

Telemetri Sistemleri için Yer Kontrol İstasyonu Arayüzü ve Donanımının Tasarımı ve Uygulanması

Design and Implementation of Ground Control Station Interface and Hardware for Telemetry Systems

¹İbrahim YEŞİL , ²İkbal ÇAKIR , ³Mehmet GÜÇYETMEZ , ⁴Şekip Esat HAYBER 

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nilüfer/Bursa, Türkiye

^{2,4}Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nilüfer/Bursa, Türkiye

³Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

¹ibrhmysil@gmail.com, ²ikbalcakir11@gmail.com,

³mehmetgcy@sivas.edu.tr, ⁴sehayber@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 26 November 2025

Accepted : 13 January 2026

Keywords:

Ground Control Interface,
Telemetry Package, Real-Time
Visualization, Data Logging,
Communication

ABSTRACT

This study presents a domestic, cost-effective ground control station (GCS) interface and modular hardware architecture for telemetry systems used in critical missions, such as those involving unmanned systems. Aiming to accelerate the operator's decision-making (OODA) cycle with real-time sensor tracking, the system integrates a multi-microcontroller architecture with C# and Windows Forms .NET-based software. Using an event-driven approach to parse telemetry packets instantly, the GCS demonstrated a command latency of 25 ms at a 1 Hz flow rate, a packet error rate of 0,5%, and 6 hours of uninterrupted operation during field tests. This flexible infrastructure provides a domestic and reliable solution for a wide range of applications, from model satellites to agricultural technologies.

© 2026 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 26 Kasım 2025

Kabul : 13 Ocak 2026

Anahtar Kelimeler:

Yer Kontrol Arayüzü, Telemetri
Paketi, Gerçek Zamanlı
Görselleştirme, Veri Toplama,
Haberleşme

ÖZET

Bu çalışma, insansız sistemler gibi kritik görevlerde kullanılan telemetri sistemleri için yerli, maliyet etkin bir yer kontrol istasyonu (YKİ) arayüzü ve modüler donanım mimarisini sunmaktadır. Gerçek zamanlı sensör takibi gerçekleştiren operatörün karar verme (OODA) döngüsünü hızlandırmayı amaçlayan sistem, C# ve Windows Forms .NET tabanlı bir yazılım ile çoklu mikrodenetleyici mimarisini entegre etmektedir. Olay güdümlü bir yaklaşım kullanarak telemetri paketlerini anlık ayrıştıran YKİ, saha testlerinde 1 Hz. akışta 25 ms komut gecikmesi, %0,5 paket hata oranı ve 6 saat kesintisiz çalışma performansı sergilemiştir. Geliştirilen bu esnek altyapı, model uydulardan tarım teknolojilerine kadar geniş bir yelpazede yerli ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır.

© 2026 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0009-0001-7711-9021

²0009-0009-3891-3941

³0000-0003-2191-8665

⁴0000-0003-0062-3817

1. GİRİŞ

Havacılık, uzay, tarım, sağlık ve tüketici elektroniği gibi çeşitli alanlarda gelişen teknolojilerle birlikte bu alanlardaki sistemler anlık veriler oluşturabilme özelliklerine sahip olmaktadır [1]. Özellikle nesnelerin interneti (internet of things, IoT) altyapılarının gelişmesiyle birlikte cihazların anlık durumu ya da kullanıcı etkileşimlerinin takip edilebilirliği mümkündür [2]. Uzay ve havacılık sistemlerinde, özellikle alçak dünya yörüngesine yerleştirilen uydu veya düşük maliyetli insansız hava aracı ve birinci şahıs görüşü (first person view, FPV) gibi platformlarda, sistemin güvenilir ve otonom çalışması, yer kontrol istasyonu (YKİ) ile sürekli iletişim ve veri alışverişine bağlıdır [3]. Bu platformlar, genellikle yüksek irtifa, titreşim, aşırı sıcaklık gibi zorlu ortamlarda görev yaparlar. Sistem sağlığı, konum, sensör verileri gibi parametrelerle sistem durumunu gerçek zamanlı olarak izlemek ve gerektiğinde komut iletim altyapısı üzerinden müdahale etmek sistemin devamlılığı açısından önemlidir.

YKİ arayüzleri, karmaşık telemetri verilerini anlaşılır, görsel ve anlık bir formatta sunmaktan sorumludur [4]. Etkili bir YKİ, operatörün saniyeler içinde karar vermesini ve kritik durumlarda doğru komutları göndermesini sağlamalıdır [5]. Operasyon planlamalı görevlere dayanan uygulamalarda, kısıtlı görev süreleri ve hızlı karar verme gereksinimi nedeniyle, YKİ'nin kullanım kolaylığı, veri bütünlüğü ve gerçek zamanlı görselleştirme yetenekleri kritik bir tasarım gereksinimi haline gelmektedir [6].

Güncel YKİ geliştirme yaklaşımları, web tabanlı ve açık kaynaklı çözümlere yönelmektedir. Bu yaklaşımlar yüksek esneklik, ölçeklenebilirlik ve donanım bağımsızlığı sağlar. Ayrıca sistemler arası etkileşimi kolaylaştırarak maliyet etkin görev adaptasyonunu destekler [7]. Bu bağlamda, literatürde iki genel açık kaynak platform incelenmiştir. Bunlar, uzay görevlerinde kullanılan NASA Open MCT (Open Mission Control Technologies) [8] ve geniş veri kaynaklarını görselleştirmede endüstri standardına dönüşen Grafana platformlarıdır. Telemetri tabanlı YKİ yazılımlarında, modülerlik, zaman senkronizasyonu ve kullanıcı odaklı tasarım en kritik bileşenlerdir. Bu bağlamda, NASA tarafından geliştirilen Open MCT platformu, bu üç bileşeni bütünlük biçimde sunan bir referans sistem olarak öne çıkmaktadır [9]. Open MCT'nin mimarisi, tüm fonksiyonelliğin harici eklentiler aracılığıyla sağlandığı bir çerçeveye dayanır [10]. Telemetri sistemleri sürekli geliştiği için, YKİ yazılımının yeni bir görev profiline (farklı sensör seti veya haberleşme protokolü) uyarlanması gerektiğinde, sistemin tamamının yeniden derlenmesi veya büyük ölçüde değiştirilmesi gerekmez. Yalnızca yeni telemetri kaynağını işleyen bir eklentinin entegrasyonu yeterlidir. Bu, YKİ yazılımının yaşam döngüsü yönetimini kolaylaştırır ve sistemler arası yeniden kullanılabilirliği maksimize eder [11]. Bir telemetri arayüzünün başarısı, yalnızca canlı veriyi gösterme kapasitesiyle değil, aynı zamanda operasyon sonrası analizi ne kadar kolaylaştırdığıyla da ölçülür. Open MCT, veri akışını yönetmek için veri soyutlaması katmanlarını kullanır [12]. Bu sayede, YKİ arayüzü, kullanılan telemetri protokolünden (örneğin MQTT veya özel bir protokol) bağımsız kalır.

Operasyonel açıdan en kritik özellik ise zaman senkronizasyonu yeteneğidir. Operatörler, arayüzdeki grafikler, sayısal değerler ve harita konumları gibi tüm gösterim nesnelerinin bağlı olduğu tek bir zaman çizelgesi üzerinden çalışır. Bu yapı, canlı telemetri verileri ile geçmişe dönük verileri tek bir görünümde birleştirerek, görev sırasında oluşan bir anomali durumunda farklı alt sistem verilerinin korelasyonunu oluşturma olanağı sunar [13].

Open MCT, YKİ operatörünün bilişsel yükünü azaltmak amacıyla kompozit görünüm oluşturma yeteneğine sahiptir [14]. Bu özellik, operatörlerin batarya gerilimi grafiği, anlık konum haritası ve termal sensör değerleri tablosu gibi farklı veri türlerini sürükleyip bırakarak yönetimiyle tek bir çalışma panosunda birleştirmesini sağlar. Navigasyon, güç ve faydalı yük operatörleri gibi farklı görev profillerine sahip kullanıcıların, kendi bilişsel ihtiyaçlarına göre arayüzlerini anında özelleştirmesi mümkündür. Bu esneklik, özellikle karmaşık ve çoklu platform görevlerinde operatörlerin doğru bilgiye hızlı ulaşması için kritik bir avantaj teşkil eder [15].

Grafana, özellikle zaman serisi olarak biçimlendirilen verilerinin izlenmesi ve görselleştirilmesi amacıyla kullanılan açık kaynaklı bir platformdur [16]. Farklı veri kaynaklarıyla (InfluxDB, Prometheus, MQTT vb.) entegre olabilir ve çeşitli grafikler, paneller ve uyarı sistemleri sunar. Bir YKİ arayüzü olarak kullanıldığında, Grafana yüksek performanslı ve estetik açıdan zengin bir görselleştirme sağlar. Ancak Grafana, veri tabanına ihtiyaç duyduğu için telemetri ve telekomut gönderme gibi çift yönlü kontrol işlevlerini doğrudan desteklemez. Model uydu uygulamalarında, geleneksel seri port veya RF alıcısından doğrudan veri okuma ve komut gönderme yetenekleri, Grafana'nın temel mimarisine fiziksel bir eklenti veya aracı yazılım gerektirir, bu da sistemin karmaşıklığını artırır. Fiziksel sistemden alınan veriler bu platform üzerine aktarılmadan önce MQTT gibi protokoller aracılığıyla alınmalı ve alınan veriler ara platform üzerinden Grafana ortamına aktarılmalıdır.

YKİ'nin önemi, günümüzde modern çatışma ortamlarında yaygın olarak gözlemlenen maliyet-etkin sistemlerin yükselişiyle birlikte daha fazla belirginleşmiştir. Özellikle Rusya-Ukrayna Savaşı'ndan kullanılan teknolojiler [17] değerlendirildiğinde insansız hava sistemleri, savaşın benzeri görülmemiş bir ölçekte kullanıldığını ve askeri operasyonların karmaşık teknolojik üstünlükten ziyade, "yüksek hacimli, düşük maliyetli" ticari teknolojilerin hızlı adaptasyonuna uğradığını göstermiştir [18]. Ticari ve düşük maliyetli FPV sistemlerin muharebe operasyonlarına entegre edilmesi, alandaki bir operatörün, geleneksel sistemlere göre çok daha düşük bir maliyetle hedeflere karşı asimetrik bir avantaj elde etmesini sağlamaktadır [19]. Bu operasyonların başarısı, hava aracı operatörünün sistemle olan bağlantısını sağlayan ve hedefleme, rota planlama ve müdahale kararlarını hızlandıran YKİ arayüzlerinin gerçek zamanlı veri görselleştirme, komuta ve kontrol yeteneklerine doğrudan bağlıdır [20]. Bu bağlamda, yer kontrol istasyonlarının veri bütünlüğü, hız ve kullanım kolaylığı; çeşitli kritik görevlerde olduğu gibi, modern, düşük maliyetli otonom sistemlerin etkinliği [21] için de temel bir gereksinim haline gelmiştir.

Özellikle seri haberleşme altyapısı üzerinden iletilen telemetri paketlerinin doğrudan ayrıştırılması ve arayüz üzerinde görsel hale getirilmesi altyapı olarak üçüncü parti yazılım ve gereksinimleri oluşturmaktadır. Ayrıca komut gönderme, yeniden yapılandırılabilir arka uç (backend) yazılım altyapısı özelliklerinin geliştirilebilmesi hedeflenir.

Bu çalışmada geliştirilen YKİ altyapısı, Teknofest [22] kapsamında Türkiye'nin yer senkron yörünge (Geostationary orbit, GEO) üzerindeki tek uydu operatörü olan Türksat tarafından düzenlenen Model Uydu Yarışması kapsamında geliştirilen model uydu sistemiyle birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bununla birlikte geliştirilen YKİ donanımı ve yazılımı; insansız hava platformları, tarım teknolojileri, IoT cihaz grupları ve benzeri telemetri paketleri gönderen sistemler için genel, esnek ve modüler bir YKİ arayüzü ve buna eşlik eden donanım mimarisi gereksinimine çözüm oluşturmaktadır. Geliştirilen bu sistem, telemetri alımı ve komut gönderimi gibi çift yönlü ve güvenilir bir iletişim altyapısı kurmayı hedefler. Ayrıca alınan sensör verilerini (basınç, sıcaklık, konum, pil vb.) gerçek zamanlı grafikler ve harita gibi paneller üzerinde görselleştirmeyi ve veri bütünlüğünü sağlamayı hedeflemektedir. Çalışmanın ana katkısı, yaygın olarak kullanılan ticari ve açık kaynaklı çözümlerin (NASA Open MCT, Grafana) aksine, doğrudan teknik istekleri özelleştirilmiş veri toplama sistemleri ve paket yapılarına uygun, yerli ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Geliştirilen YKİ arayüz yazılımı ve donanımının ana gereksinimleri, model uydu sisteminden gelen telemetri verilerini hedeflenen kararlılık ve paket-hata oranlarında almak, işlemek ve komutları sisteme geri iletmek üzere belirlenmiştir. İki yönlü veri iletimi, belirli prosedürlere göre planlanmıştır. YKİ arayüzü, gelen telemetri verilerinin paket ayrıştırma işlemlerini sağlamalı ve bunlara bağlı olarak grafik ve diğer etkileşim panellerini güncellemelidir. Sistem mimarilerinin temelinde, bu çalışmada referans olarak kullanılan telemetri şablonu ve arayüz bilgisayarına bağlanacak olan sisteme gönderilmesi planlanan telemetri ve komut çerçevesi bulunmaktadır.

2.1. Sistem Gereksinimleri ve Tasarım Kısıtlamaları

Geliştirilen tasarımda iki yönlü veri iletimi belirli prosedürlere göre planlanmıştır. YKİ arayüzü, gelen telemetri verilerinin paket ayrıştırma işlemlerini sağlamakta ve bunlara bağlı olarak grafik ve diğer etkileşim panellerini güncellemektedir.

Tablo 1. İletilen telemetri paketindeki veriler.

Veri	Format	Örnek	Birim
Paket numarası	Integer	0013	-
Sistem statüsü	Integer	4	-
Hata kodu	Integer	01011	-
Tarih ve saat	String	22.10.2025 10:30	s
Basınç 1	Double	915.34	hPa
Basınç 2	Double	914.26	hPa
Yükseklik 1	Double	0.2	m
Yükseklik 2	Double	3.2	m
İrtifa farkı	Double	3.0	m
Dikey hız	Double	0.23	m/s
Sıcaklık	Double	32.6	°C
Pil gerilimi	Double	7.8	V
GPS enlem	Double	34.123456	-
GPS boylam	Double	28.123456	-
GPS irtifa	Double	900.5	m
Pitch	Double	180	°
Roll	Double	90	°
Yaw	Double	270	°
Kamera komutu	String	6R4G	-
IoT istasyon 1 sıcaklık değeri	Double	23.4	°C
IoT istasyon 2 sıcaklık değeri	Double	18.6	°C
Sistem kimlik no	String	683293	-

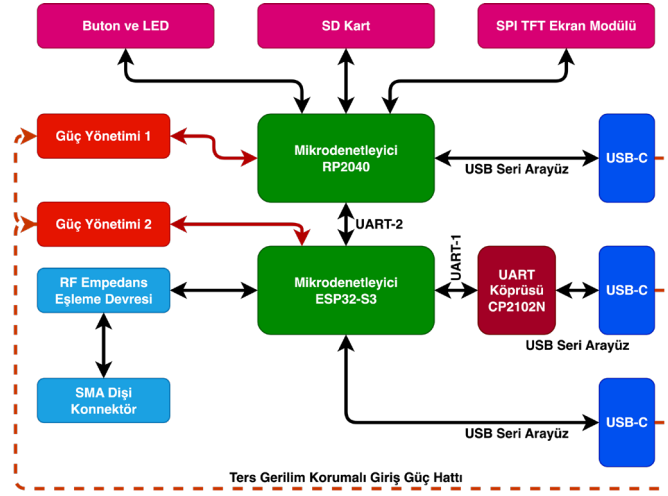
Tablo 2. İletilen komut paketindeki veriler.

Veri	Format	Örnek
Sistem komutu	Integer	03
Görev komutu	Integer	08
Kamera komutu	String	4R6G

Alınan telemetri verilerine benzer şekilde yer istasyonu, telemetri gönderici sisteme komutlar ileterek bu sistemin kontrolünü sağlamalıdır. Bu gereksinimi sağlamak üzere bir ya da birden fazla komut ya da metrik bilgi iletimi gerçekleştirilmelidir. Kullanılan komut ve metrik bilgi formatının içeriğindeki veriler Tablo 2'de örnekleriyle beraber gösterilmiştir.

2.2. Donanım Mimarisi

YKİ donanımı, gelen RF sinyallerini işleyen ve verileri bilgisayar arayüzüne ileten bir modüler yapı üzerine tasarlanmıştır. Donanım mimarisi Şekil 1’de blok diyagram olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Yer istasyonu donanımı sistem blok diyagramı.

RF alıcı modülleri, dış ortamdan gelen telemetri verilerini almak üzere, sistem farklı frekanslarda çalışan RF alıcı modüllerini (433 MHz veya 2.4 GHz LoRa/Wi-Fi) üzerinde barındırır. Gelen RF sinyali, SMA dişi konektör ve RF empedans eşleme devresi üzerinden uygun alınarak işlendikten sonra ilgili mikrodenetleyiciye iletilir.

Mikrodenetleyiciler, ana veri işleme ve protokol yönetimi ESP32-S3 yongası ile gerçekleştirilir. ESP32-S3, yüksek işlem gücü ve Wi-Fi/Bluetooth entegrasyonu sayesinde hem RF veri işleme hem de yer istasyonu PC’si ile haberleşme için kullanılır. İkinci bir RP2040 mikrodenetleyicisi ise yedekleme, SD kart veri kaydı ve SPI TFT ekran modülü ile arayüzün bazı bölümlerini yerel olarak görüntüleme gibi ikincil görevler için kullanılabilir. Bu mikrodenetleyici tercihlerindeki en önemli nedenleri arasında, güncel modeller olmaları, donanım ve yazılım geliştirme süreçlerinde açık kaynaklı olarak yeterli düzeyde kaynağa sahip olmaları ve maliyet etkin çözümler olmalarıdır.

Kullanıcı arayüzü ve kayıt, buton ve LED’ler temel durum göstergeleri ve manuel müdahaleler için kullanılır. SD Kart modülü, gelen tüm telemetri verilerinin arayüz PC’sinden bağımsız olarak yerel kaydını sağlar.

Bilgisayar bağlantısı, verilerin bilgisayara aktarılması için evrensel asenkron alıcı-verici (universal asynchronous receiver-transmitter, UART) köprüsü (CP2102N) kullanılır. Bu yonga, mikrodenetleyicilerin seri iletişimini (UART) standart bir USB-C bağlantısıyla bilgisayarın sanal seri portuna dönüştürür. Güç yönetimi 1 ve 2 modülleri sistemin kararlı çalışması için gerekli gerilim regülasyonunu sağlar.

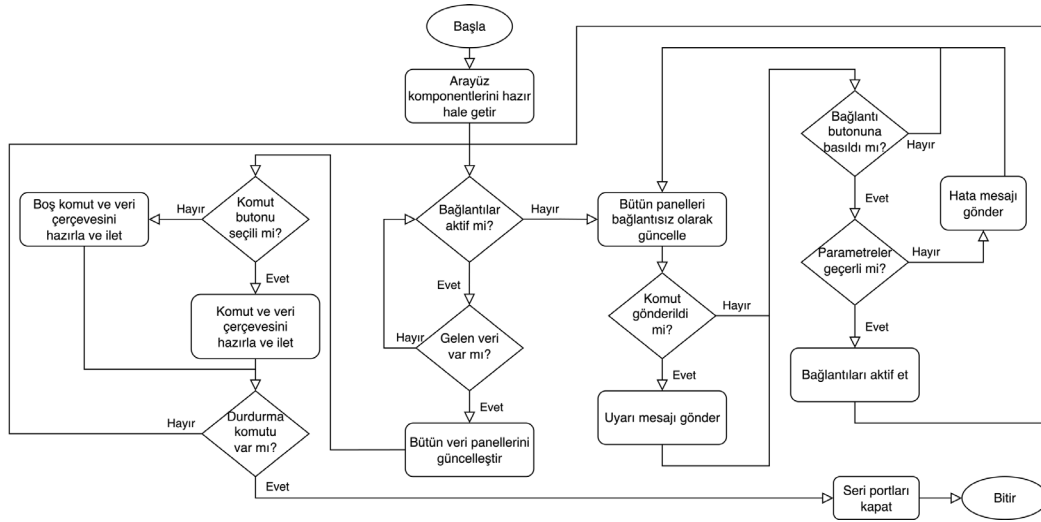
2.3. Haberleşme Protokolü ve Yazılım Yığını

Geliştirilen yer istasyonu yazılımı, Microsoft’un .NET platformu ve Windows Forms arayüz kütüphanesi kullanılarak C# programlama diliyle tasarlanmıştır. Bu tercih, özellikle Windows işletim sistemlerinde kararlı bir performans ve hızlı bir geliştirme süreci sağlamaktadır. Arayüzün tasarımı ve grafiksel yetenekleri Windows Forms bileşenleri kullanılarak, hedeflenen saniyede bir (1 Hz) veri akışını destekleyecek şekilde optimize edilmiştir. İletişim protokolü, temel olarak basit, paket tabanlı bir UART/seri port protokolüdür.

Yazılım akışı, operatörün minimum etkileşimiyle sistemi kararlı tutmaya odaklanmıştır.

- Başlatma: Uygulama açıldığında, arayüz bileşenleri (grafikler, düğmeler, paneller) hazır hale getirilir.
- Bağlantı yönetimi: Kullanıcı “bağlantı” butonuna bastığında, girilen parametrelerin (port, baud rate) geçerliliği kontrol edilir. Geçerliyse *SerialPort.Open()* ile bağlantılar aktif edilir. Parametrenin hatalı girilmesi veya portun meşgul olması gibi hata durumlarında, kullanıcıya “hata mesajı gönder” adımıyla geri bildirim yapılır.
- Veri işleme ana döngüsü: Bağlantılar aktif olduğunda, sistem sürekli olarak “gelen veri var mı?” kontrolünü yapar. Veri varsa, ayrıştırılır ve “bütün veri panellerini güncelleştir” adımı tetiklenir. Bu, YKİ’nin gerçek zamanlı görselleştirme yükünü temsil eder.
- Komut yönetimi: Kullanıcı tarafından bir komut girildiğinde, “komut butonu seçili mi?” kontrolü sonrası, komut çerçevesi hazırlanır ve “iletim” sağlanır. “durdurma komutu var mı?” kontrolü ise, sistemin acil durum kapatma veya görev sonlandırma komutlarına anlık tepki verebilmesi için kritik bir öncelik noktasıdır.

Bu entegre mimari yaklaşımı sayesinde, donanımsal veri toplama altyapısı ile kullanıcı arayüzü (Windows Forms) arasında minimum gecikme ile anlık bilgi akışı sağlanması hedeflenmiştir. Benzer şekilde çeşitli platformlara entegre edilebilir optimizasyon uyumlu yazılım ve donanım mimarisi oluşturulmuştur.



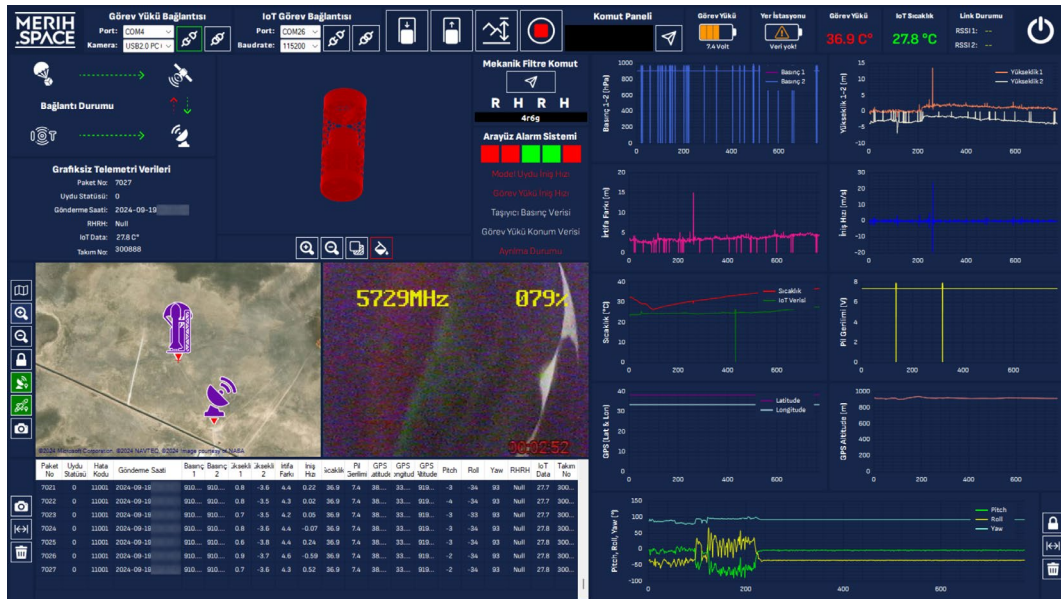
Şekil 2. YKİ arayüz yazılımı genel akış şeması.

2.4. Veri Alışverişi Protokolü ve İletişim Altyapısı

YKİ'nin temel iletişim bileşeni, .NET ortamında bulunan *System.IO.Ports.SerialPort* sınıfıdır. Bu yapı, veri bütünlüğünü ve gecikme süresini optimize etmek için olay güdümlü (event-driven) bir mimari ile çalışır. Gelen veri (telemetri): YKİ, *SerialPort* bileşenini kullanarak UART portunu sürekli dinler. Gelen veri akışı, *SerialPort.DataReceived* olayı tetiklendiğinde işlenir. Veri paketleri, başlangıç ve bitiş belirteçleri (örneğin '\$', '/n' ve '#') ile çerçevlenmiştir. Alınan ham veriler, C# dilinin ayrıştırma metodları (*String.Split()*, *double.Parse*, vb.) kullanılarak Tablo 1 ile belirtilen yapıya uygun olarak ayrıştırılır. Arayüzün stabilizasyonu için, grafik ve panel güncellemeleri *Invoke* metoduyla güvenli bir şekilde ana iş parçacığına yönlendirilir. Giden veri (komutlar): Komut paneli ya da komut butonları aracılığıyla bir komut gönderildiğinde, yazılım bu komutu önceden tanımlanmış Tablo 2 ile belirtilen komut çerçevesine göre paketler ve *SerialPort.Write()* metodu ile sisteme geri iletir.

2.5. YKİ Arayüzü

Geliştirilen YKİ yazılımı, Şekil 3'te gösterilen arayüzün tasarımı ve grafiksel yetenekleri Windows Forms bileşenleri ve bu bileşenlere ait özelleştirme panellerinin optimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca telemetri verilerinin yanında iletilen anlık görüntüleri de gözlemek üzere kamera bölümü de bulunmaktadır. Kamera paneli temelde kamera seçimi sonucunda anlık görüntü aktarımı sağlamaktadır.



Şekil 3. YKİ yazılımı arayüzü.

Modern arayüz tasarımlarının geliştirilmesinde en önemli tasarım kriterleri arasında kullanım kolaylığı, operatör etkileşimleri ve anlık takip edilebilirlik ön planda bulunmaktadır. Bu gereksinimleri karşılayacak olan tasarım yaklaşımında, arayüz üzerindeki her bir panelin belirli tasarım kriterlerine göre yerleşimi sağlanmıştır.



Şekil 4. Arayüz tasarımı üst paneli.

Kullanıcı ya da operatörün arayüzle ilk etkileşim kuracağı kısım, Şekil 4’te gösterilen bağlantı ve kontrol panelidir. Bu panelin tasarımında bağlantı yönteminin girdi parametreleri önemlidir. Çalışmada tercih edilen UART haberleşme yönteminden dolayı bu bölümde bu haberleşme protokolünün girdi parametresi olan COM portu bilgisi eklenmiştir. Standart olarak UART protokolünde haberleşme başlatılırken girdi oluşturulan parametreler arasında COM port adresi, baud-rate değeri, veri bitlerinin sayısı, durdurma bitlerinin sayısı, eşitlik biti gibi parametreler de bulunur. Değişken olabilen COM port adresi ve baud-rate değerleri haricindeki parametreler sabit kullanıldığı için arayüz üzerine dahil edilmeden arka uç yazılımında sabit olarak atanmıştır. Benzer şekilde uygulamada baud-rate değeri de değiştirme gereksinimli olmadığı için bu parametre değişimi de sabit olarak ayarlanmıştır. Bu yaklaşımla kullanıcının en elverişli etkileşimi sağlaması hedeflenmiştir. Ek olarak arayüz üzerinde görüntülenecek olan canlı video aktarım işlemi için ilgili görüntü aktarım cihazı, mevcut kamera cihazlarının listelediği açılır kutucuk üzerinden seçilebilir. Bağlantı kurma aşamasının tamamlanması için de bağlantı kurma ve bağlantı kesme butonları bulunmaktadır. Bu butonlar tek bir buton arayüzü üzerinden geçiş planlı olarak da tasarlanabilir. Ancak arayüzün kullanıldığı ortama da bağlı olarak kullanıcının hata sonucunda tekrarlı basmasını önlemek amacıyla iki ayrı tasarım tercih edilmiştir. Bağlantılar başladığında bağlantı aktif etme butonu yeşil renkte gözlemlenmekte ve bağlantı kesildiğinde ya da olası bağlantı kesintilerinde bağlantı durdurma butonu kırmızı renkte belirginleşmektedir. Bağlantının kurulmasının ardından görev ya da test sürecine bağlı olarak operatörün kontrol etmesi gereken kayıt ve görev seçenek butonları bulunmaktadır. Bu butonlardan kayıt butonları, komut butonlarının yanında kayıt butonu bulunmaktadır. Bu buton aracılığıyla akıştaki telemetri verileri ve anlık video görüntüleri yazılımda belirlenmiş sabit bir dizine kayıt edilebilir. Yazılım ve arayüz özelleştirmelerinde kayıt yolunun değiştirilebilir olması için sorgu ekranı da uygulanabilmektedir ancak tasarımda sadelik yaklaşımı nedeniyle bu aşamada da kayıtların mevcut bilgisayar üzerinde bir klasör içerisine eklenmesi tercih edilmiştir. Kayıtlar, arşivleme ve takip edilebilirliği sağlamak açısından belirli isimlendirme prosedürünün yanında zaman damgalı isimlendirme ile gerçekleştirilmektedir. Görev süreçlerinin simüle edilmesi ve ana sistem üzerinde hata ayıklama özelliklerini destekleme amacıyla geliştirilen görev ve simülasyon modları arasındaki geçişi sağlayan komut özelliği de bu panele entegre edilmiştir. Bu seçenekler, telemetri verilerinin canlı olarak alınması ya da daha önceden kaydedilmiş telemetri verilerinin simüle edilmesine dayanmaktadır. Görev durumlarının kurtarma moduna geçişine kadar değişimiyle belirlenen telemetri paketi içeriğinde bulunan statü değeri de görev sıfırlama komutuyla sıfırlanabilir. Benzer şekilde ana sistem üzerinde gerçekleştirilen kritik görevlerin tetiklenmesi için de komut butonları üst panel üzerinde bulunur. Bu komut butonları sık kullanılan seçeneklerdir. Daha az kullanılan ya da deneysel olarak tercih edilen komut paketlerinin gönderilmesi için de metin girdili komut gönderme seçeneği bulunmaktadır. Bu sayede ana sisteme gönderilecek metin tabanlı kodlanmış komutlar da iletilebilir. Komut panelinin sağında ise genel sistem metrikleri görsel düzeyde hızlı anlaşılabilir olarak yer almaktadır. Pil durumunun pil görseli üzerinden takibi ya da sıcaklık ve RF alınan sinyal gücü sayısal olarak renklere duyarlı gözlemlenir.



Şekil 5. Bağlantı durumu, metrik olmayan telemetrikler ve üç boyutlu simülasyon paneli.

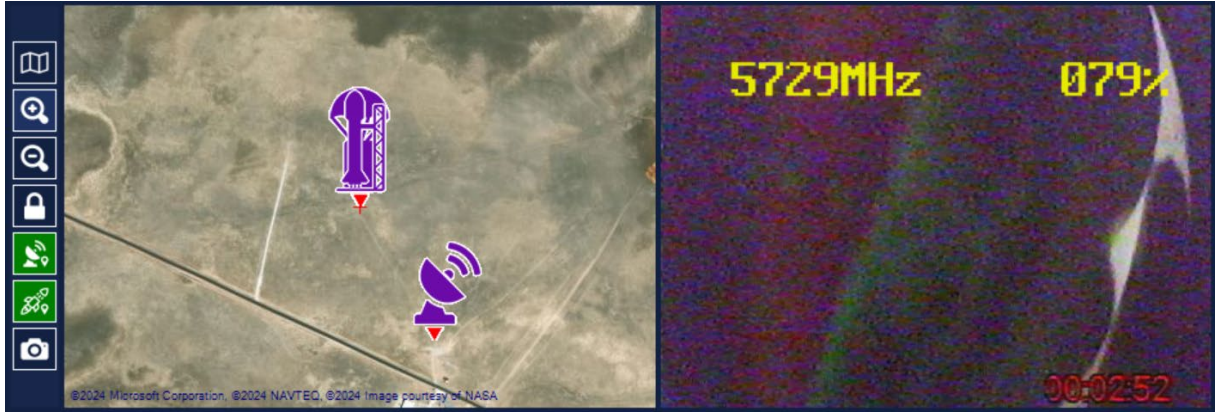


Şekil 6. Arayüz alarm sistemi paneli.

Sistemin bağlantı ve ana kontrollerinin sağlandığı üst bölüm dışında kalan aktif alanlar metrik verilerin değerlendirilmesi ve gözlemlenmesi için paneller halinde yerleşimde tasarlanmıştır. Bu tasarım, Şekil 5’te sunulmaktadır. Bu panellerden bağlantı durumu bilgisini gösteren panel sayesinde telemetri verilerinden elde edilen çıkarımlara göre sistemlerin anlık ilişkisi ve bağlantı durumu takip edilebilir. Örneğin; görev yükü sistemini taşıyan taşıyıcı sistemden görev yüküne iletilen “basınç 2” verisi, görev yükü üzerinde işlenerek “yükseklik 2” ve “irtifa farkı” metriklerini de oluşturmaktadır. Elde edilen bu veriler de telemetri paketine dahil edilerek yer istasyonuna aktarılmaktadır. Görev yükü sistemi üzerinde taşıyıcı sistemden veri alınmadığında bu metrikler tanımlanamayan değer olarak gruplandırılabilir. “NaN” veya “Null” gibi boşluk ifade eden veriler telemetri paket formatında ilgili alana yazılır. YKİ yazılımında taşıyıcının sistemle olan bağlantı durumuna yönelik karar

döngüsünde bu verilerin belirtilen değerlerde olması durumunda görev yükü ve taşıyıcı arasında bağlantı durumunun negatif olduğu sonucuna ulaşılır. Geçerli metrik değerlerde bu durum pozitifdir. Görev yükü ile yer istasyonu arasında bağlantı sorgusunun parametresi olarak da gelen telemetri verisi değerlendirilebilir. Burada uygulanan diğer bir yaklaşım da yer istasyonu ve görev yükü bağlı olmadığında görev yükü ve taşıyıcı sistemin bağlantı durumunun kesin olarak bilinmemesi durumunun uygulanmasıdır. Bu olayın gerçekleşmesi durumunda taşıyıcı görev yükü bağlantısı belirsiz olarak ilgili panel üzerinde görsel olarak belirtilebilir. Bağlantı durumu panelinin hemen altında mevcut bağlantıya yönelik telemetri paketi içerisinde elde edilen paket verileri yer almaktadır. Bu verilerin içeriğinde alınan son paketin numarası, alınan pakete yönelik kimlik numarası, paket zaman bilgisi gibi değerleri içerir. Bu gibi veriler grafik üzerinde çizdirilemeyen ya da çizdirilmesi anlamsız olan verilerdir. Bu veriler ve bağlantı durumunu gösteren panellerin sağ tarafında ise üç boyutlu sistem modellemesi bulunmaktadır. Üç boyutlu modelleme ile insansız hava platformunun telemetri paketinden alınan veriye göre anlık duruş bilgisi eksenel olarak simüle edilebilir. Geliştirilen sisteme ait üç boyutlu çizim modeli çeşitli uzantılardaki formatlarda (“STL”, “STEP” vs.) simüle edilebilir. Bu simülasyon paneli sayesinde eksenel veriler anlamlandırılabilir.

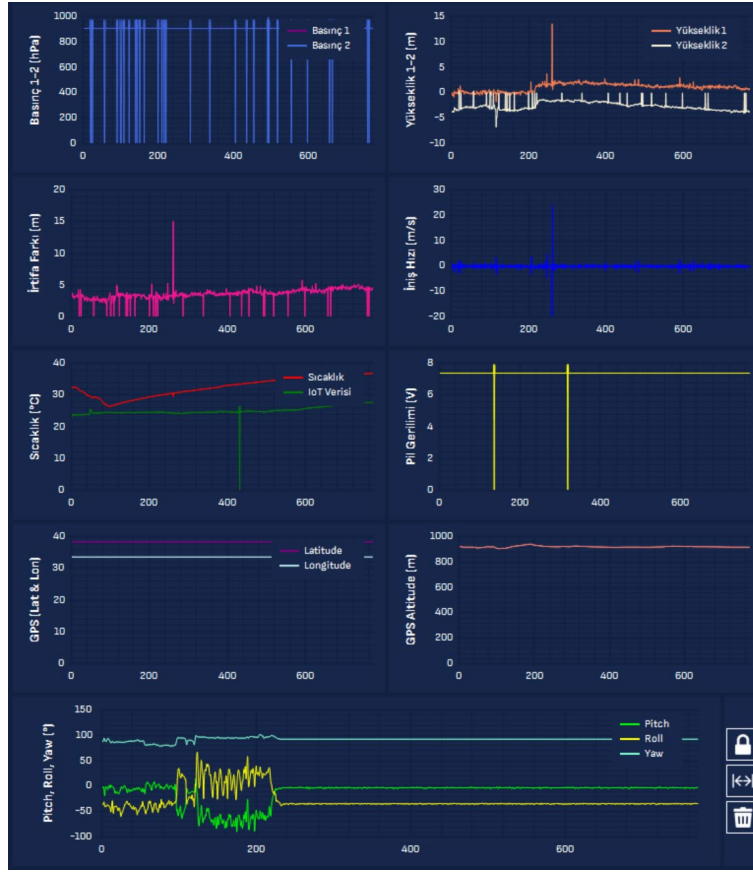
Geliştirilen arayüz ortamında uygulanan ARAS (arayüz alarm sistemi) paneli Şekil 6’da gösterilmiştir. Bu panel, telemetri paketi içerisinde iletilen sistem hata kodlarını anlamlandırmak ve kullanıcıyı bilgilendirmek üzere tasarlanmıştır. Bu tasarımda altı basamaklı hata kodunda her bir basamağın “0” ya da “1” olma durumlarına bağlı olarak uyarı işareti ve benzer etkileşimler oluşturulur. Sistemde oluşan otonomi arızaları gibi hatalarda ilgili komutlar el yöntemiyle uygulanarak ana sisteme iletilir ve görev aşamalarının hatasız devam etmesi sağlanır.



Şekil 7. Harita ve canlı görüntü paneli.

Şekil 7’de gösterilen harita ve kamera panelleri, tasarımda görsel etkileşimlerine bağlı olarak yan yana konumlandırılmıştır. Anlık kamera görüntüsünün gözlemlenmesinin yanında sistemden alınan telemetri verisinin içeriğindeki konum paketleri enlem ve boylam değerlerinin haritaya entegrasyonu ile gözlemlenebilir. Harita paneli tasarımında uygulanan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Mevcut harita türü, ana sistemin bulunduğu konuma göre kullanıcıya yeterli bilgi ya da görsellik sağlama konusunda verimsiz olabilir. Bu nedenle kullanım ve algılama senaryosuna bağlı olarak farklı harita sağlayıcılarının farklı türlerdeki harita kaynakları arasında geçiş seçeneği yazılım üzerinde uygulanmıştır. Bu yaklaşımda kullanıcı “Google”, “Microsoft” ve “Open Street Map” gibi sağlayıcıların uydur görünümü, sokak görünümü veya hibrit görünüm seçeneklerindeki harita görüntülerini tercih edebilir. Harita seçeneklerinin değiştirilebilir olması, lisans gereksinimlerine göre uyarlanabilir bir çözüm olarak da değerlendirilebilir. Ticari kullanımlarda, Google gibi sağlayıcılara ait harita servislerini kullanmak için ilgili uygulama programlama arabirimi (application programming interface, API) anahtarı kullanılarak ücretlendirme yapılır. Belirli sınırlara kadar ücretsiz sunulabilen bu erişim yöntemleri ticari olduğunda önemli maliyetler oluşturmaktadır. Çalışmada ise, geliştirilen ortam ve kullanım senaryosuna bağlı olarak ücretsiz çözüm olması nedeniyle ticari lisans gerektiren yöntemler yerine gereksinimleri yeterli düzeyde karşılayacak harita görsellerini (tile) kullanan paketler tercih edilmiştir. Çalışmada geliştirilen arayüzün uygulamasının yapıldığı model uydur yarışmasında operasyonel verimliliği arttırmak ve kurtarma senaryolarına bağlı olarak etkili konum takibi yapabilmek adına fırlatma rampası ve yer istasyonu gibi konumların da haritada işaretlenebilir olmasını sağlayan butonlar tasarıma dahil edilmiştir. İşaretlenen bu sabit konumların yanında hareketli olan görev yükünün anlık konumu haritada kilitli olarak ortalanma yöntemiyle takip edilebilmekte ya da sabit harita çerçevesi içerisinde işaretçinin değişimleri gözlemlenebilmektedir. Operasyon sonunda kurtarma görevi gerçekleştirilirken kurtarma bölgesinin uydur görüntüsünün kurtarma ekibine iletilmesi için de anlık harita görünümünün fotoğraf kaydını sağlayan özellik tasarıma dahil edilmiştir.

Ana sistem tarafından iletilen paketler, metrik değerleri içeriğinde barındırır. Bu değerlerin paket sayısı artışıyla birlikte gözlemlenebilmesi ve anlamlandırılması için Şekil 8’de gösterilen canlı grafikler tercih edilir. Grafik panellerin tasarımında eksen aralıkları, grafik renkleri, mühendislik değerleri, metrik çiftleri gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Arayüzün bütünsel veri yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda, diğer bölümlerde olduğu gibi grafiklerde kullanıcı ya da operatör için etkili görselleştirme yöntemleri kullanılmalıdır.



Şekil 8. Metrik telemetri verileri için grafik çizim paneli.

Bu kapsamda grafiklerde belirli değer aralıklarında bulunan sıcaklık değerinin ilgili uçuş koşullarında 20-50 arasında olması gibi metrikler için eksenlerin ilgili metrikler arasında sabit tutulması, değişkenliği yüksek değerlerde ise eksen sınırlarının veri değişimine göre önceden belirlenen eşik değer ile artması planlanmıştır. Benzer şekilde zamana bağlı yatay ekseninde de bir buton aracılığıyla geçiş sağlanabilen tüm paketler ve belirli sayıdaki son paketlerin gözlemlenmesi sağlanmıştır. Belirli sayıdaki son paketlerin gözlemlenmesi sürecinde yazılım yığınınında bu işlemin algoritmasını oluşturan temel matematiksel yaklaşım (1) ve (2) ile gösterilmiştir.

$$T_{\text{son}} = P_{\text{son}} \quad (1)$$

$$T_{\text{ilk}} = P_{\text{son}} - n, \text{ eğer grafikte sadece son } n \text{ adet veri görüntülenecekse} \quad (2)$$

$$T_{\text{ilk}} = 0, \text{ eğer grafikte bütün veriler görüntülenecekse} \quad (3)$$

Burada T_{son} ve T_{ilk} grafik üzerinde en son ve ilk gösterilecek pakettir. Standart olarak bu veri son alınan paket olan P_{son} değeridir. Grafik üzerinde görev süresince alınan bütün değerler gözlemlenmek istenirse başlangıç değeri için (3)'de belirtilen minimum değer kullanılır. Yalnızca tercih edilen son n adet verinin gözlemlenmesi için de (2)'de gösterilen minimum değer yaklaşımı tercih edilir.

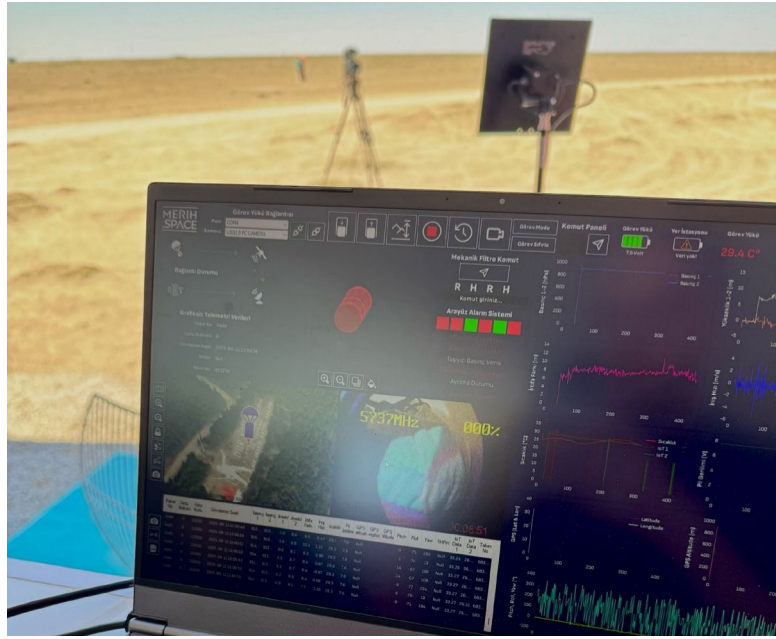
3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Geliştirilen YKİ yazılımının test edildiği platforma yönelik bilgiler bu başlıkta değerlendirilmiştir. Ayrıca, çalışmanın geliştirilme sürecinde takip edilen hata ayıklama senaryoları ve gerçek ortamdaki etkileri değerlendirilmiştir.

3.1. Deneysel Düzenek ve Değerlendirme Metodolojisi

Çalışmada geliştirilen yer istasyonu donanımı ve arayüzü, 2024 ve 2025 yıllarında Hisar Atış ve Test Merkezi Aksaray / Türkiye konumunda gerçekleştirilen iki ayrı model uçuşu ile görev gerçekleştirmiştir. Görev süreçlerinin yanında toplam süresi 100 saatten daha uzun süreli olarak ayrıntılı testler uygulanmıştır. Kesintisiz olarak maksimum 6 saatlik çalışma ve veri toplama testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da 2025 yılındaki görev alanına ait yer istasyonu düzenek görüntülenmektedir.

Gerçekleştirilen görev ve yapılan testlerde gönderilen komutlarda, 1 Hz değerindeki telemetri iletim yapısına uygun olarak 1 Hz. değerinde komut iletimi sağlanmıştır. Bu süreç içerisinde gelen telemetri verisine bağlı olarak geri dönüş süresi, paket boyutu ve modül gecikmeleriyle birlikte 25 milisaniye olarak ölçülmüştür. Bu değer, sekanstaki bir saniyelik döngü içerisinde gelen telemetri verisine bağlı olarak değerlendirmelerin ve karar



Şekil 9. Deneysel görev uygulama ortamı.

döngülerinin gerçekleşmesiyle birlikte doğru zamanda komuta bağlı eylemlerin gerçekleşmesine olanak sağlamıştır. Komut gecikme süresinin hesaplama ve ölçümü, test düzeneği üzerinde GPS modüllerinden alınan gerçek zamanlı saat verilerinin referansıyla sağlanmıştır. Bu süre, komutun yer istasyonu donanımı üzerinden gönderime başladığı an ve alıcı istasyona ulaştıktan sonra komut uygulama (execution) sürecinin hemen öncesine kadar geçen zamanı belirtmektedir. GPS tabanlı referans yapısında, alınan anlık GPS saati bilgisinin yanında anlık sinyal alımında tetiklenen PPS (pulse per second) pini de referans olarak kullanılmıştır.

Paket hata oranlarının minimize edilmesi için ise gelen telemetri paketlerinin başlangıç ve bitiş değerlerinin seri haberleşme üzerinde kestiriminin doğru bir şekilde sağlanması için paketlerde başlangıç ve bitiş belirteçleri (flag) belirlenmiştir. Bu belirteçlere göre alınan paketlerdeki hata durumları, YKİ bilgisayarının mevcut yüküne de bağlı olarak yaklaşık %0,5 olarak raporlanmıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen %0,5'lik paket hata oranı değeri, sistemin operasyonel sürdürülebilirliği açısından "başarılı" olarak değerlendirilmiştir. Teknik şartnamelerde ve benzer çalışmalara göre, düşük maliyetli insansız sistemler ve model uydü telemetri linkleri için %1'e kadar olan paket kayıpları, veri setinin bütünselliğini bozmayan ve kontrol döngüsünü aksatmayan kabul edilebilir bir sınır olarak görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen değerlerin %1 eşliğinin altında kalması, önerilen modüler donanım mimarisinin ve hata ayıklama algoritmalarının veri iletim güvenilirliğini sağladığını kanıtlamaktadır.

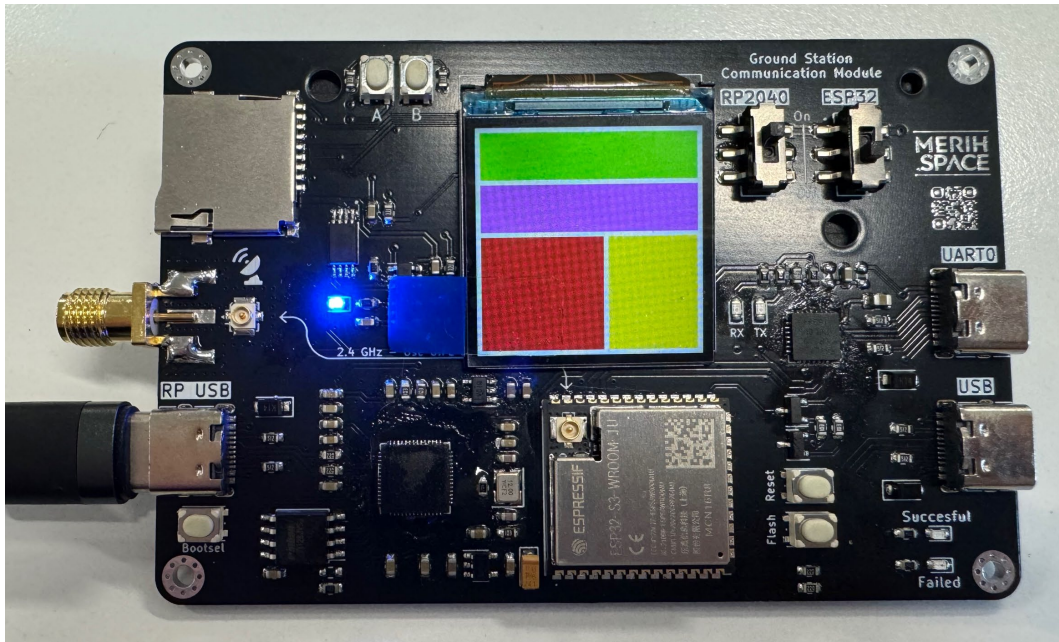


Şekil 10. Yer istasyonu bilgisayar, iki adet IoT istasyonu ve uçuş sistemi.

Test süreçleri ve uçuş görevinin gerçekleştirildiği süreçlerde yer istasyonu donanım ve yazılımlarıyla bağlantılı olarak iki adet IoT istasyonu, görev yükü sistemi, taşıyıcı sistem ekipmanları kullanılmıştır. 2024 yılında

gerçekleştirilen görevde bir adet IoT istasyonu yer istasyonu bilgisayarına bağlanarak sıcaklık verisini yer istasyonu üzerinden görev yüküne iletmıştır. Görev yüküne iletilen bu veri daha sonra telemetri paketine dahil edilerek tekrardan yer istasyonuna gönderilmiştir. Bu sayede uydu haberleşmesinde uplink ve downlink olarak bilinen bağlantı senaryoları deneysel olarak uygulanmıştır. 2025 yılında gerçekleştirilen görevde ise yer istasyonundan belirli mesafe uzaklıktaki Şekil 10 ile görüntülenen iki adet IoT istasyonu, ölçtüğü sıcaklık değerlerini sabit konumlu yönlü antenler ile görev yüküne iletmıştır. İletilen değerler görev yükü üzerinde telemetri paketine dahil edilerek yer istasyonuna aktarılmıştır. Yer istasyonu altyapısında ise telemetri ve komut için 2.4 GHz frekans bandında çalışan yönlü antene sahip özgün donanım ve video aktarımı için 5.8 GHz frekans bandında çalışan video alıcısı YKİ bilgisayarına USB portları üzerinden bağlanmıştır.

Şekil 1 ile sistem blok diyagramı gösterilen yer istasyonu donanımı Şekil 11’de görülmektedir. Bu donanım, ilgili blok diyagram ve sistem gereksinimlerine göre baskı devre kartı üzerinde tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiş ve görevlerde kullanılmıştır. Donanım üzerinde bulunan SMA tipi koaksiyel bağlantı noktası üzerinden bağlanan yönlü yer istasyonu telemetri ve komut anteni sinyal iletiminde rol alır. Üç farklı USB bağlantı noktasından iki tanesi (UART0 ve USB) ise yer istasyonu arayüzü ile veri akışını sağlamak amacıyla kullanılır. Donanım üzerinde bulunan ikinci mikrodenetleyici ise üçüncü USB bağlantı noktası üzerinden programlanabilir ve ekran modülü gibi çere birimleriyle etkileşim oluşturulabilir. Geliştirilen bu donanım, telemetri verilerini güvenli bir şekilde alma, modüler ve bütünlük bir yapı oluşturma hedefleriyle tasarlanmıştır.



Şekil 11. Yer istasyonu fiziksel donanımı.

3.2. Hata Ayıklama ve Önleme Yaklaşımları

Arayüz arka uç yazılımının geliştirilme süreçlerinde çeşitli hata senaryoları gözlemlenmiştir. Bu senaryolardan ilki bağlantı durumunun değişmesine yönelik olan senaryolardır. İlk prototip üzerinde uygulanan testlerde bağlantı kurulduktan sonra sistemde oluşan fiziksel kesintiler (interrupts) bağlantının hata durumuna düşmesine ve sistemin gelişmesine neden olmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak mevcut COM portu üzerinden yapılan haberleşme her döngüde aktifliği sorgulanarak kontrol edilmektedir. Eğer haberleşme aktif değilse sistemin güvenli olarak pasif duruma getirilmesi, panellerin “veri yok” etiketleriyle güncellenmesi ve sistemin yeni bağlantı için hazır hale getirilmesi sağlanmıştır.

Panel ve etkileşimlerin tasarımında her ne kadar kullanıcı dostu arayüz eğilimleri tercih edilse de bu panellerin fazla sayıda olması takip edilebilirliği olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Gerçekleştirilen görevlerde gözlemlenen etkileşim hatalarından birisi, model uydu sisteminin inişi sırasında taşıyıcı ve görev yükü modüllerinin otonom ayrılması durumunda komut sistemi üzerinden bu işlemin sağlanmasıdır. Otonom ayrılmayan sistem, ARAS panelinde ilgili uyarı mesajını oluşturulabilir. Ayrıca sistemin mevcut irtifası, telemetri tablosunda ve grafiklerde görüntülenebilir. İlgili irtifada ayrılma durumu negatif olarak gözlemlenerek ayrılma komutu gönderilebilir. Yaklaşık 5 ile 10 saniye arasında gerçekleşen bu süreçte tablo ya da grafik üzerinden irtifa takibi sağlamak ve ARAS panelini takip etmek takip edilebilirlik açısından uygun değildir. Bu soruna çözüm olan yaklaşımda bu parametreler arka uç yazılımda sorgulara dahil edildikten sonra koşul oluştuğunda ilgili komut butonunun görsel uyarı oluşturması bulunur. Sağlanan koşula göre saniyede bir değişen uyarı sinyali buton etrafında renk değişimi olarak belirtilebilir. Ayrıca sesli uyarı da arayüz yazılımına dahil edilebilir.

Sistem, uygulanan testlerde bağlantı mevcut olduğu sürece kesintisiz olarak çalışabilir. Ancak maksimum çalışma süresini etkileyen en önemli etken, verilerin sürekli grafik ve tabloya eklenerek birikme sonucu sistemde önbellek

ve grafik yüklerini arttırmasıdır. Bu sorun nedeniyle yaklaşık 6 saatlik veri iletimi sonrasında telemetri tablosu arayüz tasarımı verimsiz çalışmakta ve grafiklerde anlamlandırma açısından eksikler oluşmaktadır. Bu sorunu önlemek adına sistemde belirli eşik değerler ayarlanabilir. Bu eşik değer saat bazlı ya da paket sayısı bazlı uygulanabilir. Saat bazlı yaklaşımda alınan paket sayısı fark etmeksizin belirlenen saat süre öncesindeki veriler tablodan ve grafiklerden kaldırılabilir. Örneğin son 8 saat alınan verilerde 6 saatlik eşik değer varsayımında ilk iki saate ait veriler silinecektir. Ancak bu yaklaşım, son 6 saat içerisinde veri alınmamış olsa bile gerçekleşir. Paket sayısı tabanlı uygulanan eşik değerinde ise sistemde kesintilere neden olacak büyüklükteki minimum paket sayısı tercih edilebilir. Bu yöntemde sistem bağlantısı belirli aralıklarda pasif duruma getirildiği varsayıldığında bu eşik değer elde edilene kadar geçen süre zaman sınırı gözetmez. Bu sayede arayüz, verileri temizlemeden günler sürebilecek şekilde aktif kalabilir. İlgili paket sayısına ulaşıldığında ise paketler temizlenir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, model uydu ve benzeri telemetri paketleri gönderen sistemler için esnek, düşük maliyetli ve yerel bir yaklaşımla geliştirilmiş, Windows Forms .NET tabanlı bir YKİ arayüzü ve buna eşlik eden donanım mimarisi sunmuştur. Geliştirilen YKİ, zorlu görev koşullarında hayati öneme sahip olan çift yönlü iletişimi, güvenilir paket ayrıştırma ve gerçek zamanlı veri görselleştirmeyi tek bir platformda birleştirme hedefine ulaşmıştır. Elde edilen bulgular, sistemin tasarım aşamasında belirlenen temel operasyonel gereksinimleri başarıyla karşıladığını kanıtlamıştır; bu başarı, düşük paket kayıp oranı ve minimum komut gecikme süresi gibi kritik performans göstergeleriyle doğrulanmıştır. Bu metrikler, operatörün OODA döngüsünü hızlandırarak operasyonel farkındalığı artırmada kritik rol oynamıştır.

En önemli katkı olarak, YKİ tasarımı Model Uydu Yarışması'nın teknik isteklerine uygun olarak geliştirilmiş olsa da ortaya çıkan yazılım ve donanım mimarisinin modüler esnekliği, projenin uygulama alanını genişletmektedir. Geliştirilen bu bütünleşik altyapı, telemetri paketi yapısına hızlı adaptasyon yeteneği sayesinde, insansız hava platformları, tarım teknolojileri, IoT cihaz grupları ve genel uzaktan algılama platformları gibi farklı telemetri sistemlerine kolayca entegre edilebilir; böylece çok geniş bir uygulama yelpazesine ölçeklenebilir yerli ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır. Gelecek çalışmalar, YKİ'nin uzun süreli görevlerdeki performansını artırmak amacıyla, veri birikimi sorununa çözüm olarak paket sayısı tabanlı eşik değerlerin uygulanmasına ve otonom karar destek modüllerinin (anomali tespiti ve otomatik komut gönderme) entegrasyonuna odaklanacaktır. Verilerin bellekte tutulması ve birikme durumlarının önlenmesi amacıyla değerlendirilebilecek başlıklar arasında, verilerin belleğin belirli oranlarıyla bağlantılı olarak sistem kesintilerinin önlenmesi sağlanabilir. Eşik sınır öncesinde kalan eski veriler, bellekten ve grafik arayüzden kaldırılarak diskte saklanmaya devam edilebilir. Bu yaklaşımla birlikte bu çalışmada yaklaşık 6 saat olarak gözlemlenen kesintisiz görev ve kayıt süreleri, uç sınır olmadan sağlanabilir.

Yazar Katkıları

Bu çalışmanın teknik altyapısını oluşturan proje çalışması, projenin geliştirildiği yarışma platformunda aktif görev alan yazar İbrahim Yeşil tarafından oluşturulmuştur. Saha çalışmaları ve hata ayıklamaları kapsamında İkbâl Çakır görev almıştır. Proje platformunun etik ilkelerine ve kurallarına bağlı olarak yazar Şekip Esat Hayber, proje geliştirme süreci ve makalenin yazım sürecinin sağlanmasının yanında bilgi aktarımı ve akademik destek sağlamıştır. Mehmet Güçyetmez, projenin literatür çalışmalarında alternatif platformların değerlendirilmesi ve entegrasyonu hakkında bilgi aktarımı ve akademik destek sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makalenin yazarları, bu çalışmanın yürütülmesi ve yayımlanması sürecinde herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedirler.

Teşekkür

Çalışmanın teknik çıktılarının oluşturulması sürecinde Türkiye'nin teknoloji alanında bağımsızlığını kazanmak üzere oluşturulan Teknofest ekosisteminde emeği geçenlere; proje platformunun ve teknik isteklerinin oluşturulmasını sağlayan Türksat çalışanlarına; proje gerçekleştirme ve uçuş görevlerinde aktif rol alan ekip üyeleri değerli Burak Öztürk'e; akademik çıktıların oluşturulması sürecinde desteklerini esirgemeyen Bursa Uludağ Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Ferudun Yılmaz'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- [1] E. Adamopoulou and E. Daskalakis, "Applications and technologies of big data in the aerospace domain," *Electronics*, vol. 12, no. 10, p. 2225, May 2023.
- [2] D. N. Serpanos and M. Wolf, *Internet-of-Things (IoT) Systems: Architectures, Algorithms, Methodologies*. Cham: Springer, 2018.
- [3] B. Kayayurt, I. Yayla, A. Yapici and C. Küçükoguz, "Ground control station avionics software development in ANKA UAV," 2011 IEEE/AIAA 30th Digital Avionics Systems Conference, Seattle, WA, USA, 2011, pp. 5B6-1-5B6-7.

- [4] H. Slaney and T. Stecko, "Enhancing Ground Station Visualization Capability in the Space Flight Domain," thesis, Digital WPI, Lexington, 2024.
- [5] J. Lachter, S. L. Brandt, V. Battiste, M. Matessa, and W. W. Johnson, "Enhanced Ground Support: Lessons from work on Reduced Crew Operations," *Cognition, Technology & Work*, vol. 19, no. 2–3, pp. 279–288, Jul. 2017.
- [6] M. E. Aydemir, R. C. Dursun, and M. Pehlevan, "Ground station design procedures for CANSAT," 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), pp. 909–912, Jun. 2013.
- [7] A. Poma, A. Sojo, I. Maza, and A. Ollero, "Ground control station for multi-uav systems in Infrastructure Inspection and Environmental Monitoring Applications," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 111, no. 4, Sep. 2025.
- [8] "Open Mission Control Technologies (Open MCT)(ARC-15256-1D)," NASA, <https://software.nasa.gov/software/ARC-15256-1D> (accessed Nov. 24, 2025).
- [9] V. Woeltjen, "Open MCT Web Developer Guide." NASA, California, Tech. Rep. NASA/TM-2015-21312, 2015.
- [10] M. Trimble, "A New Architecture for Visualization: Open Mission Control Technologies", NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, Tech. Rep. NASA/TM-2017-219421, 2017.
- [11] J. Trimble, "Reconfigurable software for Mission Operations," SpaceOps 2014 Conference, May 2014. doi:10.2514/6.2014-1832.
- [12] R. Murali Krishnan et al., "HabSim-HMS: A systems testbed to investigate situational awareness for extraterrestrial habitation," *AIAA Journal*, vol. 63, no. 2, pp. 389–403, Feb. 2025.
- [13] J. Trimble, "Open Source and Design Thinking at NASA: A Vision for Future Software", NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, Tech. Rep. NASA/ARC-E-DAA-TN45280, 2017.
- [14] J. Hill, "Open e2e Testing Initiative with Open MCT," in 13th International TestIstanbul Conference, 2022.
- [15] J. M. Peschel and R. R. Murphy, "On the Human–Machine Interaction of Unmanned Aerial System Mission Specialists," in *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 53–62, Jan. 2013.
- [16] M. Chakraborty and A. P. Kundan, *Monitoring Cloud-Native Applications: Lead Agile Operations Confidently Using Open Source Software*. Berkeley, CA, Berkeley, CA: Apress Apress, 2021.
- [17] Z. Xu, L. Ma, J. Zhao, J. Men, C. Zhang and Y. He, "A Review on the Application of Mini-UAVs in Urban Operations," 2024 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Nanjing, China, 2024, pp. 506–511.
- [18] J. Bzai et al., "Machine learning-enabled internet of things (IOT): Data, applications, and Industry Perspective," *Electronics*, vol. 11, no. 17, p. 2676, Aug. 2022.
- [19] C. Nowadly et al., "The medical implications of emerging unmanned aircraft systems in military and Combat Environments: A narrative review," *Military Medicine*, vol. 190, no. 11–12, pp. 11–12, May 2025.
- [20] C. Kamga, J. Sapphire, Y. Cui, B. Moghimdarzi, and D. Khryashchev, "Exploring Applications for Unmanned Aerial Systems (UAS) and Unmanned Ground Systems (UGS) in Enhanced Incident Management, Bridge Inspection, and Other Transportation Related Operations," City University of New York, New York, Tech. Rep. C-15-01, 2017.
- [21] S. Bagwari, A. Gehlot, R. Singh, N. Priyadarshi and B. Khan, "Low-Cost Sensor-Based and LoRaWAN Opportunities for Landslide Monitoring Systems on IoT Platform: A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 7107–7127, 2022.
- [22] O. Aydın, "Key advances in the research, development, and Innovation Ecosystem of Türkiye," *Insight Turkey*, vol. 27, no. Spring 2025, pp. 29–42, Jul. 2025.