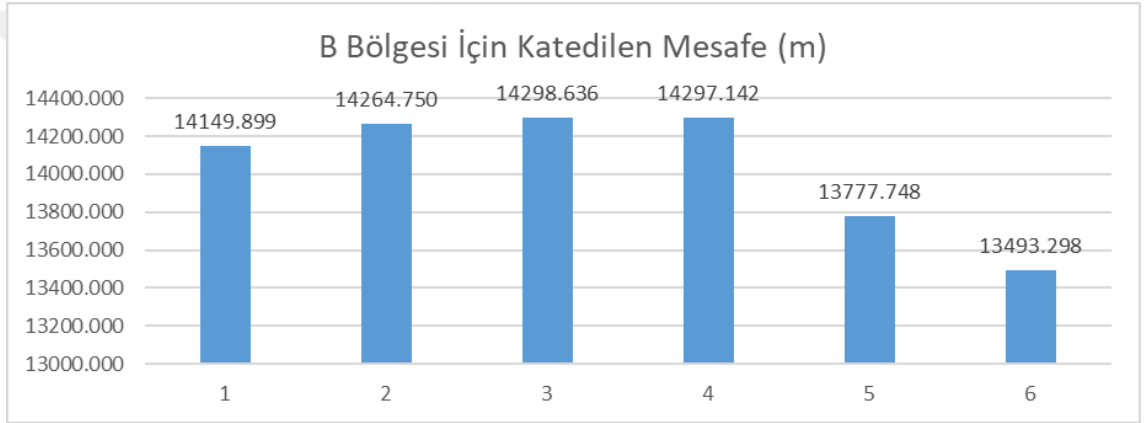
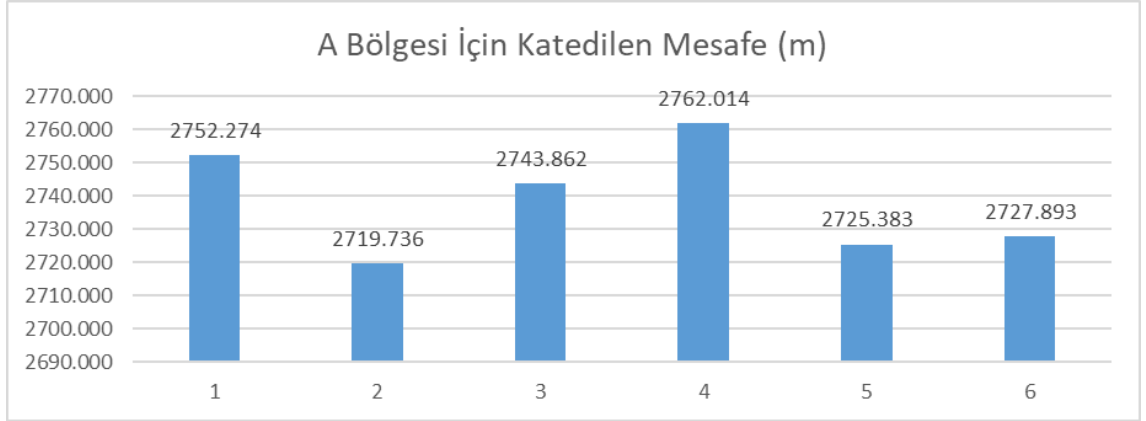
EK 7 Senaryo-5 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler

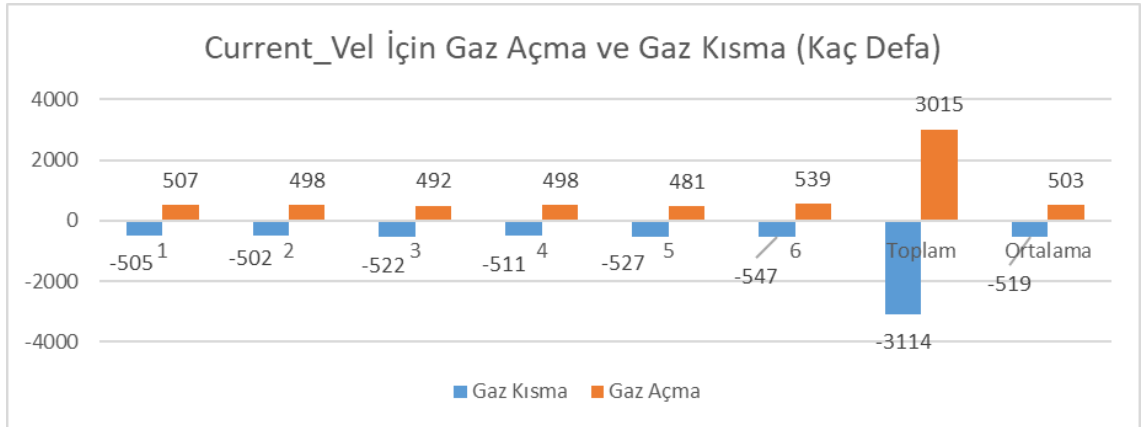
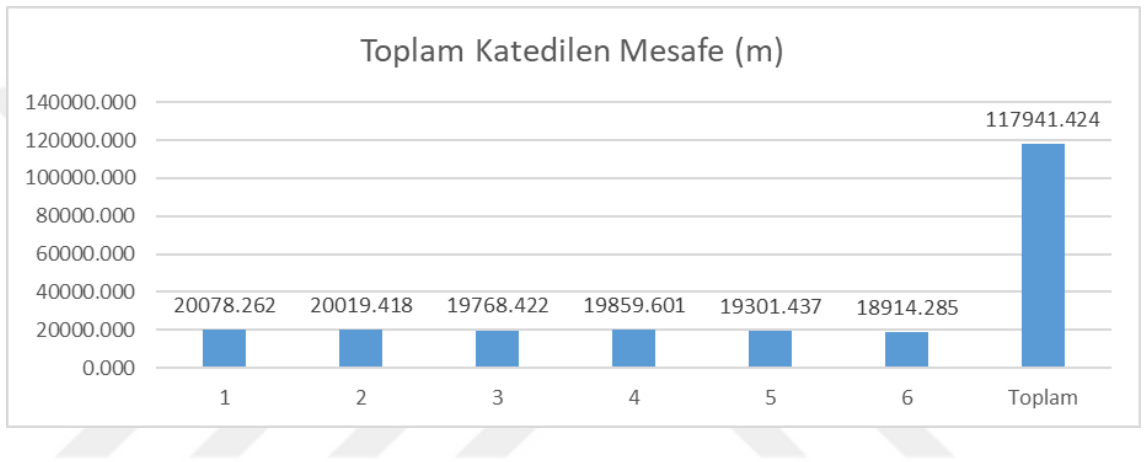
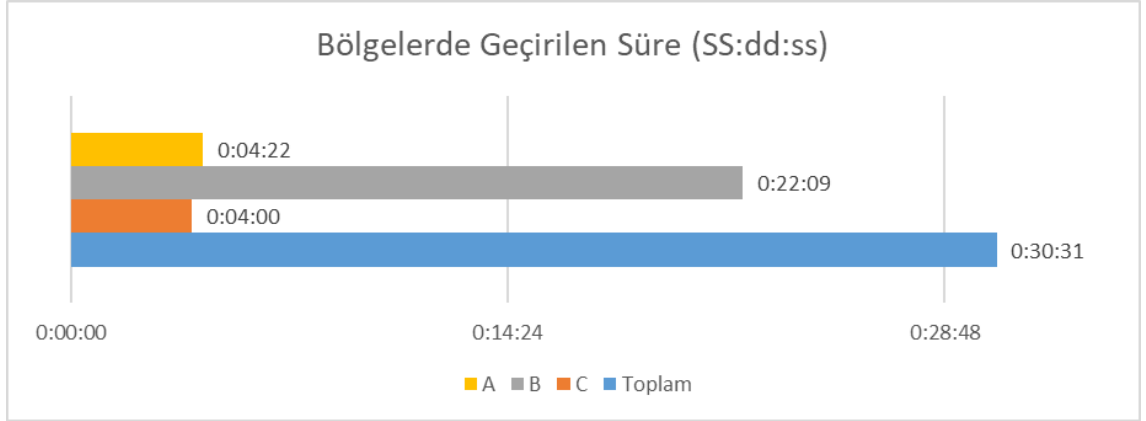


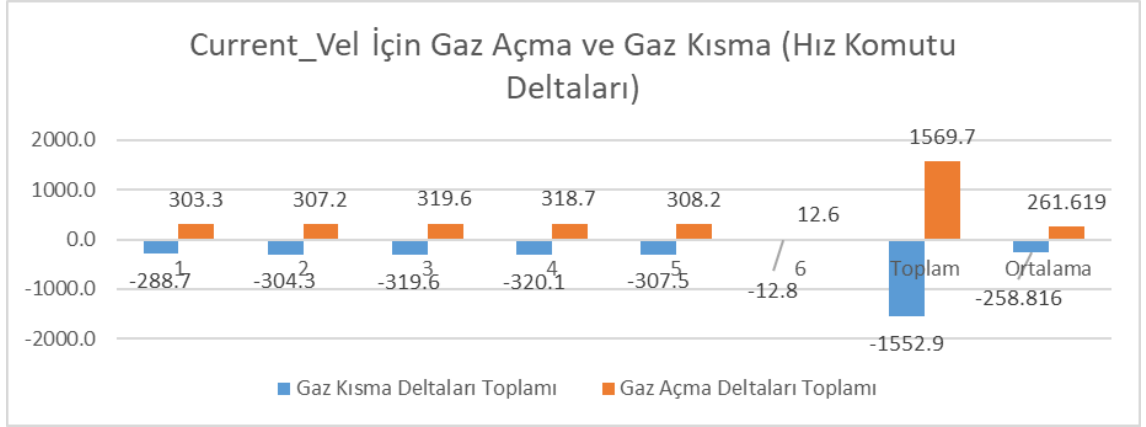




EK 8 Senaryo-6 İçin Toplanan Telemetri Verilerinden Hazırlanan Grafikler







EK 9 Senaryo-4 Görev Hızları Grafiği Çizdiren MATLAB Kodu

```
clear all;

close all;

data1=importdata('UAVs.csv');

y1=data1(:,1);

x1=data1(:,2); x2=data1(:,3); x3=data1(:,4);

x1=data1(:,5); x1=data1(:,6);x6=data1(:,7);

t'tle('Senaryo-4 Görev Hızlar');

xlabel('Döngü'); ylabel('Hız (m/s)');

hold on

plot(y1,x1); plot(y1,x2); plot(y1,x3);

plot(y1,x4); plot(y1,x5); plot(y1,x6);

axis([0 3600 8.5 20.5])

hold off
```

EK 10 Senaryo-4 Görev Hızları Değişimi Grafiği Çizdiren MATLAB Kodu

```
clear all;

close all;

data1=importdata('UAVs.csv');

y1=data1(:,1);

x1=data1(:,8); x2=data1(:,9); x3=data1(:,10);

x1=data1(:,11); x1=data1(:,12);x6=data1(:,13);

t'tle('Senaryo-4 Görev Hızı Değişimleri');

xlabel('Döngü'); ylabel('Hız Değişimi (m/s)');

hold on

plot(y1,x1); plot(y1,x2); plot(y1,x3);

plot(y1,x4); plot(y1,x5); plot(y1,x6);

axis([0 3600 6 -6])

hold off
```