



## İnsansız Kara Araçları İçin Çapraz Platform Destekli Telemetri Sistemi Tasarımı

### Cross-Platform Telemetry System Design For Unmanned Ground Vehicles

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 13.07.2023

Kabul/Accepted: 18.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

Uğur KIRÇIL<sup>\*</sup>, Cengiz TEPE

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

İnsansız kara araçları günümüzde büyük öneme sahiptir. Bu araçlar, askeri, afet/arama kurtarma, gözetim/güvenlik veya tarımsal alanlarda olmak üzere kullanılabilir. Bu kara araçları otonom, yarı otonom veya insan kontrollü çalışabilir. Üç fonksiyonda da bu kara araçlarının bir yer istasyonu ile haberleşmesi gerekmektedir. Bu yer istasyonunda bir arayüz bulunur ve bu arayüzde aracın birçok anlık durumu bilgileri ve kamera görüntüsü gösterilir. Böylece operatör, kara aracın yanında bulunmadan araç üzerindeki verileri okuyabilir. Herhangi bir arıza durumunda araca zamanında müdahale edebilir. Bu çalışmada insansız kara araçları için özgün çapraz platform destekli bir telemetri sistemi tasarlanmıştır. Bu telemetri sisteminde veri gönderim kartı ve yer istasyonu arayüzü bulunmaktadır. Mikrodenetleyici kartının üstüne takılabilen veri aktarım kartında RF verici, konnektörler ve çeşitli sensörler bulunmaktadır. Yer istasyonundaki RF alıcı, verileri aldıktan sonra tasarlanan çapraz platform destekli arayüz üzerinde gösterilmektedir. Arayüz üzerinde pil durumu, katedilen mesafe, aracın aktif durumu, depo doluluğu gibi bilgiler yer almaktadır. Ayrıca kara aracı üzerindeki kamera vericisi ile kamera verisi alınmaktadır ve arayüz üzerinde canlı olarak kamera görüntüsü de gösterilmektedir. Arayüzün iletişim fonksiyonları test edilmiştir ve başarıyla çalışmaktadır. Bu arayüzün çeşitli platformda performans ve fonksiyon testleri yapılmıştır. Testlerden alınan performans verileri incelenmiştir. Ayrıca mevcut olan diğer arayüzlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda taşınabilir, düşük maliyetli, özgün bir donanım ve çapraz platform desteğine sahip basit, hafif ve kullanışlı bir arayüz elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Kara Aracı; Telemetri; AvaloniaUI; Çapraz Platform

#### Abstract

Unmanned ground vehicles are of great importance today. These vehicles can be used in military, disaster/search and rescue, surveillance/security or agricultural fields. These ground vehicles can operate autonomously, semi-autonomously or human-controlled. These ground vehicles must communicate with a ground station in all three functions. This ground station has an interface that displays instant status information and video footage. Thus, the operator can read the data on the vehicle without being near the ground vehicle. In case of any malfunction, an operator can intervene in time. In this study, a unique cross-platform telemetry system for unmanned ground vehicles is designed. This telemetry system includes a transmission board and a ground station interface. The transmission board, which can be mounted on the microcontroller board, contains an RF transmitter, connectors and various sensors. After the RF receiver at the ground station receives the data, it displays it on the designed cross-platform supported interface. The interface displays information such as battery status, distance traveled, active status of the vehicle, and tank fullness. In addition, camera data is received with the camera transmitter on the ground vehicle and the live camera image is displayed on the interface. The communication functions of the interface have been tested and work successfully. Performance and function tests of this interface have been performed on various platforms. The performance data from the trials are analyzed. It is also compared with other existing interfaces. The result of the study is a portable, low-cost, simple, lightweight and useful interface with unique hardware and cross-platform support.

**Keywords:** Unmanned Ground Vehicle; Telemetri; AvaloniaUI; Cross-Platform

#### 1. Giriş

İnsansız Kara Araçları (İKA), büyük bir öneme sahiptir. Bu araçlar, otonom, yarı-otonom veya tamamen insan kontrolünde çalışabilir. İKA'nın geniş kullanım alanı vardır. Bu araçlar, askeri(Gündoğdu & Çalhan 2013), afet/arama kurtarma(Enshasy et al. 2019), gözetim/güvenlik(Shah et al. 2019, Vishnu et al. 2022) veya tarımsal alanlarda (Durmus et al. 2015, Pei et al. 2014, Vaeljaots et al. 2018) kullanılabilir. Bu araçlar da ana görevleri yapan kontrol

bilgisayarı (Raspberry Pi, Nvidia Jetson vs.), motor sürücü sistemleri, güç dağıtım sistemleri, otopilot kartları ve telemetri sistemlerinden oluşmaktadır. Araçlar otonom bir biçimde çalışsa bile aracın durumunu saptayabilmek için bir telemetri sistemi ile araç üzerindeki verilerin bir yer istasyonuna aktarılması gerekmektedir. Bu telemetri sistemleri sensörlerden, kameralardan, kablosuz alıcı-vericilerden ve arayüzden oluşmaktadır (Kıvanç et al. 2019, Shah et al. 2019, Snipes et al. 2018, Vaeljaots et al.

2018). Literatürdeki donanım ve arayüz yazılım çalışmaları incelendiğinde mikrodenetleyici donanımı olarak çoğunlukla üzerinde ATMEGA tabanlı mikrodenetleyicileri bulunduran Arduino mikrodenetleyici kartların kullanıldığı görülmektedir (Enshasy et al. 2019, Hassan et al. 2017, Nagchaudhuri et al. 2018, Shah et al. 2019, Vaeljaots et al. 2018, Vishnu et al. 2022). Bunlara ek olarak ARM tabanlı mikrodenetleyicilerin (Durmus et al. 2015) kullanıldığı çalışmalar da vardır. Kablosuz veri aktarımı için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. 3G / 4G hücresel ağ veri aktarımı en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Durmus et al. 2015, Kıvanç et al. 2019, Snipes et al. 2018, Vaeljaots et al. 2018). Bu yöntemin en büyük avantajı gönderilen verinin internet üzerinden aktarılabilmesidir. Bu durum da mesafe problemini ortadan kaldırmaktadır. Ancak bu yöntemin kullanılabilmesi için bölgede baz istasyonları ve mobil hat aboneliği gerekmektedir. Köylerdeki tarlalarda, askeri alanlarda ve afet alanlarında baz istasyonu problemi yaşanabileceği için hücresel ağ ile veri aktarmak mümkün olmayabilir. Hücresel ağın yüksek güç kullanımı, düşük güç tüketimli geniş alan ağının (LPWAN) ortaya çıkışına zemin hazırlamıştır. LoRaWAN veri aktarım yöntemi, az miktarda veriyi uzun mesafelere aktarmak için en uygun seçeneklerden biridir (Turčinović et al. 2020). Bu sebeple telemetri sistemlerinde LoRaWAN kullanan çalışmalar mevcuttur (Vishnu et al. 2022). Bunun dışında xBee veri aktarım yöntemi de telemetri sistemlerinde kullanılmaktadır (Shah et al. 2019). Bu yöntemler orta-uzun mesafeli aktarım yöntemlerdir. LoRaWAN, daha düşük aktarım hızlarını kullanarak xBee'ye göre veri aktarım mesafesini 2'ye katlayabilmektedir (Ferreira et al. 2020, İnt. Kyn. 2, İnt. Kyn. 5). Ayrıca bu yöntemlerin dışında yakın mesafelere Wi-Fi ile aktarımın yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Vaeljaots et al. 2018).

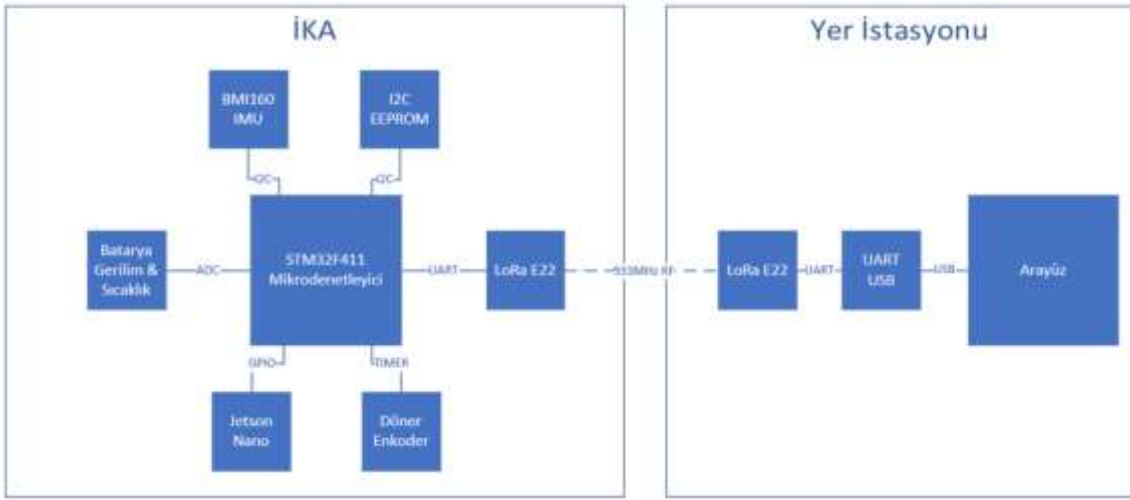
Literatürdeki çalışmalarda farklı tip arayüz kullanımları vardır. Mission Planner programının asıl kullanım amacı otonom sürüş olmasına rağmen birçok çalışmada tak-çıkartır özelliğinden dolayı telemetri arayüzü olarak da kullanılmıştır (Hassan et al. 2017, Nagchaudhuri et al. 2018). Mission Planner, İnsansız hava araçları (İHA) ve İKA'larda otonom sürüş sağlamak için kullanılmaktadır. Ancak arayüz üzerinde gösterilen bilgiler ve sensör değerleri, İHA çalışmaları için daha uygundur. Ayrıca yazılım tarafından desteklenmeyen farklı tipte sensörlerin arayüze eklenmesi mümkün değildir. Ayrıca literatürde, kullanıcı tarafından MATLAB (Shah et al. 2019), Python (Rahman et al. 2023) ve C# WinForms (Enshasy et al. 2019) dilinde hazırlanan özel tasarım arayüzler de yer almaktadır. Literatürdeki bu

çalışmalarda arayüzlere görüntü aktarımı çoğunlukla 5.8GHz görüntü aktarım kitleriyle sağlanmaktadır (Enshasy et al. 2019, Vishnu et al. 2022). Bunların dışında Hücresel Veri (Snipes et al. 2018) ve Wi-Fi (Shah et al. 2019) ile görüntü aktarımı yapan çalışmalar da bulunmaktadır. Mevcut çoğu çalışmadaki en büyük eksiklik, güncel, modern, çok amaçlı bir arayüz yazılımının bulunmamasıdır. Hazırlanan özgün yazılımlar ise WinForms gibi daha eski yazılım çerçeveleri ile hazırlanmıştır. Ayrıca çoğu çalışmada 8 bitlik yetersiz mikrodenetleyici kullanılması, veri alımı ve işlenmesinde istenen performansın yakalanmamasına sebep olabilir (Enshasy et al. 2019, Hassan et al. 2017, Nagchaudhuri et al. 2018, Shah et al. 2019, Vaeljaots et al. 2018, Vishnu et al. 2022).

Bu çalışmada, kara araçları için spesifik olarak yapılan literatür taramasında daha önce kullanımına rastlanılmayan özgün ve çapraz platform destekli bir telemetri sistemi hazırlanmıştır. Kara araçlarında telemetrinin veri gönderim kartında STM32F serisi yüksek performanslı mikrodenetleyici kullanımı sayesinde sadece yazılımsal değişikliklerle donanımın potansiyel gelişmelere uyumlu olması sağlanacaktır. ST Nucleo geliştirme kartlarına uygun olarak tasarlanan tak-çıkartır genişletme kartı sayesinde sensör bağlantılarının kablo karmaşası azaltılmıştır. Ayrıca tak-çıkartır yapı sayesinde gelecekte oluşabilecek mikrodenetleyici değişimleri basit bir hale getirilmiştir. Telemetri sisteminde kullanılacak olan arayüz, açık kaynaklı AvaloniaUI platformu kullanılarak hazırlanmıştır. Arayüz, WinForms gibi tasarım ve kütüphane destekleri yetersiz platformlarla hazırlanan arayüzlere göre daha modern bir tasarımı vardır. Ayrıca hem Windows hem de Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Yüksek güç gerektirmeyen kullanım alanları için düşük maliyetli ve düşük güç tüketen tek kart bilgisayarlar (Raspberry PI, Jetson NANO vs) idealdir (Gonzalez et al.). Bu çalışmada tasarlanan telemetri sistemi Intel-AMD işlemciler ile birlikte ARM işlemcilerle de çalışabilmektedir. Böylece yapılan çalışmalarda yer istasyonlarında yüksek güç tüketen maliyetli bilgisayarlar yerine düşük maliyetli ve düşük güç tüketen tek kart bilgisayarlar kullanılabilir. Ayrıca arayüz üzerinde birden fazla kamera görüntüsü gösterilebilmektedir.

## **2. Materyal ve Metot**

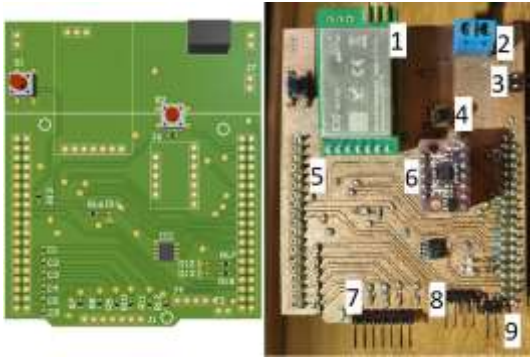
Çalışmada, İKA üzerindeki verilerin kablosuz aktararak bilgisayar üzerindeki arayüzde gösterilmesi hedeflenmiştir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi telemetri sistemi İKA donanımından ve yer istasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 2.1. Telemetri Sistemi

### 2.1. Donanım

Bu çalışmada STM32F411 Nucleo kartının üstüne takılabilir Şekil 2.2'deki özgün genişletme kartı tasarlanmıştır. Bu şekil üzerinde 1 numaralı kısımda LoRa Modülü, 2 numaralı kısımda güç girişi, 3 numaralı kısımda harici kart haberleşmesi konnektör, 4 numaralı kısımda kart ayarlaması için buton, 5 numaralı kısımda STM32F411 Nucleo kart konnektörü, 6 numaralı kısımda IMU sensör, 7 numaralı kısımda batarya konnektörü, 8 numaralı kısımda enkoder konnektörü ve 9 numaralı kısımda NTC konnektörü gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Genişletme Kartı a) 3B Görünümü b) Gerçekleşmiş Hali

Telemetri sistemi, İKA'nın arazi üzerinde toplam katettiği mesafeyi, arazi üzerindeki hareket hızını, bataryasının gerilim, doluluk ve sıcaklık bilgilerini, arazi üzerindeki eğimini, üzerinde herhangi bir sıvı bulduracaksa deponun doluluk durumunu, ilaçlanan bitki sayısını ve İKA'ya verilmiş görev bilgilerini göstermektedir. Çalışmada tasarlanan telemetri sistemi, çeşitli kullanım alanları için özelleştirilebilir. Çalışmada STM32F411 mikrodnetleyici kullanılmıştır. Şekil 2.3'de mikrodnetleyici yazılımının akış şeması gösterilmiştir.

### 2.2. Pil Gerilimi, Doluluğu ve Sıcaklığının Ölçülmesi

Bu çalışmada gerçekleştirilen özgün genişletme kartı ile lityum polimer bataryalarda 6 hücreye kadar gerilim okuması yapılabilir. Ayrıca, kurşun asit, lityum demir fosfat gibi farklı batarya türleri de kullanılabilir. Bataryadaki hücrelerin gerilimleri, STM32F411 mikrodnetleyici ADC çevre birimi ile Doğrudan Hafıza Erişimli (DMA) olarak okunmaktadır.

Alınan ilgili hücre geriliminden o hücrenin gerilim ve empedans profil verileri ile karşılaştırması yapılarak tahmini bir batarya doluluk yüzdesi elde edilmiştir. Pil sıcaklığını okumak amacıyla batarya üzerine bir adet Negatif Sıcaklık Katsayılı (NTC) sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. NTC'nin üretici firma tarafından sağlanan  $\beta(25/50\text{ }^\circ\text{C})$  sabiti, Eşitlik 1'deki sadeleştirilmiş Steinhart-Hart denklemi kullanılarak Kelvin sıcaklık değerine çevrilmiştir. Ardından santigrat olarak dönüştürülmektedir.

$$T_{\circ K} = \left[ \left( \frac{1}{\beta_{25}} \right) \ln \left( \frac{RT}{RT_0} \right) + \frac{1}{T_0} \right] \quad (1)$$

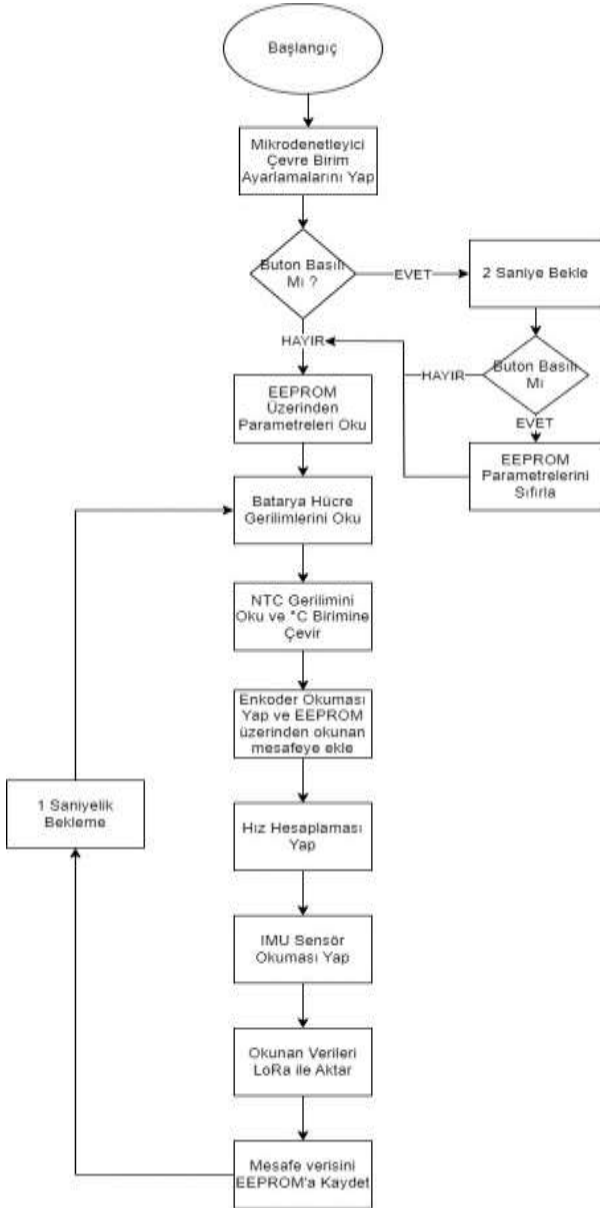
### 2.4. Mesafe ve Eğim Ölçümü

İKA'nın katettiği mesafenin ölçülmesi için araç tekerleğine bir adet 360 pals enkoder bağlıdır. Enkoder, STM32 zamanlayıcı biriminde, "Encoder Mode" olarak ölçülmüştür. İKA'nın katettiği yol denklem 2 ve hızı ise denklem 3 ile hesaplanmaktadır.

$$x = n \frac{2\pi r}{360} \quad (2)$$

$$V = \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

Burada  $x$  = yol (m),  $V$ :hız (m/dk),  $n$ :enkoder puls sayısı,  $r$ :teker yarıçapı,  $x$ :yol,  $t$ : zamandır. Araç eğimini ölçmek için BMI160 IMU (İnt. Kyn. 1) kullanılmıştır. Bu sensör açılış verilerini doğrudan vermektedir.



Şekil 2.3. Mikrodenetleyici Yazılımı Akış Şeması

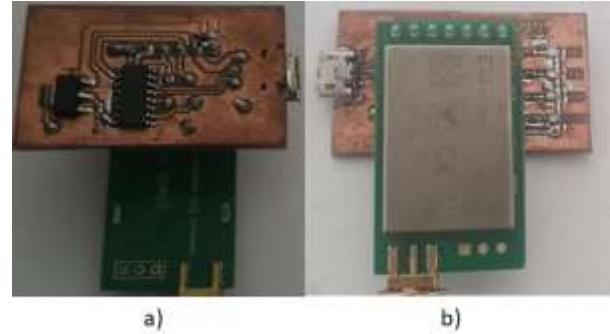
## 2.5. Haberleşme Modülü

İKA veri aktarımı için LoRa E32 verici ve alıcı modülü (İnt. Kyn. 2) kullanılmıştır. Gönderilen verilerin arayüz tarafından alınabilmesi için yer istasyonu tarafında bir adet LoRa E32 Alıcı kullanılmıştır. Bu alıcının yer istasyonuna bağlanması için Şekil 2.4'de gösterilen UART – USB dönüştürücü kartı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu dönüştürücü kart sayesinde, mevcut tasarımlardan farklı olarak kullanıcı müdahalesi gerektirmeden alıcı modülün parametrelerinin yazılımsal olarak otomatik ayarlanması sağlanmıştır.

## 2.6. Depo Seviyesinin Ölçülmesi

Çalışmanın türüne bağlı olarak İKA'larda su, yakıt, ilaç veya herhangi bir kimyasal madde kullanılabilir. İKA'nın deposunda kalan sıvı miktarının yer istasyonunda gösterilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak herhangi bir sensör kullanılmadan yazılımsal depo sıvı seviyesi ölçümü yapılmıştır. Başlangıçta tam dolu depo ile kaç kez spreyleme yapıldığı ölçülmüştür. Sonrasında her bir spreylemede harcanan sıvı miktarı, toplam spreyleme sayısı ile çarpılıp depo kapasitesinden çıkarılarak depoda kalan sıvı miktarı hesaplanmıştır. Böylece yazılımsal bir sıvı seviye algılayıcısı yapılmıştır.



Şekil 2.4. LoRa Alıcı Devresi a) Ön Yüz b) Arka Yüz

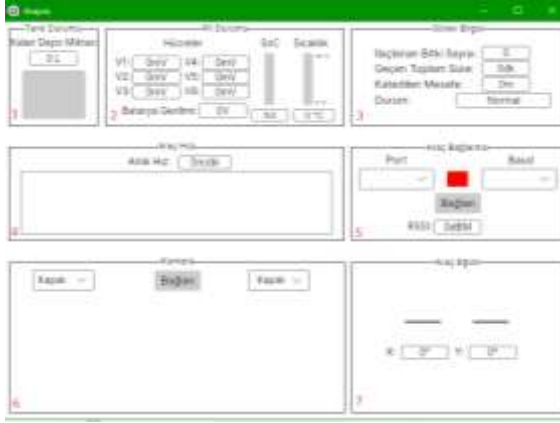
## 2.7. Kablosuz Görüntü Aktarımı

Görüntü aktarımı için, telemetri kartından bağımsız olarak bir görüntü iletim seti (İnt. Kyn. 4) kullanılmaktadır. Alıcı, bilgisayara standart bir USB protokolü ile bağlanmaktadır. Gelen veri direkt olarak kullanılabilir.

## 2.8. Arayüz Yazılımı

Arayüz yazılımı, Visual Studio geliştirme ortamında hazırlanmıştır. Arayüzün arka yüz yazılımı C# dili ile hazırlanmıştır. Önyüz yazılımında ise .Net platformu ile açık kaynaklı ve çapraz platform destekli Avalonia UI çerçevesi kullanılmıştır. Arayüzün görseli Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

Arayüzdeki her bir eleman, ayrı bir ızgara ile bölünmüştür. Arayüzün 1 numaralı bölümü sıvı durumunu göstermektedir. Bu bölümde kullanılan "ilerleme çubuğu" elemanının maksimum değeri, deponun maksimum kapasitesine gösterecek şekilde ayarlanmıştır. Alınan veriye göre elemanın doluluğu, deponun gerçek zamanlı doluluğuna göre değişecektir.



Şekil 2.5. Yer İstasyonu Arayüzü

Arayüzün 2 numaralı kısmında kara aracının pil durumu gösterilmektedir. Bu kısımda bataryanın her bir hücrenin gerilimi, tüm batarya gerilimi, pilin doluluğu (SoC), ve pil sıcaklığı gösterilmektedir. Pil doluluğu ve sıcaklık için birer “ilerleme çubuğu” elemanı eklenmiştir. Alınan verilere göre eşzamanlı olarak dolulukları değişmektedir. Arayüzün 3 numaralı bölümünde aracın kat ettiği mesafe, toplam kullanım süresi, araç durumu ve kara aracının kullanım alanına özel görev bilgileri anlık olarak gösterilmektedir. Arayüzün 4 numaralı bölümünde aracın hızı (m/dak.) gösterilmektedir ve aynı şekilde gerçek zamanlı olarak grafiği çizilmektedir. Arayüzün 5 numaralı bölümü sayesinde veri aktarımı ayarları yapılmaktadır. Bu kısımda alıcının bağlı olduğu COM portu ve kullanılacak olan Baud hızı ayarlanabilmektedir. Arayüzün 6 numaralı kısmında kamera görüntüsü gösterilmektedir. Kamera görüntüsü alabilmek için OpenCV'nin açık kaynaklı ve çapraz desteğine sahip OpenCVSharp sarmalayıcısı kullanılmaktadır. Arayüz, aynı anda 2 adet kamera görüntüsü gösterebilmektedir. Bunun için öncelikle seçim listesi üzerinden kamera numarası seçilir ve ardından “bağlan” butonuna basılır. Arayüz yenileme kodları yürütme metodu ile çalıştırıldığı için diğer fonksiyonlara performans bakımından negatif bir etkisi bulunmamaktadır. Arayüz meşgul olmadığı sürece görüntü yenilemesi sağlanmaktadır. Arayüzün 7 numaralı kısmında araç eğimi gösterilmektedir. Araç eğimi, arazi koşulları göz önüne alındığında İKA için büyük önem oluşturmaktadır. İKA'dan alınan açı verileri

kullanılarak eğim değerleri 2 adet metin kutusuna yazılmaktadır. Ayrıca buna ek olarak aracın eğimi ile canlı olarak değişen görsel kullanılarak bu fonksiyon desteklenmektedir.

### 3. Bulgular

Hazırlanan arayüz yazılımı, farklı işletim sistemleri ve platformlarda denenmiştir. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi farklı ekran çözünürlüklerinde arayüz bütünlüğü korunmaktadır ve veriler İKA üzerinden başarıyla alınmaktadır.



Şekil 3.1. Ubuntu İşletim Sistemine Sahip Jetson Nano Kartı KDE Masaüstü Ortamında Ekran Görüntüsü

Hazırlanan arayüz, Intel işlemcili bilgisayarlarda farklı işletim sistemlerinde, Nvidia ARM64 işlemcili Jetson Nano tek kart bilgisayarda denenmiştir. Ayrıca aynı arayüz çapraz platform desteği bulunmayan geleneksel Windows Presentation Foundation(WPF) platformu kullanılarak da derlenmiştir. Buna ek olarak benzer işlevleri sağlayan açık kaynak kod bir arayüz yazılımı da aynı sistem üzerinde çalıştırılmıştır. Farklı arayüz, donanım ve işletim sistemi denemeleri sonucunda tespit edilen kaynak kullanımları karşılaştırmalı olarak Çizelge 1'de gösterilmiştir.

STM32 mikrodenetleyici ve LoRa E32 tarafından kablosuz gönderilen veriler, yer istasyonundaki alıcı tarafından başarıyla alınmıştır

Çizelge 1. Arayüzün farklı platformlardaki kaynak kullanımı

Arayüz	Donanım	İşletim Sistemi	RAM Kullanımı (Megabayt)	% İşlemci Kullanımı	Depolama Kullanımı (Megabayt)
Bu Çalışma – WPF	Intel Bilgisayar	Windows 11	105	%0 - %1	121MB
Bu Çalışma – AvaloniaUI	Intel Bilgisayar	Windows 11	132	%0 - %1	116MB
Bu Çalışma – AvaloniaUI	Intel Bilgisayar	Ubuntu 18.04	129	%0 - %1	116MB
Bu Çalışma – AvaloniaUI	Jetson NANO	Ubuntu 18.04	126	%0 - %1	116MB
(İnt. Kyn. 3)	Intel Bilgisayar	Windows 11	360	%1 - %3	300MB

Alınan işlenmemiş veri, başarıyla bir dizi içerisine kaydedilmiş ve bu dizi içerisinden veriler okunmuştur. Okunan bu veriler başarıyla arayüz üzerinde gösterilmiştir.

Kamera görüntüsü aktarımı başarıyla sağlanmıştır. Arayüzde aynı anda 2 adet kamera görüntüsü 30FPS ile, arayüzün diğer fonksiyonlarında yavaşlamaya sebep olmadan gösterilmiştir. Batarya gerilim ve doluluk ölçüm fonksiyonu sorunsuz çalışmıştır. Batarya gerilimi ölçümü test edilmiştir. Veriler Çizelge 2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Batarya gerilim ölçümü farklılıkları

Ölçüm	Hücre 1 Gerilimi	Hücre 2 Gerilimi	Hücre 3 Gerilimi	Hücre 4 Gerilimi	Hücre 5 Gerilimi	Hücre 6 Gerilimi
Arayüz	4.01V	3.87V	3.94V	3.65V	3.53V	3.33V
Voltmetre	4.02V	4.03V	4.04V	4.03V	4.03V	4.04V
Hata	-0.01V	-0.16V	-0.1V	-0.38V	-0.5V	-0.71V

Telemetri sisteminin, İKA üzerinde 40x20 m boyutlarında bir arazide denemesi gerçekleştirilmiştir. İKA bu arazi üzerinde hareket ettirilmiştir. Arazi boyutları ile arayüz üzerindeki ölçülen mesafe verileri karşılaştırılmıştır. Hız ve mesafe verileri, arazi boyut ölçüleri ile tutarlılık göstermektedir. İKA yaklaşık 1 km mesafe yol katetmiştir. Araç hızı 0-35 m/dk arasında değişmektedir. Ancak arazinin eğim ve engebe durumlarına bağlı olarak tekerleğin boşa dönmesi arazi kaynaklı ölçümde küçük de olsa hatalar meydana gelmektedir. Bu çalışmada eğim 0-180° arası ölçüm yapılmaktadır. Fakat denemeleri yapılan İKA aracı eğimi 0-15° derecelik arazide hareket kabiliyeti olduğu için bu aralık arasında eğim ölçümü alınmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sadece tek bir işletim sisteminde çalışan arayüz ile iki farklı işletim sisteminde çalışan arayüzün RAM, işlemci ve boyut olarak çok ciddi farklar olmadığı hatta işlemci olarak hiçbir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Böylelikle iki farklı işletim sisteminde çalışan arayüzün farklı kullanıcılara da hitap etmesi avantajlı bir durumdur. Ayrıca bu çalışmada yapılan çapraz platform destekli arayüz ile bireysel kullanıcılar tarafından sıklıkla kullanılan bir açık kaynak kod yazılım arayüzü (İnt. Kyn. 3) ile de karşılaştırma yapılmıştır. Bu açık kaynak kod yazılımı, Çizelge 1’de görüldüğü gibi tüm karşılaştırma parametrelerinde yaklaşık olarak iki katı kaynak kullanımına sahiptir Bu bağlamda bu çalışmada yapılan arayüzün kaynak kullanımı bakımından daha verimli olduğu söylenebilir.

Batarya gerilimi ölçümünde Çizelge 2’de gösterildiği gibi farklılıklar bulunmaktadır. Bunun sebebi gerilim

bölücülerde kullanılan dirençlerin toleransı ve ADC ölçümünün 0-3.3V aralıklı 12-bit olmasıdır. Ancak pil yüzdesi 1 numaralı hücrenin gerilim değerine göre hesaplandığı için sistemi etkilememektedir. Çünkü 1 numaralı hücrenin hata gerilim değeri ihmal edilebilir bir düzeydedir.

Bu çalışmada, 32 bitlik ARM tabanlı stm32F411 mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici mevcut diğer çalışmalarda(Enshasy et al. 2019, Hassan et al. 2017, Nagchaudhuri et al. 2018, Shah et al. 2019, Vaeljaots et al. 2018, Vishnu et al. 2022) kullanılan 8 bit mikrodenetleyicilerden daha yüksek çekirdek hızına, performansı artırılmış ve doğrudan bellek erişimi fonksiyonuna sahip çevre birimlerine, 12 bit ADC dönüştürücüye ve daha yeni üretim teknolojileri sayesinde düşük güç tüketimine sahiptir. Bu mikrodenetleyici kart için tasarlanan genişletme kartı sayesinde batarya gerilimi ölçümü dahil olmak üzere tüm sensörler tek bir noktada toplanmıştır ve kablo karmaşasının önüne geçilmiştir.

Bu çalışmada kara araçlarında kullanılmak üzere özgün ve çapraz platform destekli bir telemetri sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem Linux ve Windows işletim sistemlerinde hem masaüstü hem de tek kart bilgisayar ortamlarında başarı ile çalıştırılmıştır. Telemetri veri gönderimi STM32F411 denetleyicisi ile yapılmıştır. Sensörleri ve modülleri bir arada tutmak için STM32F411 kartına uyumlu taşınabilir, hafif ve özgün bir genişletme kartı tasarlanmıştır. Gelecek çalışmalarda, algılayıcılar artırılarak ve arayüzde gerekli değişiklikler yapılarak hava ve deniz araçları için bu arayüz uyarlanabilir.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Uğur Kırçıl: Kaynaklar, araştırma, deney tasarımı, yazma, görselleştirme.

Cengiz Tepe: Kaynaklar, araştırma, deney tasarımı, yazma, görselleştirme.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından PYO.MUH.1908.22.084 proje numarası ile desteklenmiştir.

## 5. Kaynaklar

- Durmus, H., Gunes, E. O., Kirci, M., & Ustundag, B. B. ,2015. The design of general purpose autonomous agricultural mobile-robot: AGROBOT. *Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics*. <http://www.doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2015.7248088>
- Enshasy, H., Al-Badi, I., Al-Saleh, M., Bu-Shalf, A., Al-Dosseri, A., & Abu Al-Haija, Q. ,2019. A Comprehensive Design of Unmanned Ground Search and Rescue Robot. *Journal of Computer Science and Technology*, **14**, 52-80.
- Ferreira, A. E., Ortiz, F. M., Costa, L. H. M. K., Foubert, B., Amadou, I., & Mitton, N.,2020. A study of the LoRa signal propagation in forest, urban, and suburban environments. *Annals of Telecommunications*, **75(7-8)**,333-351. <http://www.doi.org/10.1007/s12243-020-00789-w>
- Gonzalez, S., Vargas, T. R., Arce, P., & Guerri, J. C. ,2016. Energy optimization for video monitoring system in agricultural areas using single board computer nodes and wireless ad hoc networks. *2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA)*. <http://www.doi.org/10.1109/STSIVA.2016.7743350>
- Gündoğdu, K., & Çalhan, A. ,2013. İnsansız Askeri Kara Aracı Tasarımı. *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, **2 (1)**,36-45.
- Hassan, S., Alam, M., Siddiqui, N. A., Siddiqui, A. A., & Qadri, M. T. ,2017. Designing and control of autonomous Unmanned Ground Vehicle. *International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT)*. <http://www.doi.org/10.1109/ICIEECT.2017.7916547>
- Kıvanç, Ö. C., Mungan, T. E., Atila, B., & Tosun, G. ,2019. İnsansız kara aracı geliştirmeye bütünlük bir yaklaşım: tasarım, analiz, uygulama ve öneriler. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **34 (4)**, 1957-1974. <https://www.doi.org/10.17341/gazimmfd.571644>
- Nagchaudhuri, A., Mitra, M., Hartman, C., Ford, T., & Pandya, J. ,2018. Mobile Robotic Platforms to Support Smart Farming Efforts at UMES. *14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*. <http://www.doi.org/10.1109/MESA.2018.8449182>
- Pei, W., Lan, Y. B., Luo, X. W., Zhou, Z. Y., Wang, Z., & Wang, Y. ,2014. Integrated sensor system for monitoring rice growth conditions based on unmanned ground vehicle system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, **7**, 75-81. <http://www.doi.org/10.3965/j.ijabe.20140702.009>
- Rahman, M. Z. U., Raza, U., Akbar, M. A., Riaz, M. T., Gumaei, A. H., & Ahmad, N. ,2023. Radio-Controlled Intelligent UGV as a Spy Robot with Laser Targeting for Military Purposes. *Axioms*, **12(2)**, 176. <https://www.doi.org/10.3390/axioms12020176>
- Shah, S. H. H., Hussain, A., Shah, R., & Abro, S. ,2019. Mini Rover-Object Detecting Ground Vehicle (UGV). *University of Sindh Journal of Information and Communication Technology*, **3(2)**, 104-108.
- Snipes, W., Stapleton, J., Yuan, M., Walters, B., Pierce, D., & Lewin, G. C. ,2018. Design of a 3D printed unmanned ground vehicle. *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. <http://www.doi.org/10.1109/SIEDS.2018.8374731>
- Turčinović, F., Vuković, J., Božo, S., & Šišul, G. ,2020. Analysis of LoRa Parameters in Real-World Communication. *2020 International Symposium ELMAR*. <http://www.doi.org/10.1109/ELMAR49956.2020.9219028>
- Vaeljaots, E., Lehiste, H., Kiik, M., & Leemet, T. ,2018. Soil sampling automation case-study using unmanned ground vehicle. *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. <http://www.doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N503>
- Vishnu, S., Anil Kumar, M., Manjasha, M. G., Pasha, Z., & Madhu, S. ,2022. A Low-Cost Prototyping Approach for Autonomous Unmanned Ground Vehicle for Real-Time Surveillance. *IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAJET)*. <http://www.doi.org/10.1016/j.fcij.2018.10.001>

## İnternet kaynakları

- 1-[https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product\\_flyer/bst-bmi160-fl000.pdf](https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product_flyer/bst-bmi160-fl000.pdf) (03.07.2023)

2-<https://www.micros.com.pl/mediaserver/info-rf%20e22-900t22s.pdf> (03.07.2023)

3-<https://github.com/ArduPilot/MissionPlanner>  
(03.07.2023)

4-[https://hyperion-world.com/download\\_files/manuals/HP-FP58TS5823-Manual.pdf](https://hyperion-world.com/download_files/manuals/HP-FP58TS5823-Manual.pdf) (03.07.2023)

5-<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90001500.pdf> (03.07.2023)