

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GSM TEKNOLOJİSİ
KULLANARAK YER İSTASYONU İLE HABERLEŞMESİ**

**Hazırlayan
Mustafa FENERCİ**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GSM TEKNOLOJİSİ
KULLANARAK YER İSTASYONU İLE HABERLEŞMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Mustafa FENERCİ**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından FYL-2020-10006 kodlu proje ile
desteklenmiştir.**

**Temmuz 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mustafa FENERCİ

“İnsansız Hava Araçlarının GSM Teknolojisi Kullanarak Yer İstasyonu ile Haberleşmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mustafa FENERCİ

Danışman

Doç. Dr. Mehmet KONAR

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Prof. Dr. İlke TÜRKMEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, tez danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Mehmet KONAR'a teşekkür ederim.

2017'den beri Nar Teknoloji firmasında çalıştığım her gün bana yeni bir şeyler öğreten üniversiteden hocam Ulvi DAĞDELEN'e ve abim Rafet SAPANCI'ya çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen ve sürekli yanımda olan saygıdeğer aileme en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2020-10006 proje kodu ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa FENERCİ

Temmuz 2022, KAYSERİ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GSM TEKNOLOJİSİ KULLANARAK YER İSTASYONU İLE HABERLEŞMESİ

Mustafa FENERCİ

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2022
Danışman: Doç. Dr. Mehmet KONAR**

ÖZET

İnsansız Hava Araçları (İHA) farklı bölümlerdeki çeşitli uygulamalar da sağladıkları faydaları sebebi ile kullanılmaktadır. Bu İHA'lara olan ihtiyaç kullanımının iyileştirilmesi için birçok araştırma yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. İHA'nın geliştiricilerinin çalışmalarının en önemli parçalarından birisi de yer istasyonu ve diğer sistemler ile bağlantı sağlayan iletişim donanımlarıdır. İletişim donanımlarının menzil, kararlılık ve görüş alanı dışında kaldığında oluşan iletişim kopuklukları ve bu verilerin alındığı noktada işlenmesi gibi belli başlı sorunları vardır. Bu nedenle mobil iletişim için küresel sistem (GSM) iletişim protokolünün kullanımı İHA'ların iletişim konusundaki sorunların çözümünde potansiyel bir yöntem oluşturabilmektedir.

Bu çalışmada, İHA'ların görüş alanı dışında (NLoS) uzun menzilli uçuşlarında iletişim yöntemi olarak GSM modülünün kullanılması ele alınmıştır. Bu amaç için 1,3 m kanat açıklığına ve 1,5 kg ağırlığına sahip sabit kanatlı bir İHA'ya GSM modülü entegre edilerek haberleşme sistem tasarımı yapılmıştır. Tasarımda oluşturulan modül ile İHA'dan alınan veriler işlenerek internet üzerinden yer kontrol istasyonundaki (YKİ) sunucuya gönderilmiştir. Sunucuya aktarılan veriler işlenerek veri tabanına kaydedilmiştir. Ayrıca YKİ'de web tabanlı arayüz oluşturulmuş ve bu arayüzde anlık olarak İHA verileri görüntülenmektedir. Oluşturulan GSM modülü ve web tabanlı arayüz İHA kullanıcıları için uzun menzilli alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Yer Kontrol İstasyonu, İletişim, GSM

COMMUNICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH GROUND STATION USING GSM TECHNOLOGY

Mustafa FENERCİ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2022

Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet KONAR

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are used for various applications in different departments due to the benefits they provide. The need for these UAVs has made it necessary to conduct a lot of research to improve their use. One of the most important parts of the work of the developers of the UAV is the communication equipment that provides connection with the ground station and other systems. Communication equipment has certain problems, such as communication gaps that occur when it is out of range, stability, and field of view, and the processing of this data at the point of receipt. For this reason, the use of the global system (GSM) communication protocol for mobile communication can be a potential method for solving problems related to the communication of UAVs.

In this study, the use of GSM module as a communication method in long-range flights of UAVs Non-Line of Sight (NLoS) is discussed. For this purpose, a communication system design was made by integrating a GSM module into a fixed-wing UAV with a wingspan of 1.3 m and a weight of 1.5 kg. With the module created in the design, the data received from the UAV was processed and sent to the server at the ground control station (GCS) over the internet. The data transferred to the server was processed and saved in the database. In addition, a web-based interface has been created in GCS and UAV data can be displayed instantly on this interface. The created GSM module and web-based interface are presented as an alternative long-range method for UAV users.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Ground Control Station, Communication, GSM

İÇİNDEKİLER

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GSM TEKNOLOJİSİ KULLANARAK YER İSTASYONU İLE HABERLEŞMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler	3
1.2. Literatür Değerlendirmesi	4

2. BÖLÜM

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI, GSM ve İNTERNET

2.1. İnsansız Hava Araçları	7
2.2. GSM.....	9
2.2.1. GSM Nesilleri	10
2.2.2. GSM Çeşitleri	10
2.2.3. GSM Kullanım Alanları	11
2.2.3.1. Akıllı Enerji.....	12
2.2.3.2. Otomotiv Elektronikleri	12
2.2.3.3. Akıllı Ödeme	12

2.2.3.4. Akıllı Yaşam	12
2.2.3.5. Güvenlik İzleme	13
2.2.3.6. Kablosuz Ağ Geçidi	13
2.2.3.7. Akıllı Endüstri.....	13
2.2.3.8. Akıllı Tarım.....	13
2.3. İnternet.....	13

3. BÖLÜM

METOT VE GEREÇLERİ

3.1. İHA ve Özellikleri	17
3.2. Pixhawk.....	18
3.3. Arduino	19
3.4. GSM Modülleri	20
3.5. WEB Teknolojileri	21
3.5.1. HTML	22
3.5.2. CSS	24
3.5.3. JavaScript.....	24
3.5.4. PHP	24
3.5.5 MySQL	25

4. BÖLÜM

YÖNTEM VE BULGULAR

4.1. GSM ile Haberleşmenin Mimarisi.....	27
4.1.1. Pixhawk ile Arduino Haberleşmesi	27
4.1.2. Arduino ile GSM Haberleşmesi.....	28
4.1.3. GSM ile Sunucu Haberleşmesi	29
4.1.3.1. JSON	30
4.1.3.2. HTTP.....	30
4.1.3.3. PHP Servis	30
4.2. WEB Kullanıcı Ara yüzü.....	32

4.2.1. Veri Tabanı Mimarisi.....	32
4.2.2. Kullanıcı Ara yüz Mimarisi	33
4.3. İHA ile Haberleşme Sisteminin Kurulumu	37

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Tartışma	42
5.2. Sonuç ve Öneriler	42
KAYNAKÇA	44
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KISALTMALAR

Sembol	Anlamı
ARM	Advanced RISC Machines
ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Automatic Teller Machine
CPU	Merkezî İşlem Birimi
CSS	Cascading Style Sheets
DTMF	Çift Tonlu Çok Frekanslı
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
FTP	File Transfer Protocol
GPRS	Genel Paket Radyo Servisi
GSM	Global System for Mobile Communications
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
ICMP	Internet Control Message Protocol
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protokol
İHA	İnsansız Hava Aracı
İYA	İnsansız Yüzey Araçları
LLC	Logic Link Control Layer
LTE	Long-Term Evolution
NLoS	Non-Line-of-Sight
PHP	Hypertext Preprocessor
RTOS	Real Time Operating System
SFTP	SSH File Transfer Protocol
SİHA	Silahlı İnsansız Hava Aracı
SNMP	Simple Network Management Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transfer Control Protokol/Internet Protokol
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter

UDP	User Datagram Protocol
USV	Unmanned Surface Vehicle
VSC	Visual Studio Code
WWW	World Wide Web
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Akıncı SİHA	9
Şekil 2. 2. GSM'in iletişimi	10
Şekil 2. 3. Küresel olarak GSM bandları dağılımı	11
Şekil 2. 4. GSM'in kullanım alanları	11
Şekil 2. 5. İnternet ağ yapısı.....	14
Şekil 2. 6. Katmanlar ile internet sistemi	14
Şekil 2. 7. TCP/IP katmanları	15
Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan İHA'nın başarılı uçuştan sonraki fotoğrafı	18
Şekil 3. 2. Pixhawk uçuş kartı.....	18
Şekil 3. 3. Arduino pro mini.....	20
Şekil 3. 4. SIM808 GSM modülü	20
Şekil 3. 5. Basit bir HTML ile yazılmış web sayfası örneği	23
Şekil 3. 6. Şekil 3. 5.'deki web sayfası örneğinin kodları.....	23
Şekil 4. 1. GSM kullanarak GSM ile haberleşme mimarisi.....	27
Şekil 4. 2. Pixhawk ile Arduino arasındaki bağlantı.....	28
Şekil 4. 3. MAVLink v2 frame	28
Şekil 4. 4. SIM808 modülü ile Arduino arasındaki bağlantı.....	29
Şekil 4. 5. Visual studio code arayüzü	29
Şekil 4. 6. Basit bir JSON gösterimi	30
Şekil 4. 7. PHP servise bağlanınca karşılayan servis kodları.....	31
Şekil 4. 8. phpMyAdmin MySQL kontrol panelinden veri tabanındaki tüm tabloların gösterilmesi	32
Şekil 4. 9. Bir tablonun veri seti örneği	33
Şekil 4. 10. İHA kontrol web sitesinin login sayfası	34
Şekil 4. 11. İHA kontrol karşılama ekranı uav.php sayfası	34
Şekil 4. 12. İHA'nın anlık sensör verileri görüntüleme uav.php sayfası	35
Şekil 4. 13. Tanımlı İHA'nın ayarlarının yapıldığı uavsetting.php sayfası	36
Şekil 4. 14. İHA'nın gelen verilerin kayıtların olduğu uavlog.php sayfası	36
Şekil 4. 15. İHA haberleşme akış diyagramı	37
Şekil 4. 16. Tasarlanan İHA'nın güç sisteminin bileşenlerinin görüntüsü	38
Şekil 4. 17. Tasarlanan sistemin elektronik kartlarının yerleşimi.....	39

Şekil 4. 18. Tasarlanan İHA'nın görünümü	40
Şekil 4. 19. Tasarlanan İHA'nın üstten görünümü	40
Şekil 4. 20. Tasarlanan İHA'nın önden görünümü	41
Şekil 4. 21. Tasarlanan İHA'nın son testlerinin yapılması uçuşa hazır hale gelmesi	41



GİRİŞ

Geçmişte birçok araştırmacı tarafından yapılan uçuş denemeleri günümüz havacılığının temellerini oluşturmuştur. Bu temellerin başlangıcındaki uçuşlar gün geçtikçe artmış ve teknolojiyle birlikte havacılık farklı boyutlara gitmiştir. Bunun sonucunda farklı boyutlarda, farklı türlerde hava araçları ortaya çıkmıştır. Bu hava araçları insanlı ve insansız olarak ihtiyaçlara göre üretilmiştir. İnsansız Hava Araçları (İHA) kazanımlarından dolayı havacılığa farklı bir boyut kazandırmış ve her alanda çığır açmıştır [1-3].

İHA, yetenekleri ve farklı görevleri gerçekleştirmesi sayesinde günümüzde birçok ülke tarafından hem sivil hem de askeri alanda kullanılmaktadır. Maliyetleri, görev kabiliyetleri ve pilotların hayati tehlikelerinin olmaması gibi üstün özellikleri İHA'ları diğer insanlı hava araçlarından farklı kılmaktadır. Bu üstünlükler İHA kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Kullanım alanının yaygınlaşmasıyla farklı İHA türleri ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Bu gereksinimler İHA'ların tasarım ve üretimde önemli rol oynamaktadır. Tasarımcılar tarafından, kullanıcı ihtiyaçlarına göre döner kanatlı, sabit kanatlı veya döner ve sabit kanatlı dikey kalkış özelliğine sahip İHA'lar tasarlanmaktadır. Bu türler farklı ihtiyaçları karşılamaktadır [3].

Teknoloji gün geçtikçe hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu gelişim İHA'lara da önemli katkı sağlamaktadır. Gelişen İHA'lar görev gereksinimine bağlı olarak farklı faydalı yükler taşımaktadır. Farklı menzillere gide bilmektedir. Bununla ihtiyaçlar doğrultusunda farklı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin başında havada kalış süresi, faydalı yük taşıma kapasitesi, menzil gibi başlıca konular gelmektedir. Birçok araştırmacı tarafından bu problemlerin üstesinden gelmek için farklı yöntemler önerilmektedir. Menzilin artmasıyla birlikte haberleşme için kullanılan ekipman eksikliği de ortaya çıkmaktadır [4].

Üreticiler uzun menzilli haberleşme yöntemleri kullansa da bazı kullanıcılar için önerilen yöntemler maliyet gibi etmenlerden dolayı yetersiz kalmaktadır. Literatür kapsamında yapılan araştırmalar sonrasında İHA'lar ile yer istasyonu arasında iletişim için kullanılacak yöntemlerin özellikle küçük boyutlu kullanıcılar için yetersiz olduğu gözlemlenmiştir [3]. Bu nedenle bu tez çalışmasında İHA ile yer istasyonun haberleşmesi için farklı bir yöntemin ele alınması amaçlanmıştır. Bu amaç için Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM) kullanılması ele alınmıştır.

GSM, tüm kullanıcıların rahat bir şekilde ulaşabileceği bir teknolojidir. Günlük hayatta en yaygın kullanılan haberleşme ağının başında gelmektedir. Aynı zamanda geniş bir çalışma alanına sahip olması GSM'in en can alıcı özelliğidir. Bu üstünlükleri göz önüne alındığı zaman GSM'in İHA haberleşmesi için kullanımının kullanıcılar için faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu durumlar göz önüne alınarak, neredeyse dünyanın %99 da kapsama alanı bulunan GSM teknolojisinin, İHA'nın haberleşmesine yeni bir çözüm getirmesi beklenmektedir [6]. Bu nedenle bu tez çalışmasında İHA ile yer istasyonun haberleşmesinde GSM'in kullanımı ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, İHA'nın uçuş süresi boyunca uçuş verilerinin GSM sistemi üzerinden Yer kontrol istasyonuna (YKİ) aktarılması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alınan parametreler web yazılımında kullanılmak üzere veri tabanına internet ile aktarılmıştır. Bu sayede tüm uçuş verileri daha sonra veya anlık olarak kullanılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması beş bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde konuyla ilgili genel bilgiler ve literatür taramasına yer verilmiştir. İkinci bölümde, İHA, GSM ve internetle ilgili bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise tasarlanan İHA'nın uygulaması için kullanılan sistemler verilmiştir. Dördüncü bölümde, GSM ile İHA arasında kurulun sistemin ve tasarlanan sunucu gösterilmektedir. Son bölümde de çalışma ile ilgili tartışma, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler

İHA'lar içerisinde insan olmayan manuel veya otomatik olarak uçabilen hava araçlarıdır. İHA'lar son zamanlarda gelişen teknoloji ile hayatımızın birçok noktasında kullanılmaktadır. Bu elektronik ve mekanik donanımlardaki gelişim, insansız sistemler üzerindeki ilerlemeler ile birçok yenilik sağlamıştır. Donanımların, kapasitelerinin artması ve boyutlarının küçülmesi yeteneklerinin çoğalması, dayanıklılığın artması İHA'ların gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu gelişmeler ile yenilenen İHA'lar savunma alanında istihbarat ve operasyonlarda sivil ve askeri amaçlar için birçok farklı görevlerde kullanım alanı bulmuştur [1-3].

İHA'ların en önemli özelliklerinden biri, uzaktan komuta ve kontrol edilebilmeleridir. İHA'ların uzun menzil uçuşu gerçekleştirebilmesi önemli bir konudur. Havacılıkta haberleşmenin temeli kablosuz iletişimlere üzerine kuruludur. Bu kablosuz iletişimlerle İHA'larda kısa sürede anlık veri iletmek çok kritiktir. Çünkü İHA'larının YKİ ile devamlı kontrol edilmesi gerekir ve önemli verilerin kısa sürede anlık olarak YKİ'lere aktarılması gerekmektedir. YKİ ile haberleşirken en yüksek menzil ve kontrol sağlamak için birçok sistem geliştirilmiştir [3-5].

GSM, kablosuz iletişim olarak dünya çapında alt yapıya sahip bir sistemdir. Bu sistemin en önemli özelliği kesinti olmadan tüm dünyayı gezerek telefonla konuşabilme ve internete bağlanabilmedir. GSM, hayatımızda sadece cep telefonlarında değil aynı zamanda araç takip, uzaktan kontrol ve sulama sistemleri gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır [6-7].

Bu tez çalışmasında GSM kullanarak İHA'nın YKİ ile haberleşmesi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda GSM kullanarak internet ile sunucuda uçuş kontrol verileri kaydedilmiş ve otonom uçuş kartıyla gerçek zamanlı haberleşme sistemi geliştirilmiştir.

1.2. Literatür Değerlendirmesi

İHA, GSM ve internet ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar GSM'in hayatımızdaki önemini göstermektedir ve buna ek olarak internet ile olan uygulamaları ele alınmıştır [8-18].

Lin et al. çalışmasında, İHA'lar için gerçek zamanlı uçuş kontrolü ve gözetimi çözümü sunmuşlardır. Uçuş kontrol komutlarını iletmek için, mobil iletişim devresi için bir μ P-kontrollü küresel sistem C8051 mikroişlemci kullanılarak tasarlanmıştır. Uçuş gözetim verilerinin bağlantısını sağlarken, ARM CPU tarafından geliştirilen Genel Paket Radyo Servisi (GPRS) devresi her zaman bağlanan iletişimi gerçekleştirmek için μ CLinux olarak tasarlanmıştır. Sistem uygulamasıyla, mobil iletişim teknolojileri İHA uçuş kontrol ve gözetim uygulamasına dahil edilmiştir. Çalışmada, performans doğrulaması için 9 m'lik bir zeplin kullanılmıştır. Çalışma menzili 1000 ft altında 20 km için test edilmiştir. 9.6 kbps'de veri aktarımı GPRS aracılığıyla sürekli olarak bağlandığında, kontrol komutu mobil iletişim yoluyla 0,5 saniyeden daha az gecikmiştir. Önerilen sistem mimarisi ve doğrulama, mobil iletişimin kapsandığı daha geniş gözetim ve kontrol yelpazesi için İHA performans gerekliliklerinden tamamen karşılanmaktadır. İletişim altyapısı ve ücreti de son derece düşük maliyetle ele almışlardır [8].

Wzorek et al. çalışmasında, GSM şebekesi altyapılarının İHA'larla, özellikle kentsel alanlarda iletişim kurmak için yararlı bir yol sağladığını göstermişlerdir. İletişim kanalının sağlamlığını, güvenilirliğini ve aralığını geliştirmek için tamamlayıcı bir veri bağlantısı olarak kullanmıştır. Bu teknikleri gerçek uçuşta test etmiştir [9].

Banerji çalışmasında, İnsansız Yüzey Araçların (Unmanned Surface Vehicles, USV) GSM ile kullanılmasını geliştirmiştir. USV'lerin kontrolü için 4 bitlik veri akışlarını uzaktan göndermek için kullanılabilen GSM ağı tabanlı bir sistem sunmuştur. Ayrıca, bu çalışmasında telefonun Çift Tonlu Çok Frekanslı (DTMF) işlevinin kullanımı açıklanmakta ve kablosuz veri iletişimi göstermek üzere aracı kontrol etmek için mikrodenetleyici tabanlı bir devre oluşturulmuştur [10].

Sineglazov çalışmasında, Mobil kanal için küresel sistem yazılımı tasarlamıştır. Mobil kanal için küresel sistemin kullanılması, İHA konum koordinatlarının doğruluğunu artırma üzerine çalışma yapmıştır [11].

Özkul çalışmasında, GSM teknolojilerinden havacılıkta nasıl faydalanabileceği gösterilmiştir. GSM'in uçak içinde cep telefonunun kullanımı için çözümler ve GSM ile konum tespit yöntemleri araştırılmıştır [12].

AbdElHamid et al. tarafından çalışmada, Görüş Mesafesi Olmayan (NLoS) iletişim yoluyla uzun menzilli İHA kontrolü için yeni bir sanal ortam önermiştir. Yönlendirme performansını arttırmak için ekstra duyu uyarımı için teleoperatör için hareket ipuçları üretmiştir. Önerilen ortam bir simülasyon platformu olarak GSM şebekesi üzerinden dağıtılmış bileşen simülasyonunu kullanmıştır [13].

Volčko et al. çalışmada, İHA için kritik olan İHA ve yer istasyonu arasındaki iletişim bağlantısı olarak özellikle 3. nesil ve 4. nesil olmak üzere en yeni nesil mobil telekomünikasyon sistemlerinin kullanılabilmesini çalışmıştır [14].

Ramanatha et al. çalışmada, İHA kullanarak ormanlardaki yangın dumanının tespiti ve ardından ormanlarımızı korumak için anında bilgi gönderilmesini ele almıştır. Ele alınan çalışmada mikrodenetleyici ve sensörler ile veriler GSM kullanarak erken uyarı için sisteme verileri göndermiştir [15].

Solidakis et al. çalışmalarında, GSM veya GPRS tabanlı en yaygın şekilde konuşlandırılmış hücresel ağ standardı olan İHA'ya kontrol komutları gönderebilen hafif ve düşük maliyetli bir Arduino tabanlı telekomünikasyon alt sistemi önermiş ve göstermiştir. Saha denemeleri sırasında kontrol komutları, ortalama 2,6 sn ve 0,5 sn'lik bir süre ile bir cep telefonundan ve bir dizüstü bilgisayardan İHA otomatik pilotuna başarılmıştır [16].

Mandal et al. çalışmalarında, iyi bilinen GSM teknolojisini kullanarak İHA kontrol etmek için bir teknik sunmuştur. Bu teknikte, kullanıcı bir Android uygulaması aracılığıyla bir Android cep telefonundan İHA'ya komut vermiştir. Uygulama cep telefonunun GSM teknolojisine erişmiştir. İHA'ya takılı bir GSM modem olarak uçuş kontrol cihazına bağlanmıştır. Kullanıcı, Android uygulaması aracılığıyla alıcı uçtaki

modeme AT komutları göndermiştir. Modem, uçuş kontrolörü ile iletişim kuracak ve böylece İHA, GSM teknolojisini kullanarak bir Android cep telefonundan kontrol edilmiştir [17].

Khan et al. çalışmalarında, İHA teknolojisinin farklı ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmesiyle, acil durumlarda geleneksel ulaşım ile kolayca değiştirilebilir hale getirmiştir. Tıbbi alanda İHA, ilk yardım ve tıbbi malzemelerin hızlı ve verimli bir şekilde teslim edilmesinde hayati bir rol oynayabilir demıştır. Bu çalışmada, önerilen bir algoritma ile optimum yol planlaması ile başlangıç konumundan tıbbi acil durum konumuna güvenli ve sorunsuz İHA navigasyonu sağlanmıştır. Hastanın GSM bandını kullanarak sağlık durumu hakkında bilgilendirilmesi üzerine en yakın hastane tesisinden doktor drone gönderilmiştir. Trafik sıkışıklığını önlemek için doktor uçağı minimum hesaplama süresi ve nakliye maliyeti ile tıbbi yardım sağlanmıştır [18].

Literatürdeki yapılan çalışmalarda dikkate alınarak, küçük boyutlu bir İHA'nın uzun menzilli kontrol için GSM kullanılması ele alınmıştır. Aynı zamanda, iletişim için yer istasyonunun da tasarımını ve geliştirilmesinin yapılması planlanmıştır.

2. BÖLÜM

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI, GSM ve İNTERNET

İHA, içinde fiziksel olarak insan bulundurmayan uçan araçlardır. Bu araçlar, çeşitli görevleri insan canını tehlikeye atmadan, gereksiz masraflardan kaçınarak ve hayatı kolaylaştırarak birçok zorlu görevlerde kullanılmak için tasarlanmıştır [1].

GSM, bir cep telefonu iletişim protokolüdür. Bu standart, dünyanın tamamına yakın bir alanında kullanılmaktadır ve bunun en önemli ayrıcalıklarından bir tanesi de tek hat ile kullanıcıların farklı ülkelerde kesilmeden kullanılabilinmesidir. Bu GSM standartlarının hepsi, hücresel ağları kullanır ve dolaşım esnasında bile baz istasyonu hücreleri arasında geçiş yapabilme yeteneğine sahip olmaktadır. Sonuç olarak teoride, genel kapsama alanının dışına çıkmazsanız, cep telefonu kullanarak dünya üzerinde her yeri konuşmayı kesmeden gezmek mümkün olabilmektedir [19].

İnternet, birçok bilgisayarların ağları ile birbirlerine bağlanabilmesine olanak vererek dinamik olarak iletişim yöntemlerinde inkılap yaratan dinamik sistemdir. İnternet, birçok protokolü bulunan ağ olup birbirlerine bağlı ağlarının tamamı olarak tanımlanabilmektedir [20].

2.1. İnsansız Hava Araçları

İHA, sivil ve savunma alanında kullanılan içerisinde pilotu bulunmayan uçabilen araçlardır. Çok farklı şekil, ebat, donanım ve karakterde araçlar üretilebilmektedir. İHA, yeryüzünde bir pilot sayesinde uçurulan, uzak bir noktadan kumanda kullanarak görev alabilen veya daha önceden uçuş programları yüklenerek otonom olarak uçurulabilmektedir. Ayrıca İHA'nın üzerinde pilot bulundurmadan, uzak kontrol sağlanması ile daha uzun süre sabit bir irtifada uçabilmektedirler. Bunlara ek olarak İHA'nın uçuş giderleri daha azdır. Bu yüzden satın alındığında ve kullanıldığında İHA daha düşük maliyet ile temin edilebilmektedir. İHA diğer uçabilen araçlara nispeten

gökyüzünde daha çok asılı kalabilmektedir. Bu yüzden İHA'nın kalitesi ve teknolojisine göre yerden yüksekte kalma zamanları da farklılık gösterebilmektedir [5, 21].

İHA'ların önemli bir bileşeni de yer istasyonu ile uçağın arasındaki bir iletişim sistemleridir. İHA, kontrol bakımından kumanda ile manuel ya da otonom olarak önceden belirlenmiş bir planla uçabilmektedir. Bu İHA'larda YKİ kontrol ve gözlem sistemleri gelişen teknoloji ile çok geliştirilmiştir [4].

Teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte İHA'lara önemli bir görev düşmektedir. İHA'lar zor, tehlikeli ve kritik görevleri sivil ve askeri alanlarda başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir [22].

İHA'lar, savunma sanayisinde keşif, savunma ve saldırı görevlerinde kullanılmaktadır. Özellikle ekonomik bağlamda İHA'ları diğer hava araçlarına göre çok daha uygundur. İHA'nda diğer savaş uçaklarına göre personele ihtiyaç duyulmaz. Savunma sanayisinde İHA yoğun olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda İHA askeri personelin güvenliği açısından da çok önemlidir. Bu kullanım şekliyle İHA'nın geçmişi çok eskiye dayanmaktadır. Tarihte ilk kullanılan İHA saldırısı olarak 1849 yılının ağustos ayında Avusturya tarafından 200 insansız zamanlı hava balonunu Venedik'e göndermesi ile kullanılmıştır. Savaş anında kullanılacak İHA'lar savaşın ve tarihin seyrini değiştirecek hale gelmiştir. Keşif amaçlı üretilen İHA günümüzde birçok saldırı görevinde de *Şekil 2. 1.*'deki gibi Silahlı İnsansız Hava Aracı (SİHA) olarak kullanılmaktadır [2, 23, 26].

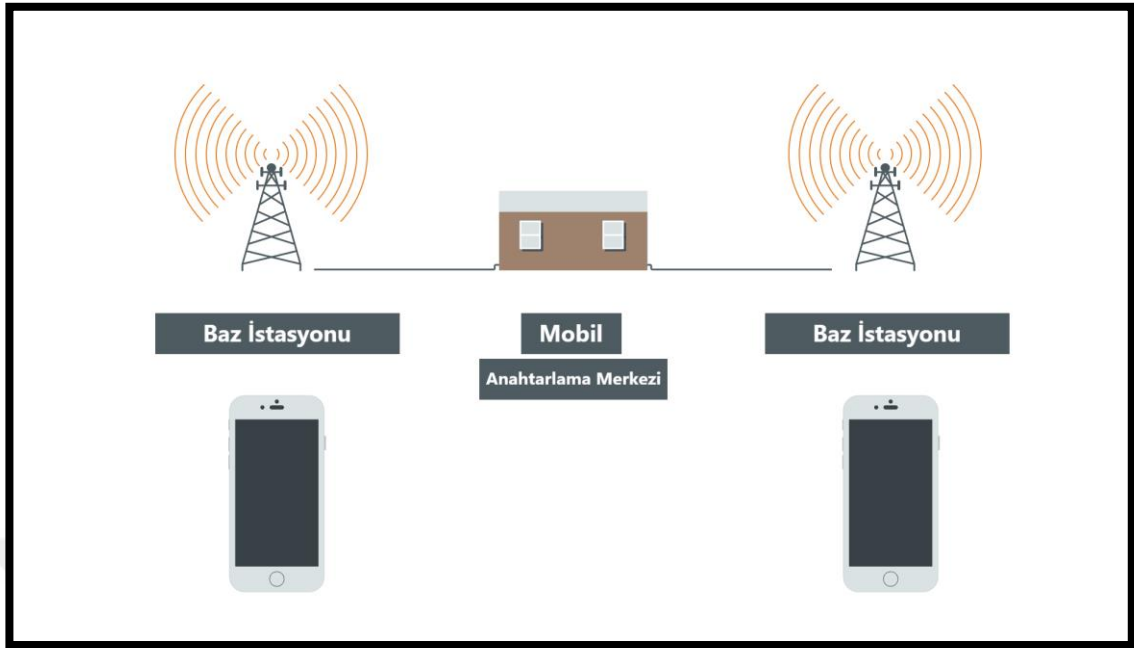


Şekil 2. 1. Akıncı SİHA

İHA, savunmanın yanı sıra sivil birçok alanlarda da kullanılmaktadır. Bunlar, zirai ilaçlama, hobi, bilimsel, ticari, fotoğrafçılık, harita vb. birçok alandadır. Zirai ilaçlamada gibi işlerde, ekinlere zarar vermeden ve daha hızlı ve başarılı bir şekilde yapılabilir. Son yıllarda artan orman yangınlarının tespit edilmesinde ve söndürülmesinde de İHA kullanılabilir. Bu kullanım sayesinde bu yangınlarda daha çabuk söndürülebilmektedir [1].

2.2. GSM

GSM, cep telefonlarının iletişimi için geliştirilmiş bir protokoldür. İlk başta GSM, Mobil İletişim Özel Grubu'nun İngilizcesinden gelmektedir, bir süre sonra bu sistem dünya geneline yayılınca bunun İngilizcesinin baş harfleri ile anılmıştır. Küresel çapta çok geniş olan mobil standardı 200'den fazla ülke yaklaşık 4 milyar insanda bulunmaktadır. Bu protokolün önemli özelliği kullanıcının tek hat ile farklı ülkelerde telefon görüşmesi yapmayı mümkün kılmasıdır. Şekil 2. 2. GSM'in iletişimi verilmiştir [6, 17, 19, 28, 34].



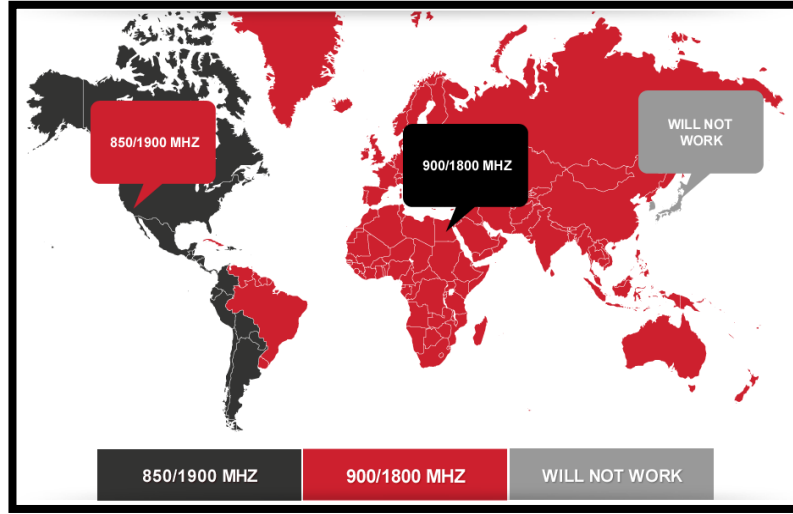
Şekil 2. 2. GSM'in iletişimi

2.2.1. GSM Nesilleri

GSM nesilleri, İlk jenerasyon 0G ve 1G sisteminde, analog veri akışı kullanılmaktadır. GSM 2G ile 2.5G ikinci kategoriye giren diğer bir nesil sistemlerdir. Veri akışı burada sayısalıdır. 2.5G'de GPRS, EDGE gibi veri iletişiminde olan paket tabanlı aktarma eklenmiştir. Buna ek olarak devre anahtarlama sistemleri içeren şebekeleri de ifade etmektedir. Daha sonra gelişen sistemler daha gelişmiştir. 3G çok hızlı veri iletim hızlarına ve bant genişliğine sahiptir. Daha verimlidir. 4G de 3G de olan sorunları çözerek sistemi daha da geliştirmiştir [6].

2.2.2. GSM Çeşitleri

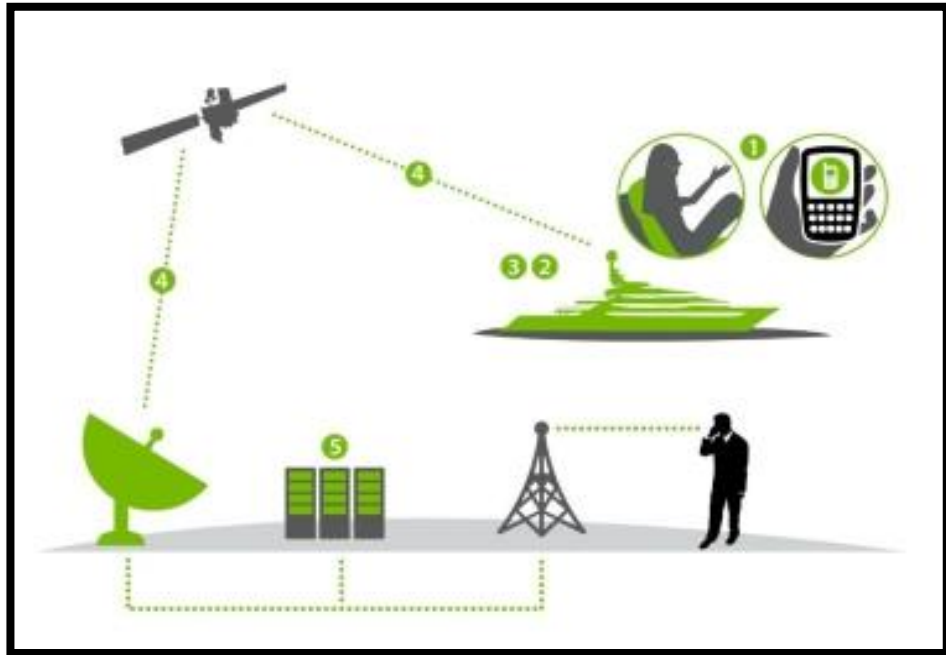
Beş çeşit GSM sistemi vardır: Bunlar GSM2100, GSM1900, GSM1800, GSM900 ve GSM850'dir. Frekans bantlarını göstermektedir. Dünya üzerinde Şekil 2. 3'deki gibi farklı aralıklar kullanan ülkeler bulunmaktadır [28].



Şekil 2. 3. Küresel olarak GSM bandları dağılımı

2.2.3. GSM Kullanım Alanları

GSM erişilebilirlik, yüksek kapsama alanı, kararlı, yüksek hızlı ve verimli olduğu için birçok çeşitli araçlar ile Şekil 2. 4. 'deki gibi internet üzerinden iki kişinin burada 4 bağlantıda uydu 5 ve öncesinde GSM 3 ve 2 de gemide uydu haberleşmesi gösterilmektedir. [46].



Şekil 2. 4. GSM'in kullanım alanları

2.2.3.1. Akıllı Enerji

Dünyanın düşük karbonlu güç ekonomisi için enerjisi verimliliğini artırmak amacıyla iletim hatlarının temel teknolojisinde enerjinin düzenlenmesi ve elektrik şebekesi kontrolünde kullanılmaktadır [7].

2.2.3.2. Otomotiv Elektronik

Otomotiv teknolojisindeki gelişmeler ile GSM araçlar da kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim için GSM ile mevcut geleneksel araçların sunucuya hızlı bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Bunun sayesinde arabaları daha çevre dostu, daha verimli, daha güvenli ve daha akıllı hale gelmektedir. Mesela bir arıza durumunda sistem sunucular ile haberleşip en yakın yere yönlendirilebilmektedir [7].

Günümüzde elektrikli araç teknolojisinde de çok önemli bir yere sahip olmuştur. Batarya yönetim sistemleri direk internet ile birbirine bağlanarak daha akıllı çözümler sunmaktadır. 4G ağı her zaman sürücülerin ve yolcuların her yerde ağ hizmetlerinden yararlanmalarını sağlamaktadır. Yüksek hassasiyetli konum bilgisi ile kararlı sürüş, sürücülere daha fazla sürüş keyfi ve sürüş güvenliği sağlamaktadır. İstikrarlı ve güvenilir ağ, geri planda taşıt sistemlerinde araç sürüş bilgileri, araç arıza alarmı, uzaktan kumanda ve diğer hizmetler sağlamaktadır [7].

2.2.3.3. Akıllı Ödeme

Bankacılık sistemlerinde post makineleri, Automatic Teller Machine (ATM)'ler ve seyyar bankalar da kullanılmaktadır. Hücresel ağa bağlanan modüller kullanılarak, geleneksel işletmelerin ağ oluşturmalarını kolaylaştırılmakta ve müşteri ürünlerinin yeni senaryolara uygulanmasını mümkün kılmaktadır. İşletmelerde mali sistemleri tek noktada birleştirmek için kullanılmaktadır [7].

2.2.3.4. Akıllı Yaşam

Paylaşımlı elektrikli bisiklet ve scooterların kullanımı ile günlük hayata entegre olmaktadır. İnsanlar, şemsiye, şarj arkadaşı, park yeri vb. paylaşmanın getirdiği rahatlığı ile paylaşım ekonomisi gelişmeye devam etmektedir. Paylaşım yapan ürünler, GSM modülü aracılığıyla bulut sunucusuna bağlanır ve kolay ağ oluşturma, düşük güç tüketimi ve internet gibi özellikleri ile sistemlerin haberleşmesini sağlamaktadır [7].

2.2.3.5. Güvenlik İzleme

Toplumun gelişmesi ile birlikte insanlar güvenlik konularına giderek daha fazla önem vermeye başlamıştır. Bilgi iletişim teknolojilerini ve bunların araçlarını internet için kullanarak alarm ve güvenlik kamerası gibi uygulamalarda kablosuz ve düşük maliyetli çözümlerde GSM modülleri yani teknolojisi kullanmaktadır [7].

2.2.3.6. Kablosuz Ağ Geçidi

İnternet bağlantı noktası oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu veri aktarım birimleri, kablosuz iletişim ağı üzerinden iletim için seri port verilerini Internet Protokol (IP) verilerine dönüştürmek veya IP verilerini seri port verilerine dönüştürmek için özel olarak kullanılan bir kablosuz terminal cihazı olarak kullanılmaktadır [7].

2.2.3.7. Akıllı Endüstri

Endüstriyel verimli üretimin daha da iyileştirilmesi için kablosuz bağlantı ile sanayi makine ve robotlarının internete bağlanması ile kontrollü akıllı üretim sağlanmaktadır [7].

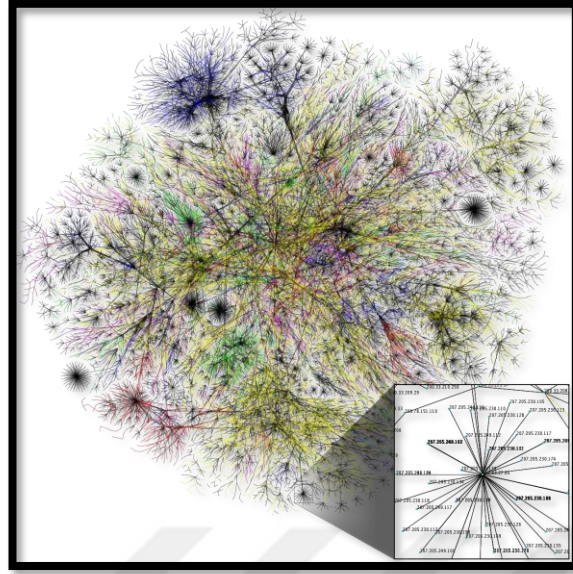
2.2.3.8. Akıllı Tarım

Tarım alanları genelde şehirden veya kablolu internete ulaşımından uzak noktalardadır. GSM, sulama sistemlerinin uygun zamanlama ve akıllı kontrolü ile büyük ölçüde iyileştirebilmektedir [7].

2.3. İnternet

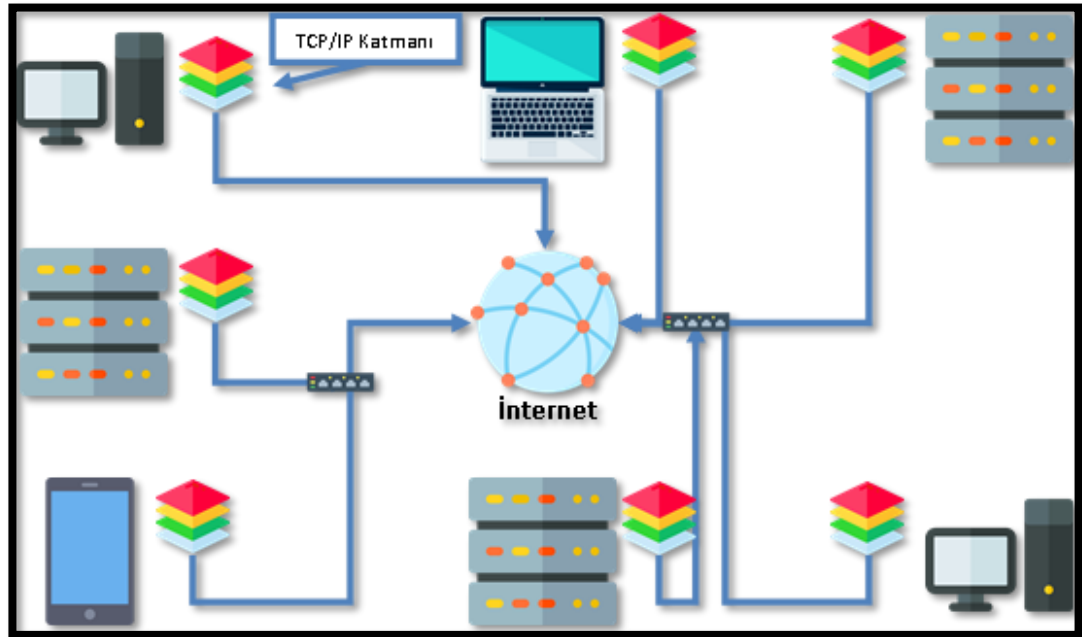
İnternet, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 1970'de ortaya çıkmıştır, fakat 1990 ve sonrasında sivil toplumda kullanıla bilinir hale gelmiştir. 2022 yılı ile birlikte hemen hemen 5 milyar insandan fazlasının internete erişimi olduğu tahmin edilmektedir. İnternetin temeli, problem ve sorunlara dayanıklı, kendine özel birden fazla bilgisayar arasında bir ağ kurulmasını ihtiyaç duyan, ABD'nin isteklerine 1960'ta çözüm üretmek için yapılan araştırmalardan gelmektedir [49].

İnternet, bir iletişim ağıdır ve bu ağ bilgisayar sistemleri ve ağlarını birbirlerine bağlayan elektronik ve yazılımın tümüdür. *Şekil 2. 5*'de bu ağın yapısı simüle edilmiş fotoğrafı görülmektedir [20].



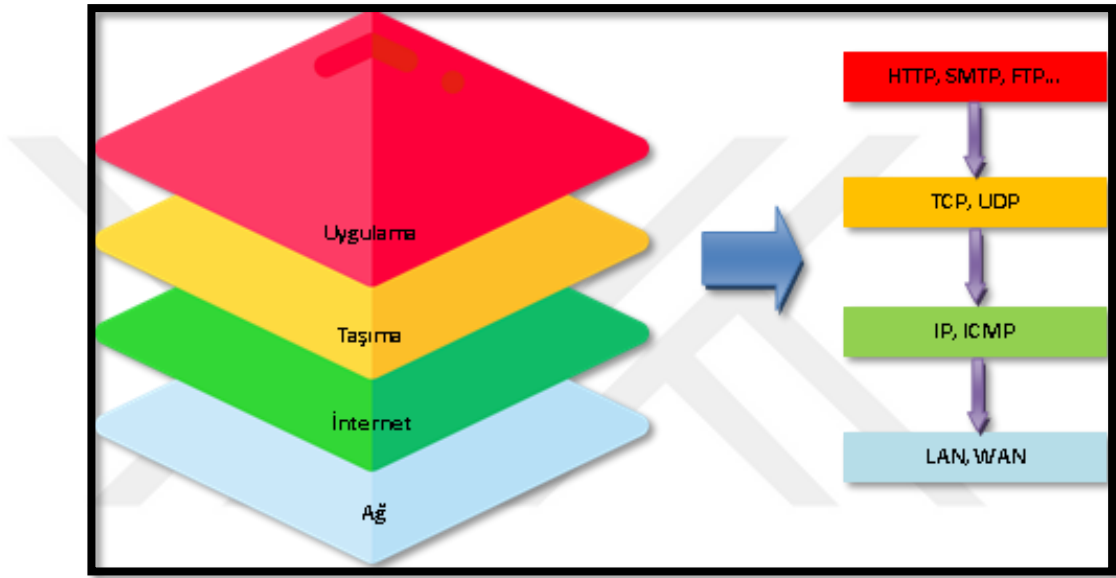
Şekil 2. 5. İnternet ağ yapısı

İnternet, internet erişimi olan iki bilgisayar arasında verileri farklı protokoller ile paket tipinde transfer edebilmektedir. İnternet'in üstünde elektronik e-posta ve internet sayfaları gibi birçok bilgi ve hizmet barındırmaktadır. Şekil 2. 6'da basit olarak internet ile haberleşme yapısı gösterilmektedir [20].



Şekil 2. 6. Katmanlar ile internet sistemi

Transfer Control Protokol/Internet Protokol (TCP/IP)'de, gönderilen veriler birçok katmana göre paketlenmesiyle gönderilir ve bunlar alıcı tarafında bu paketlerin sırayla açılıp verilere dönüştürülmesi ile iletilmiş olur. Her bir katman gönderilen verinin türü ve yapısına göre mail, dosya aktarma gibi belli bir protokol olarak işlem görmektedir. Bu TCP/IP'de Şekil 2. 7'deki gibi; Uygulama (Application), Taşıma (Transport), İnternet, Ağ Arayüzü (Network Interface) olmak üzere 4 katman mevcuttur [49].



Şekil 2. 7. TCP/IP katmanları

Uygulama Katmanı (Application Layer): Uygulama katmanında veriyi yollamak isteyen uygulamalar ve kullandığı dosyaların biçimleri çözülerek gönderilecek veri türüne uygun ayrı protokol ile haberleşme sağlanmaktadır. Bu protokoller SMTP, http, Telnet, FTP vb. ve program ve protokollerdir. Bu katmanın Taşıma katmanı ile haberleşmesi portlar ile sağlanmaktadır. Bazı standart uygulamaların portları FTP:21, HTTP:80, vs. gibidir. Bunlar rezerve edilmiştir. Gelen paketin türünün anlaşılmasına yardımcı olmaktadır [49].

Taşıma Katmanı (Transport Layer): Bu katmanın görevi verilerin nasıl yollandığıdır. User Datagram Protocol (UDP) ve Transmission Control Protocol (TCP) gibi protokoller bu katmandır. TCP ve UDP gönderme anında verinin içine belirli kontrol bilgilerini bulunduran başlık ekler. TCP, kayıp olmadan veri iletimini sağlayabilmek

için kullanan bir iletişim protokolüdür. İletilen verilerde özel TCP kabul paketi TCP ACK gönderilmektedir. Gönderilmiş olan paketin doğruluğu sorgulanır. Gönderen tarafın kabul edip etmediği kontrol edilir hata olan paket tekrar gönderilir. Böylece kontrollü gönderim sağlanmış olur. İki bilgisayar arasındaki veri iletimi Üç Zamanlı El Sıkışma (Three-Way Handshake) şeklinde kurulmaktadır. HTTPS, HTTP, SMTP, POP3, SFTP, FTP vb. protokollerdeki verilerin iletimi TCP kullanarak yapılmaktadır. UDP, veri paketinin ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmeden gönderilen bir iletim protokolüdür. Bazı işlemler TCP'deki gibi tekrarlı yapılmadığı için iletim zamanı azalmıştır ve ağda daha düşük bir bant genişliği kullanmaktadır. SNMP, TFTP vb. protokollerin çalışması UDP ile sağlanmaktadır [20, 49].

İnternet Katmanı (Internet Layer): İnternet katmanında kaynak ve hedef IP adresleri verinin başlığına eklenir ve bu veri hangi bilgisayara gönderilmesi gerektiği belirtilir. Veri Bloğu en yüksek boyutu 65.535 B boyutunda olabilmektedir. ICMP, IGMP, IP, ARP vb. protokoller buradaki katmanda çalışmaktadır [20].

Ağ Arayüzü Katmanı (Network Interface Layer): Bu katmanda veri bir ve sınıflara dönüştürülür kablolu veya kablosuz olarak iletme hazırlanıp gönderilir. Wifi ve Ethernet ile fiziksel olarak iletim sağlanmaktadır [49].

3. BÖLÜM

METOT VE GEREÇLERİ

Bu çalışmada İHA'ların GSM teknolojisi kullanılarak yer istasyonu ile haberleşmesi ele alınmıştır. Bu nedenle çalışma İHA, GSM ve YKİ olmak üzere üç aşamada oluşmuştur. İlk aşamada çalışma için kullanılacak İHA üretilmiştir. İHA üzeri otonom uçuş gerçekleştirmek için Pixhawk otonom uçuş kartı entegre edilmiştir. Kart vasıtasıyla gerekli haberleşme alt yapısı oluşturulmuştur. İkinci aşama olan GSM teknolojisi için ara donanım olarak Arduino Mega ile GSM modülü entegrasyonu sağlanmıştır. Bu aşamada 2G özelliğine sahip GSM modülü kullanılmıştır. Üçüncü aşamada YKİ, PHP web sunucusu GSM ile uzaktan erişim sağlanması için kurulmuştur. Böylece gerekli metot oluşturulmuştur [47].

3.1. İHA ve Özellikleri

Bu çalışmada İHA modeli üzerimi yapılmıştır. *Şekil 3. 1.*'de verilen İHA, Stick olarak bilinen basit yapılı sabit kanatlı bir uçak modelidir. İHA, standart üstten kanatlı ve basit kuyruk konfigürasyonu olan, 1 m gövde uzunluğuna, 1,3 m kanat açıklığına ve 1,5 kg ağırlığa sahiptir. Çalışmada stick modeli kullanılmasının temel sebeplerinden birisi manuel yapılan uçuşlarda oldukça kararlı olması ve stabil uçuş yapabilmesidir. Bunlara ek olarak sabit kanatlı yapının gövdesi, elektronik elemanların yerleştirilmesi için oldukça geniştir. Bundan dolayı çalışmada kullanılan gerekli bütün elektronik kart, sensörler ve batarya gövde içerisine kolaylıkla yerleştirilmiştir. Bu çalışmada İHA'nın itiş gücü, sadece bir elektrikli DC motor üzerinden Li-Po bataryadan aldığı enerji ile sağlanmaktadır.



Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan İHA'nın başarılı uçuştan sonraki fotoğrafı

3.2. Pixhawk

Çalışmada Radiolink firmasına ait Şekil 3. 2'deki Pixhawk bir uçuş kontrol (flight control) kartı kullanılmaktadır. Pixhawk uçuş kontrol kartı multikopter ve sabit kanatlı İHA'ları desteklemektedir. Ana işlemci olarak 32 bitlik Arm CortexM4 tabana sahip STMicroelectronic'in bir ürünü ile bulunmaktadır [31].



Şekil 3. 2. Pixhawk uçuş kartı

Genel olarak kartın özellikleri, servo ve motorlar için 14 tane PWM çıkış bulunmakta, sensör ve kontrol elemanlarını kolaylaştırmak için Uart, I2C ve CAN çevresel haberleşme birimleri, Pixhawk kartının durumlarını belirtmek için çok renkli LED, uzun süreli ve yüksek frekans ile sensör verilerini kaydedilip daha sonradan inceleyebilmek için SD kart desteği bulunmaktadır [31].

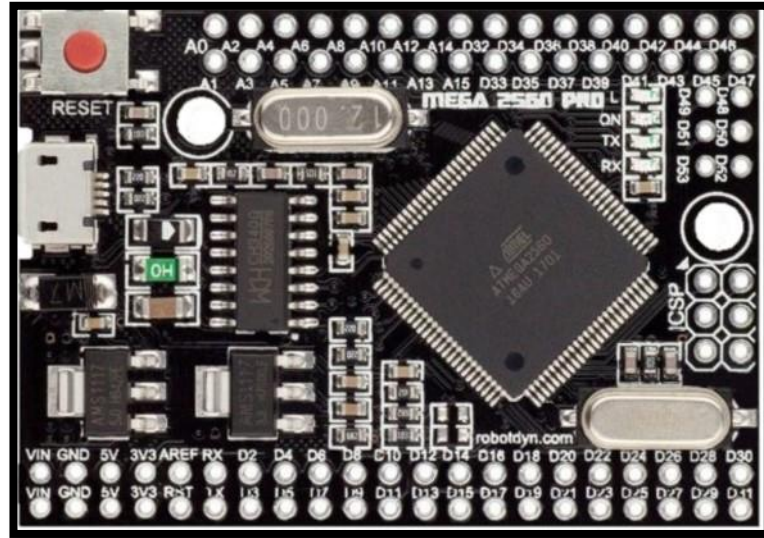
Pixhawk uçuş kontrol kartındaki sensörler; ST Micro LSM303D 3-axis 14-bit accelerometer/magnetometer, ST Micro L3GD20 3-axis 16-bit gyroscope, MEAS MS5611 barometer, Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X® Satellite, Invensense MPU 6000 3-axis accelerometer/gyroscope, kumanda haberleşmesi için S-BUS uyumludur [32, 43-44].

3.3. Arduino

Arduino, kolay kullanımı olan donanım ve yazılımında açık kaynağa sahip bir elektronik geliştirme platformudur. Arduino geliştirme kartları, çeşitli sensörler ile dijital ve analog girişleri kullanarak haberleşebilmektedir. Arduino kartının donanımında ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4 vb. bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici, diğer devrelere bağlantı için gerekli çevre ve programlama elemanları bulunmaktadır [24].

Arduino, farklı ihtiyaçlar için çözüm üretebilmek ve tasarlanmış çeşitli kartları ile yeni tasarımlar yapabilmek için çeşitli modüller vardır. İşlemcide 54 dijital giriş çıkış pinleri bulunmaktadır. Bu pinlerden 15 tane PWM olabilmektedir. Buna ek olarak 16 analog giriş bulunmaktadır [45].

Bu çalışmada, Arduino Mega 2560 kartı kullanılmaktadır. Bu kartın kullanılmasının temel nedeni 4 adet UART a sabit olması ve İHA'da Şekil 3. 3'deki gibi boyut olarak daha az yer kaplamasıdır. Çalışmada 3 tane UART kullanılmıştır [24].



Şekil 3. 3. Arduino pro mini

3.4. GSM Modülleri

Bu çalışmada kullanılan SIM808 GSM modülü Şekil 3. 4’de verilmiştir. SIM808 GSM modülü, Raspberry Pi ve Arduino gibi çeşitli geliştirme kartları ile GSM haberleşmesi ve GPS özelliklerini kullanmasını sağlayabilen, SIM808 modülüne sahip geliştirme kartı kullanılmaktadır. Bu kartın sayesinde SMS yollayıp alabilmekte ve konum takibi yapılabilen ve buna ek olarak aynı zamanda internete bağlanılabilmektedir [27].



Şekil 3. 4. SIM808 GSM modülü

SIM808 kartını 5-20 V DC batarya ile veya güç kaynağı kullanarak beslenmesi mümkün olabilmektedir. Kart ön yüzünde Li-Po batarya bağlantısının kullanılmasıyla bir hücreye sahip hücreli Li-Po veya Li-Ion batarya olabilmektedir. Kartta anten bağlantıları için SMA konektörler GPS, GSM ve Bluetooth için ayrı ayrı bulunmaktadır. Modülü çalıştırabilmek için enerji bağlantısını yaptıktan sonra açma butonuna 2sn boyunca basılı tutarak açılmaktadır. Modülün şebeke gücü ve bağlanma durumlarını gösterge LED'inden takip edilebilir. Raspberry Pi ve Arduino vb. geliştirme kartlarının bağlanabilmesi için 5V/3.3V/1.25V'luk TTL UART'ı bulunmaktadır. Bu çalışmada, Arduino ile SIM808 UART kullanarak haberleşmektedir [33].

SIM808 Modül Kartı, çift bant 1900, 1800, 900, 850 MHz'leri destekler, yeryüzünde bütün 2G şebekelerle uyum sağlamaktadır. Kendinden MT3337 GPS alıcı, -166dBm hassasiyette, GSM ile aynı UART'tan kontrol edilebilir. Ayrıca bu kartın üzerinde sesli görüşme için mikrofon girişi ve kulaklık çıkışı bulunmaktadır. Kısa mesaj gönderme alma özelliği de ve buna ek olarak bu çalışmada aktif olarak kullanılan GPRS'den internet erişimi HTTP, TCP/IP vb. protokoller ile bulunmaktadır [33].

3.5. WEB Teknolojileri

WEB, yani Dünya Çapında Ağ olarak çevrile bilinen World-Wide-Web (WWW)'den gelmektedir. İnternet ile paylaşılan birbirleri ile bağlantıları olan dokümanlar ve bunlardan oluşan dinamik bilgisayar sistemlerinin birleşimidir. İnternet ile erişilebilen doküman ve belgelerin tümüne web sayfası denilmektedir. Web sayfalarındaki verilere ulaşabilen internet bağlantılı araçlara da web tarayıcısı programı olarak ifade edilmektedir. Web sayfalarında video, fotoğraf ve metin diğer bu ve buna benzer öğeleri bulundurabilmektedir. Hiper-bağlantılar ile başka web sayfalarına geçiş yapıla bilinmektedir [20].

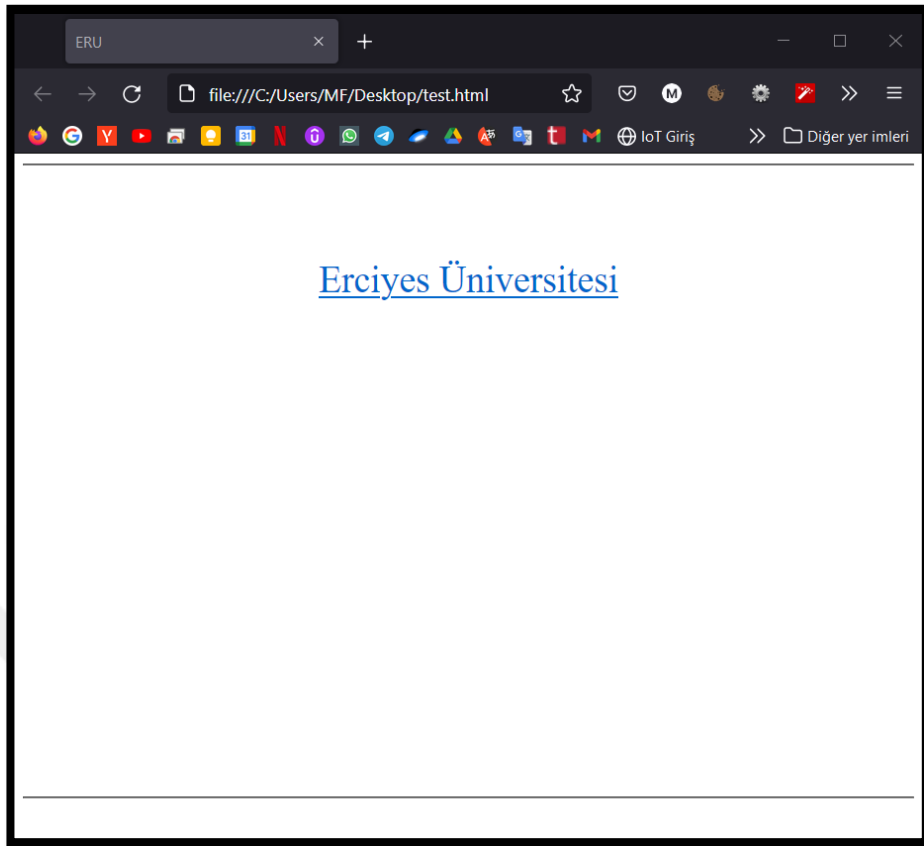
Web siteleri yalnızca internet ağı ile çalışabilen sistemdir. Bu kavramı, ilk olarak Tim Berners-Lee adında bir bilgisayar programcısının HTML adında bir dili geliştirmesi ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde tüm bu dinamik yapının geliştirenin başında olduğu Wide-Web-Consortium (W3C) belirlediği standartlar ile kontrol edilmektedir [49].

3.5.1. HTML

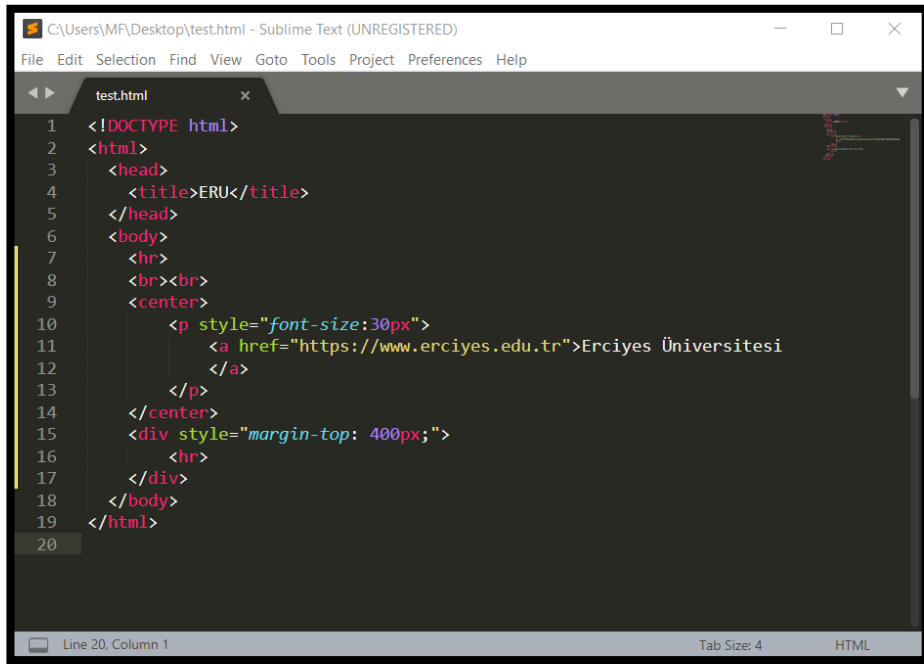
Hypertext Markup Language (HTML), web sayfalarının oluşturulması için kullanılan bir metin işaretleme standart dili olmaktadır. HTML5 nihai son sürümdür. HTML, tam olarak programlama dili sayılmamaktadır. Bu dili kullanarak tek başına çalışan bir uygulama yazılamamaktadır. Bu dil yorumlanması için kullanılan web araçları yani tarayıcılar ile kullanılmaktadır. Bu yüzden tam olarak program dili değildir. Temel olarak görüntü, metin, video vb. farklı veri ve bunların içerdiği web sayfalarını birbirlerine bağlamaktadır. Bu bağlamlar görüntülensin diye de bu dil kullanılmaktadır. Bu dilin belli standart ve kuralları vardır ve bu diller buna göre yazıldıktan sonra kişisel bilgisayarlarımızdaki tarayıcılar ile yorumlanmaktadır [49].

Basitçe HTML dilinde yazılan kod tarayıcı tarafından okunur, yorumlanır ve görebildiğimiz görsel sitelere dönüştürülür. Aynı kodun değişik tarayıcılar ile farklı görselleştirilmesi bu yüzden vardır. Daha dinamik web sitelerinin tasarlanması için JavaScript ve CSS gibi beraber kullanılabilen ve yine tarayıcı tarafından yorumlanan dillerde bulunmaktadır [29].

HTML dili, ‘<’ ve ‘>’ işaretlerinin aralarına yazılmaktadır. Örnek olarak ‘<html>’ verilebilir. Bunlara etiket denilmektedir. Bu etiketi kapatmak için ‘</html>’ kullanılmaktadır. Örnek olarak Şekil 3. 6’deki gibi Erciyes Üniversitesi , fakat tek bir komut ile sonu olmayan içinde veri olmayan bir işlem yapılması gerekiyorsa şekildeki ‘<hr>’ gibi tek olarak da kullanılabilir [29, 41].



Şekil 3. 5. Basit bir HTML ile yazılmış web sayfası örneği



Şekil 3. 6. Şekil 3. 5.'deki web sayfası örneğinin kodları

3.5.2. CSS

Basamaklı Stil Şablonları (Cascading Style Sheets, CSS), HTML ile kullanılan görsel zenginlik katan işaretlemeli bir dildir. İnternet siteleri için şablon hazırlanabilir. Siteye ekstra stil, yazı tipi ve renk katar. *Şekil 3. 6'deki* `style="font-size:30px"` gibi büyüklük vb. özellikleri değiştirebilmek için kullanılmaktadır [40].

Bir Web sayfasının içinde kendi aralarında uyumlu birden fazla renk ve yazı tipi kullanılabilir ve bunları diğer farklı sayfalarda da yeniden tanımlamak yerine CSS kullanarak bir defa tanımlandıktan sonra diğer Web sayfalarında da kullanım olanağı sağlamaktadır. Bu tanımlama sayesinde sayfanın hafızada kapladığı alan küçülür ve güncelleme yapıldığında kolaylık sağlanmış olur. CSS dilinde yazılan kodlar, HTML'nin içine yazılabildiğinin yanı sıra farklı bir .css uzantılı bir dosyanın içine yazılıp çağrılabilir [29, 42].

3.5.3. JavaScript

JavaScript, genelde web tarayıcısında kullanılmak üzere geliştirilen dinamik yapıya sahip bir dildir. Bu dil ile yazılan kodlar tarayıcıyı kullanan kullanıcının etkileşim ile kullanabilmesi için betiklerdir. Javascript, asenkron sunucu bağlantılarında, tarayıcıdaki kontrol işlemlerinde daha özellikli siteler geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Node.js vb. çeşitli platformların dili javascript olup sunucu kısmında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Java ve JavaScript arasında isimsel bir benzerlik olmasına rağmen bu iki dil farklıdır. [29, 38, 49].

3.5.4. PHP

Üstünyazı Önışlemcisi (Hypertext Preprocessor, PHP), özellikle web geliştirme için uygun olan ve HTML'ye gömülebilen, yaygın olarak tüm dünyada kullanılan açık kaynağa sahip, genel amaçlı bir betik dilidir. PHP'yi istemci tarafı JavaScript gibi bir dilden ayıran önemli şey, kodun sunucuda yürütülmesidir. Bunun ardından istemciye gönderilen HTML'nin üretilmesidir. İstemci, bu komut dosyasını çalıştırmanın sonuçlarını alır, ancak temel alınan kodun yani php dosyasının ne olduğunu bilemez ve erişemez. Bunun yanında web sunucunuzu PHP ile bütün HTML kodlarınızı işleyecek şekilde yapılandırabilirsiniz ve o zaman kullanıcıların elinizde ne olduğunu çözmelerinin ve anlamalarının hiçbir yolu yoktur. PHP kullanmanın en iyi yanı, yeni

başlayanlar için son derece basit bir yapıya sahip olmasıdır, ancak profesyonel bir programcı için birçok gelişmiş özellik sunmasıdır [29].

Bu çalışmada, PHP veri tabanına, web sayfalarına ve İHA bağlantıları için kullanılmaktadır. PHP kodları Visual Studio Code (VSC) da yazılmıştır [25, 36, 37].

3.5.5 MySQL

MySQL, 7 milyondan daha çok sistemde yüklü olan çoklu iş parçacıklı, çok kullanıcı, hızlı ve dayanıklı olan güçlü bir veri tabanı yönetim sistemidir. Veritabanı, yapılandırılmış ve erişilmesi hızlandırılmış bir veri topluluğudur. Basit bir alışveriş listesinden bir resim galerisine veya kurumsal bir ağda çok büyük miktarda bilgiyi tutacak bir yere kadar her şey olabilmektedir bu sistemde. Özellikle ilişkisel bir veri tabanı, verileri toplayan ve ilişkisel modele göre organize eden bir dijital mağaza gibidir. Bu modellerde tablolar satırlar ve sütunlardan oluşan ve veri ögeleri arasındaki ilişkilerin tümü katı bir mantıksal yapıyı takip etmektedir. Birçok platformda ücretsizdir. Eğer ticari bir lisans almak isterseniz ücreti olmaktadır. SQL dili kullanılmakta ve bu dil oldukça basit olmaktadır. Geliştiriciler tarafından çok fazla kullanıldığı için hemen hemen tüm yazılım dillerinde erişim kodları bulunmaktadır. Bu çalışmada veri tabanı olarak MySQL kullanılmaktadır [25, 37, 39, 48].

4. BÖLÜM

YÖNTEM VE BULGULAR

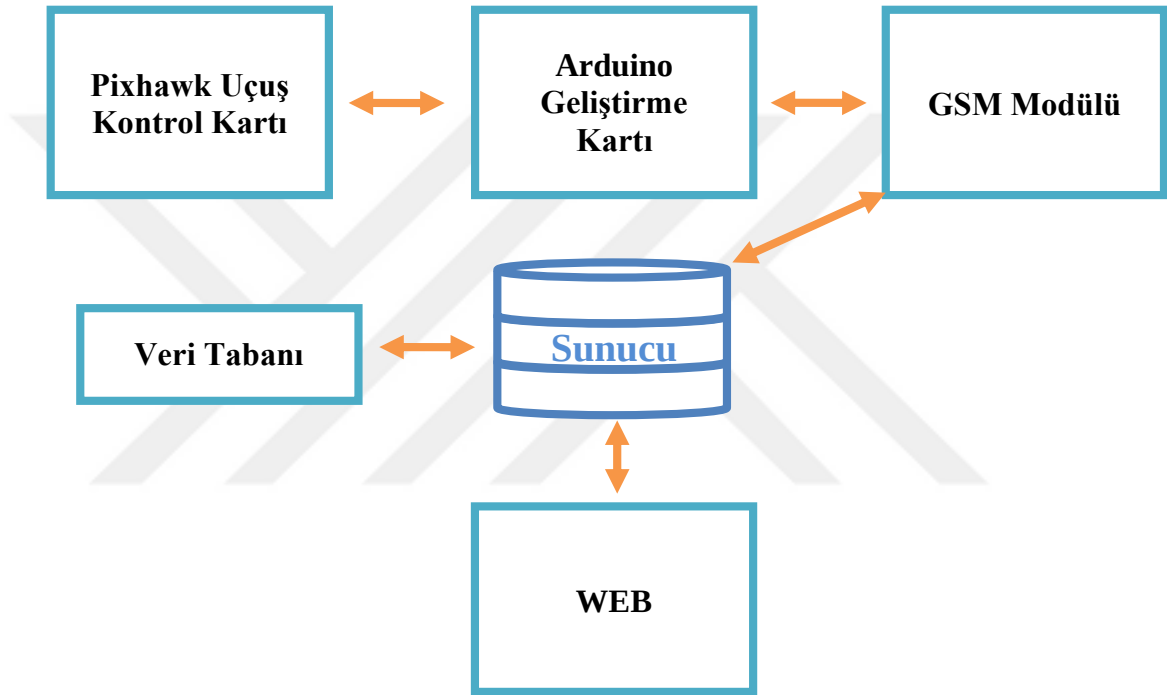
Bu çalışmada, İHA'ların GSM teknolojisi kullanılarak YKİ haberleşmesi için kullanılan yöntem belirli adımlar geçirilerek elde edilmiştir. Burada çalışmanın ana amacını oluşturan GSM ile haberleşmenin İHA'ya uyarlanabilirliği ele alındı. Bu amaç için öncelikle İHA haberleşme teknolojileri öğrenilerek en uygun mobil ve GSM modülü temin edildi. Çalışmanın ikinci adımını oluşturan internet teknolojilerinin yaygınlığı kaçınılmaz kolaylığının ne gibi avantajları olabileceği ve otonom İHA'ların öncelikle yer istasyonu ile sunucu üzerinden haberleşmesi ve bunu kullanarak daha sonra birbirleri arasında yapay zekâ ile kontrol ve görevleri otomatik yerine getirmeleri için tek merkezden tüm İHA'ların gözlem ve kontrol sisteminin temeli oluşturuldu.

Uygun GSM sistemi araştırıldı. Kütüphane yazıldı. Pixhawk uçuş kartı ve bunun telemetri protokolü araştırıldı. Arduino Mega kullanılarak Pixhawk uçuş kartından alınan veriler işlendi. İşlenen veriler GSM teknolojisi ile sunucuya gönderilip veri tabanında işlendi.

Çalışmanın üçüncü adımında Arduino Mega kullanarak Pixhawk uçuş kartından alınan veriler için gerekli kütüphaneler oluşturuldu. Oluşturulan kütüphaneler aracılığı ile uçuş verileri sunucu tabanına GSM kullanılarak aktarıldı.

4.1. GSM ile Haberleşmenin Mimarisi

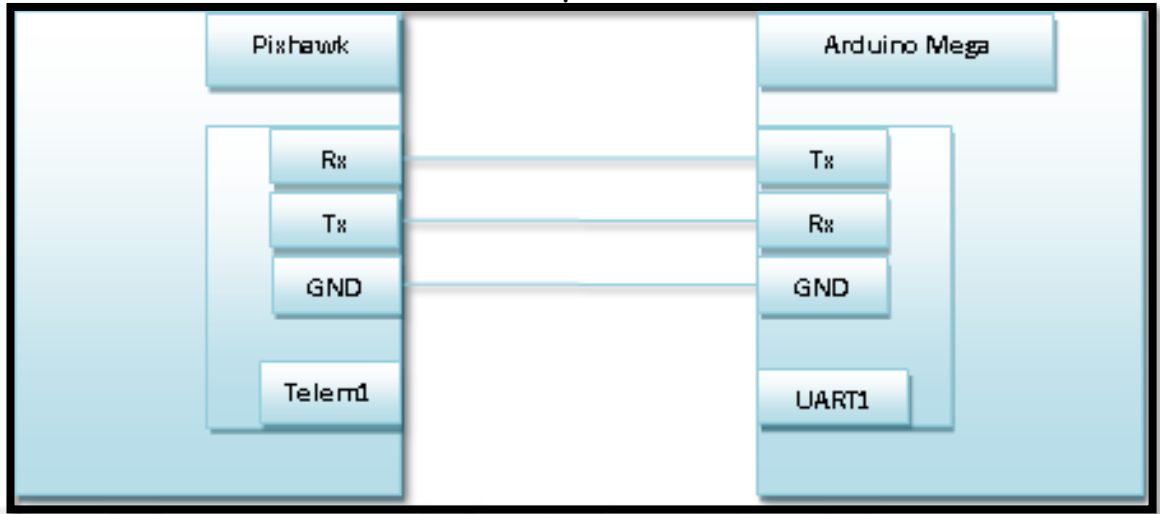
İHA'ya montajı kurulumu yapılan Pixhawk kartı ile Arduino üzerinden veriler alınmaktadır ve burada alınan veriler GSM modülü üzerinden sunucu da yazılan PHP servise gönderilmektedir. Gelen JSON formatlı veriler burada işlenip oluşturulan MySQL veri tabanındaki tablolara yazılmaktadır. Bu tasarlanan sistemin özeti Şekil 4. 1.'de verilmiştir.



Şekil 4. 1. GSM kullanarak GSM ile haberleşme mimarisi

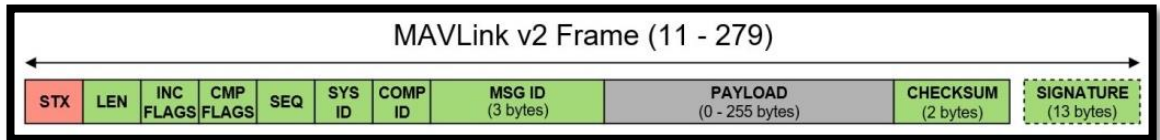
4.1.1. Pixhawk ile Arduino Haberleşmesi

Pixhawk uçuş kontrol kartının İHA'ya kurulumunda ve ayarlanmasında Mission Planner arayüzü kullanılmıştır. Pixhawk kurulumunun yapılmasından sonra veri aktarımı için Telemetry üzerinden Arduino Mega ile Pixhawk haberleşme ortamı oluşturulmuştur. Gerekli Bağlantı gösterimi, Şekil 4. 2. Pixhawk ile Arduino arasındaki bağlantı ile verilmiştir. Arduino Mega üzerinde ise Serial1 aktif edilmiştir. İki platform arasında donanımsal olarak UART haberleşmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. 2. Pixhawk ile Arduino arasındaki bağlantı

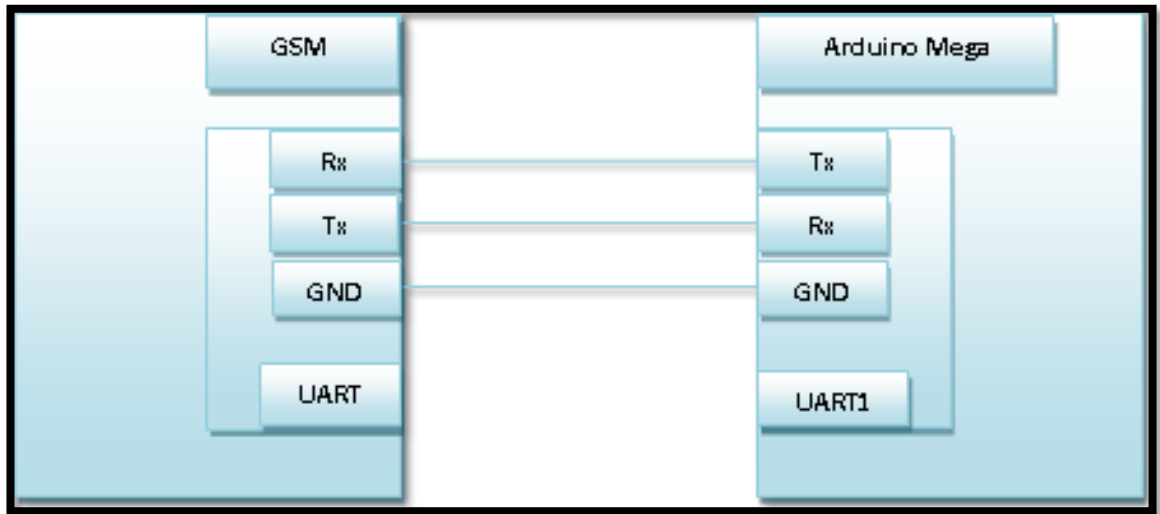
Arduino MEGA Serial1 ile Pixhawk kartındaki Mavlink2 protokolünün arasındaki haberleşme için standart paket içeriği Şekil 4. 3'deki gösterilmiştir. Bu paket Arduino mikrodenetleyici ile işlenerek verileri ayrıştırılmaktadır [30].



Şekil 4. 3. MAVLink v2 frame

4.1.2. Arduino ile GSM Haberleşmesi

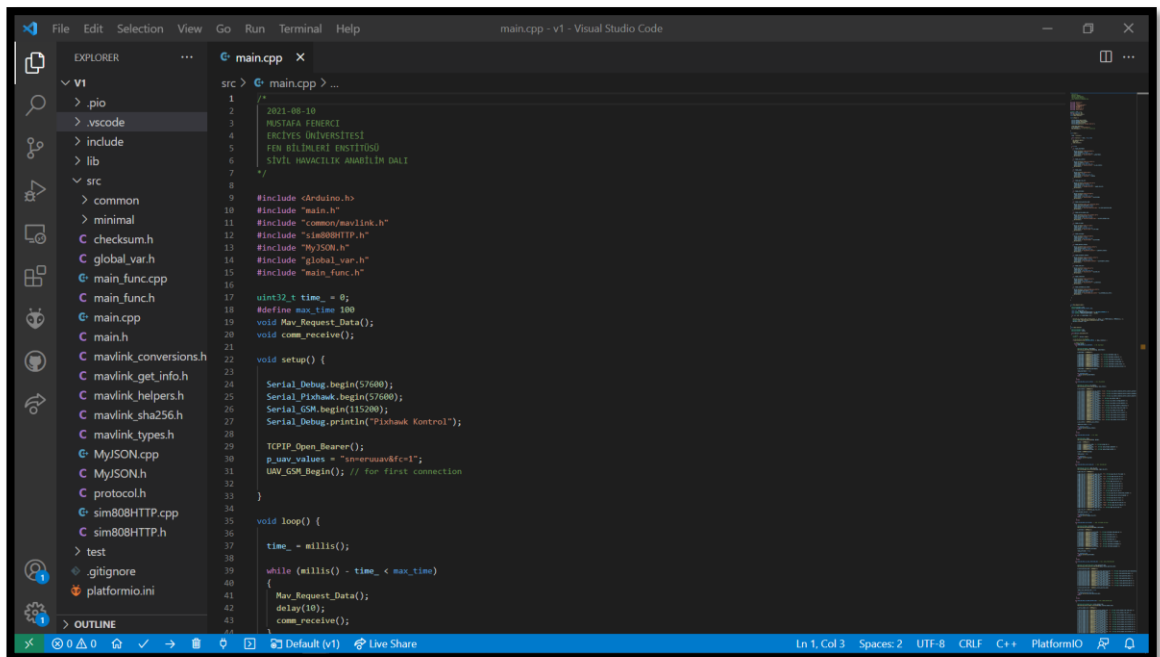
Pixhawk kartından alınan veriler Arduinoda işlendikten sonra JSON formatına dönüştürülmüştür. JSON formatındaki veriler Şekil 4. 4'deki gibi serial ile GSM modülüne AT komutları kullanarak gönderilmektedir [33].



Şekil 4. 4. SIM808 modülü ile Arduino arasındaki bağlantı

4.1.3. GSM ile Sunucu Haberleşmesi

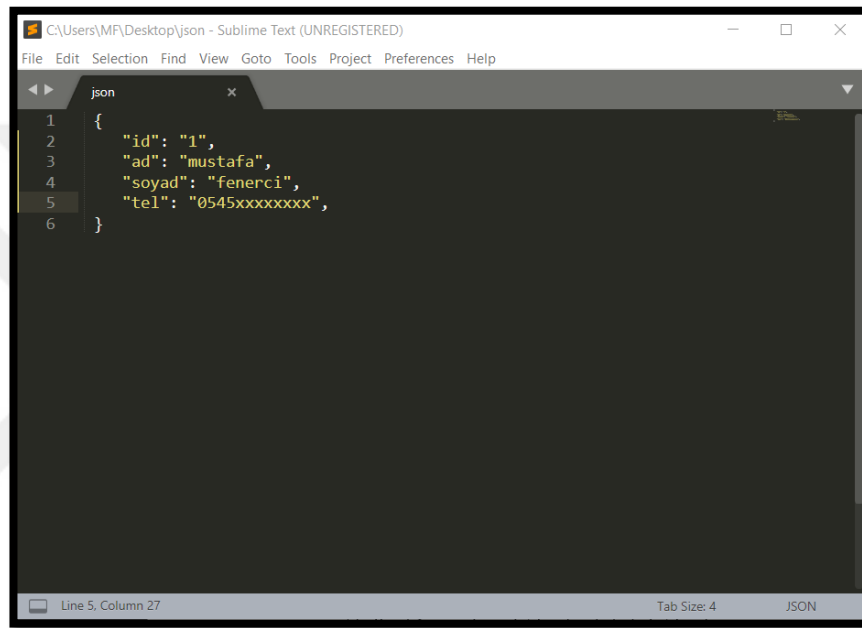
Arduinoda JSON formatı olarak oluşturulan veriler, PHP sunucusuna POST edilmiştir. POST edilen veriler sunucuda alındıktan sonra MySQL de oluşturulan tablolara yazılmıştır. Tüm Gömülü kodları Şekil 4. 5'deki Visual Studio Code da yazılmıştır.



Şekil 4. 5. Visual studio code arayüzü

4.1.3.1. JSON

JSON bütün programlama dilleri arasında veri aktarımına kolayca sağlayan metinsel bir formatıdır. *Şekil 4. 6*'deki gibi basit noktalama işaretleri ile kullanılmaktadır. Hem PHP serviste hem de Arduino da JSON kütüphanesi bulunmaktadır. Fakat Arduino tarafında yüksek ram kullandığı için kütüphane yazılmıştır. Böylelikle kullanmayan bazı fonksiyonlar boşuna derlenmemiştir [35].



Şekil 4. 6. Basit bir JSON gösterimi

4.1.3.2. HTTP

HTTP, istemciler ve sunucular arasındaki iletişimi sağlamak için tasarlanmıştır. HTTP kullanarak GSM'den PHP sunucuya İHA dan alınan veriler POST metodu kullanılarak gönderilmiştir. POST ile gönderilmesinin nedeni verilerin daha güvenli gönderilmesi isteğidir [20, 29, 49].

4.1.3.3. PHP Servis

PHP servis, PHP dili kullanılarak yazılan ve GSM modülünden gelen verilerin karşılandığı koddur. Arduino ile GSM modülü üzerinden gönderilen benzersiz bir seri numara ile sunucudan bulunan İHA'lar arasında sorgulanabilmektedir. Eğer sistem

sistemde kayıtlı bir seri numarası ile bağlanırsa ilk başta yeni bir uçuş kaydı id si alınabilmektedir. Alınan yeni id UAVS tablosundaki kayıt id sine yazılmaktadır. Daha sonra alınan veriler UAV log a bağlanan İHA id ile kayıtlar eklemeye başlanmaktadır. Ortalama 200 ms bir sistem Pixhawk tarafından alınan verileri PHP servise aktarmaktadır. Bu aktarılan verileri tarih ile damgalanmaktadır.

PHP servis tarafından kabul edilecek POST edilen veriler; p_heartbeat, p_sys_status, p_ping, p_gps_raw_int, p_attitude, p_local_position_ned, p_servo_output_raw, p_vfr_hud, p_altitude, p_battery_status, p_estimator_status, p_wind_cov, p_vibration, ve p_extended_sys_state isimlerinde olmalıdır. Şekil 4. 7'deki gibi istenilen verileri JSON formatında ayıkladığı zaman verilmektedir.

```
if (!empty($_POST["p_heartbeat"])) // ok
{
    $json = $_POST["p_heartbeat"];

    $heartbeat = json_decode($json, true);

    $t = $heartbeat["t"];
    $a = $heartbeat["a"];
    $bm = $heartbeat["bm"];
    $cm = $heartbeat["cm"];
    $ss = $heartbeat["ss"];
    $mv = $heartbeat["mv"];

    $sql = "INSERT INTO `uavs_heartbeat`
    (
        `uav_id`,
        `measurement_id`,
        `type`, `autopilot`,
        `base_mode`,
        `custom_mode`,
        `system_status`,
        `mavlink_version`,
        `time`
    )
    VALUES
    (
        '$uav_id',
        '$measurement_id',
        '$t',
        '$a',
        '$bm',
        '$cm',
        '$ss',
        '$mv',
        NOW()
    )";

    $result = mysqli_query($db,$sql);
}
```

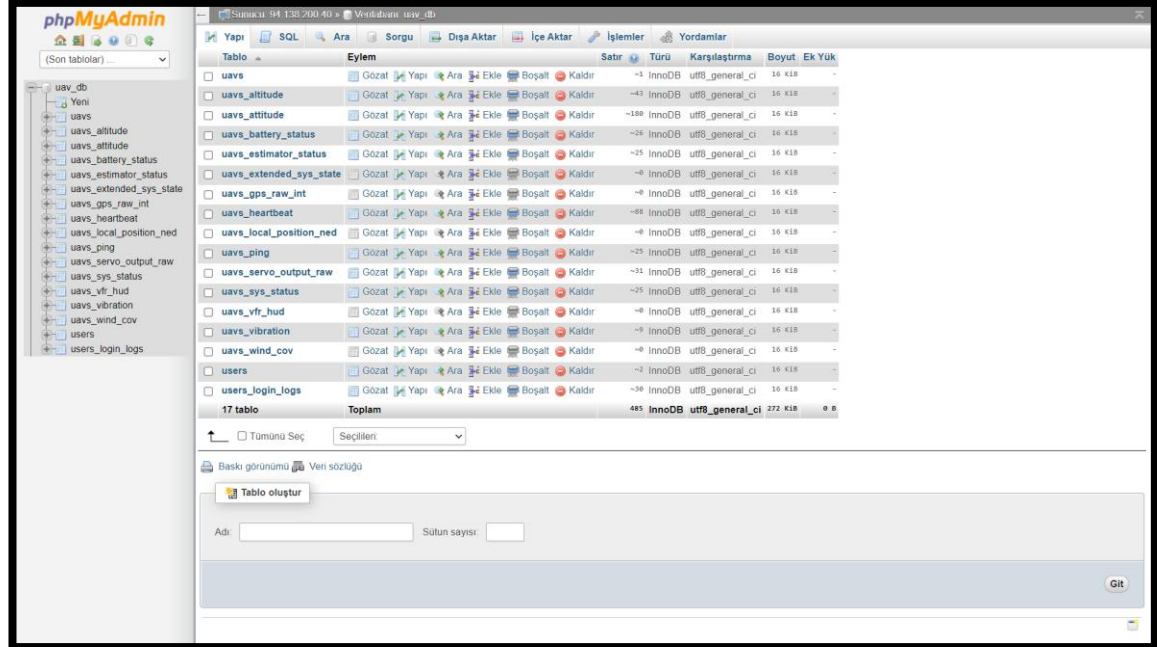
Şekil 4. 7. PHP servise bağlanınca karşılayan servis kodları

4.2. WEB Kullanıcı Arayüzü

Web kullanıcı arayüzü için, ilk olarak hosting firmasından PHP tabanlı bir hosting paketi satın alınmıştır. Daha sonra burada PHPMyAdmin kullanılarak gerekli tabloları oluşturulmuştur. Sistem genel olarak tek merkezden yönetileceği için web sitesindeki tüm sistemi kontrol etmek için bir yönetici paneli yazılmıştır. Genel olarak tüm sistemdeki İHA'ların sistem bilgilerini çift yönlü olarak sonucu ile haberleşerek veri tabanına kaydedilerek ve bir web tarayıcı ile tüm verilere erişilebilmektedir.

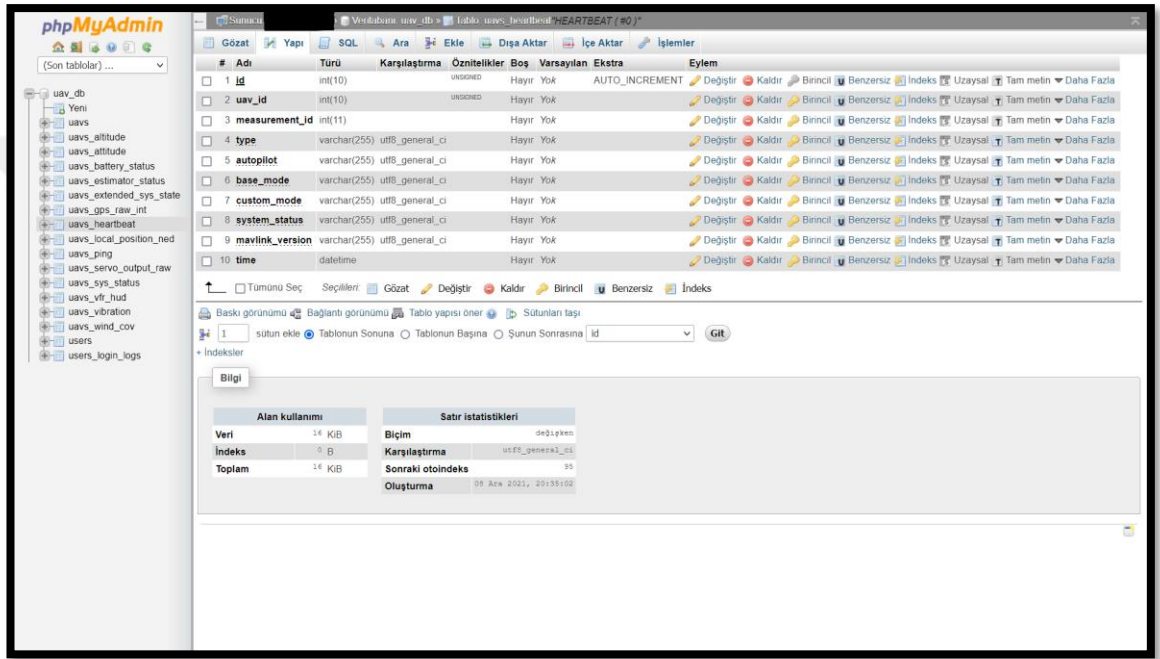
4.2.1. Veri Tabanı Mimarisi

PHPMyAdmin uzak sunucularda MySQL veri tabanını kontrol etmek için kullanılan açık kaynaklı bir *Şekil 4. 8.*'deki gibi bir arayüzdür. Bu ara yüz kullanarak kullanılacak tüm tabloları istenilen veri yapıları ile tanımlanmıştır. İHA'nın kontrol kartı olan Pixhawk'tan alınan sensörlerden alınan verileri daha anlamlı bir şekilde ayrıştırmak ve kullanmak için *Şekil 4. 8.*'deki gibi her veri setine ait farklı bir tablo kullanılmıştır.



Şekil 4. 8. phpMyAdmin MySQL kontrol panelinden veri tabanındaki tüm tabloların gösterilmesi

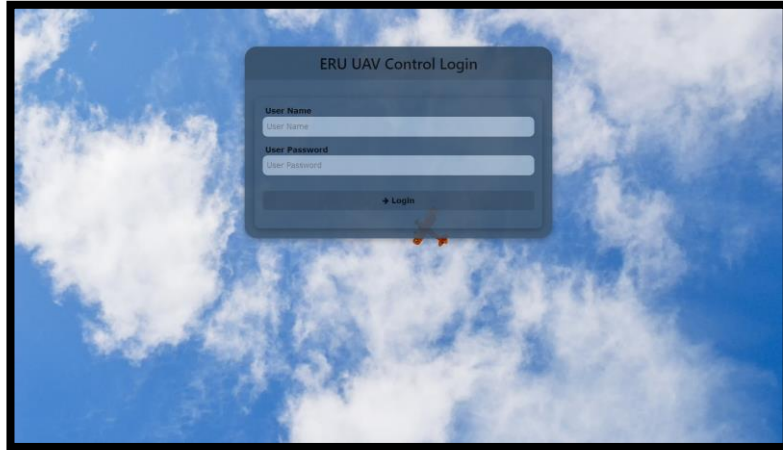
Genel olarak MySQL'deki bir tablonun yapısını Şekil 4. 9'deki gibidir. İşaretsiz otomatik artan bir id field (sütunu) 'i tanımlanmıştır. Daha sonra uav_id birden İHA'nın aynı anda görüntülenmesi için eklenmiştir. Sonra Pixhawk kartından Heartbeat verilerinin her biri için ayrı ayrı sütunlar oluşturulmuştur. En son olarak gelen verinin süresini belirten time sütunu eklenmiştir. Şekil 4. 9'deki gibi tüm tablolar eklendikten sonra sistem çalışır duruma getirilmiştir.



Şekil 4. 9. Bir tablonun veri seti örneği

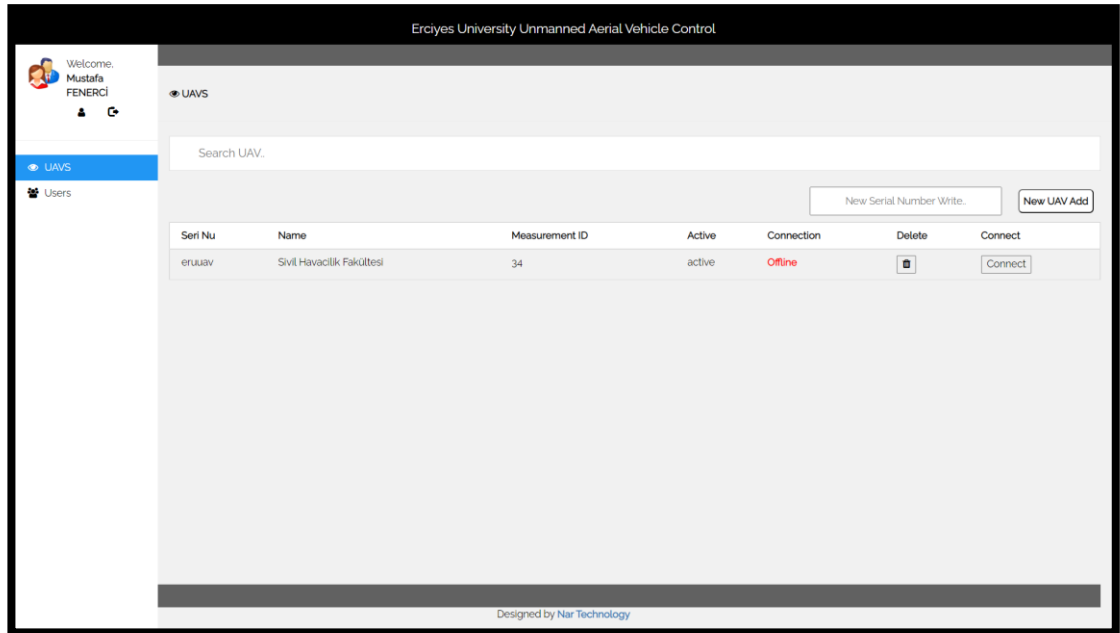
4.2.2. Kullanıcı Arayüz Mimarisi

Kullanıcı arayüzü için sunucuya FTP bağlantısı yapıp öncelikle veri tabanı bağlantısı sağlanmıştır. Config.php dosyasına kullanıcı verileri girilmiştir. Oturum yönetimi için session.php kodu yazılmıştır. Login.php yazılıp burada Şekil 4. 10'deki gibi form html kodu yazılmıştır. Forma girilen kullanıcı adı ve şifreyi yine login.php ye POST ederek aynı sayfadaki PHP kodlarında işleme sokularak users tablosundan karşılaştırma yapılarak onaylanması durumunda uavs.php sayfasına yönlendirilmiştir.



Şekil 4. 10. İHA kontrol web sitesinin login sayfası

Şekil 4. 11.'deki uavs.php sayfasına yönlendirilmiştir. Yeni seri numarası ekle ile kullanılan İHA'nın seri numarası sisteme girilmiştir. Oluşturulan kayıt ile artık İHA'ya erişim sağlanabilmektedir. Eğer o an İHA o an açıksa sisteme bağlantı bilgisi gönderildiği için Online yazılmaktadır. Ölçüm ID si uçuş numarasını belirtmektedir. Her cihaz için ilk elektrik verildiğinde yeni Ölçüm ID oluşturulmaktadır. Gelen bütün veriler loglara eklenmektedir. Arama menüsü ile İHA'mız seçilip connect butonu ile tüm İHA verileri sayfayı yenilemeden çekilmektedir.



Şekil 4. 11. İHA kontrol karşılaama ekranı uav.php sayfası

Bağlan butonu basıldığında uav.php sayfasına İHA id ile GET metodu kullanılarak bağlanılan İHA'nın tüm verileri AJAX ile sayfa yenilenmeden anlık olarak Şekil 4. 12'deki gibi görüntülenmektedir. Veri tabanındaki tüm tablolar burada HTML, CSS, JavaScript ve PHP dilleri kullanılarak yazılmış bu sayfada gösterilmektedir. Buradaki ayarlar butonuna basılarak İHA ile ilgili ayarlar menüsüne geçilmektedir.

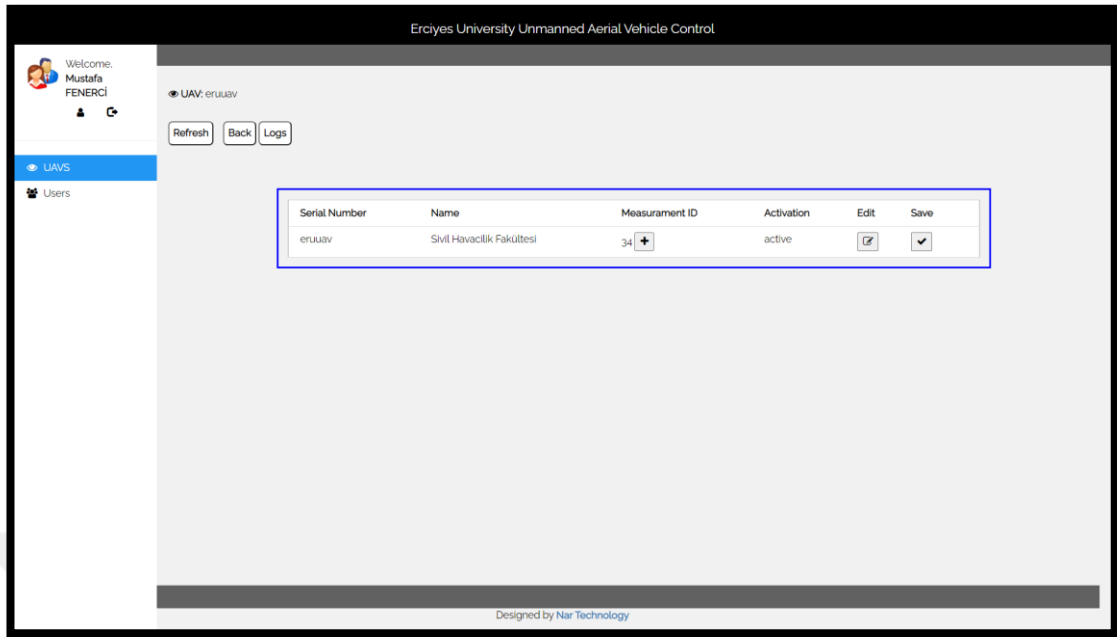
The screenshot displays the 'Erciyes University Unmanned Aerial Vehicle Control' web interface. On the left, a sidebar shows a welcome message for 'Mustafa FENERCI' and navigation links for 'UAVS' and 'Users'. The main content area features two tables: 'Heartbeat' and 'System Status'. Both tables show various sensor readings, most of which are currently 'NULL'.

Field Name	Value	Unit
Type	NULL	MAV_TYPE
Autopilot	NULL	MAV_AUTOPILOT
Base Mode	NULL	MAV_MODE_FLAG
Custom Mode	NULL	
System Status	NULL	MAV_STATE
Mavlink Version	NULL	

Field Name	Value	Unit
Onboard Control Sensors Present	NULL	MAV_SYS_STATUS_SENSOR
Onboard Control Sensors Enabled	NULL	MAV_SYS_STATUS_SENSOR
Onboard Control Sensors Health	NULL	MAV_SYS_STATUS_SENSOR
Current Battery	NULL	mA
Battery Remaining	NULL	%
Drop Rate Comm	NULL	c%

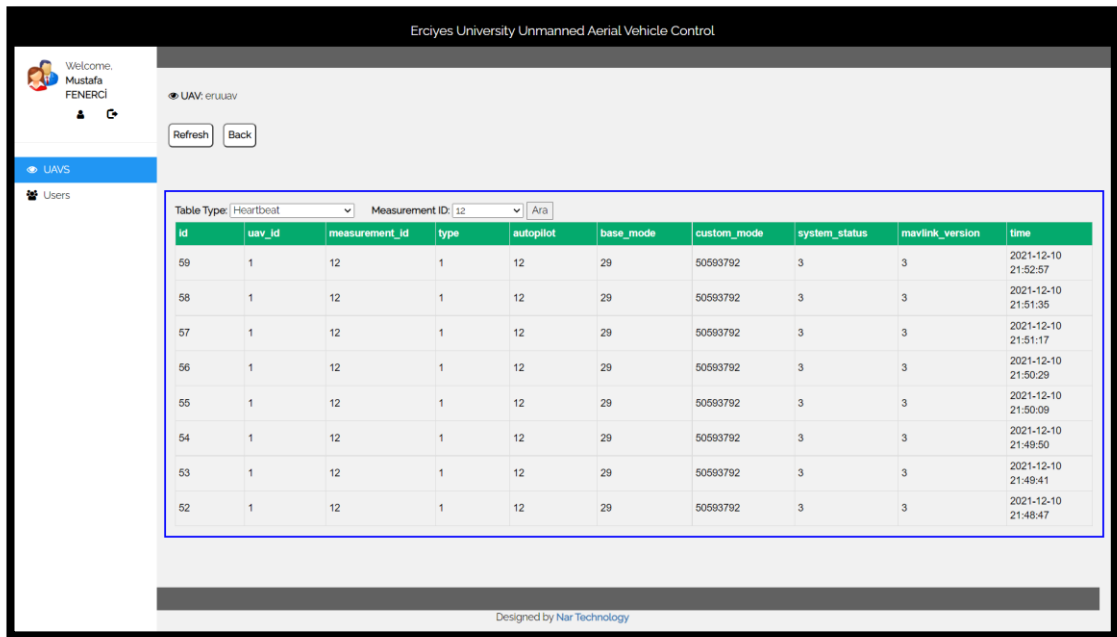
Şekil 4. 12. İHA'nın anlık sensör verileri görüntüleme uav.php sayfası

Şekil 4. 13'deki İHA ile ilgili uavsetting.php sayfasına bağlanıldığında cihazın daha önce verilen seri numarası değiştirilebilmektedir. İHA etiket adı atanabilmektedir. Sivil Havacılık Fakültesi gibi uçuş yani ölçüm ID si değiştirilebilmektedir. İHA aktivasyonu kontrol edilebilmektedir. Burada logs butonu ile İHA ile ilgili geçmiş uçuş kayıtlarına ulaşılabilir.



Şekil 4. 13. Tanımlı İHA'nın ayarlarının yapıldığı uavsetting.php sayfası

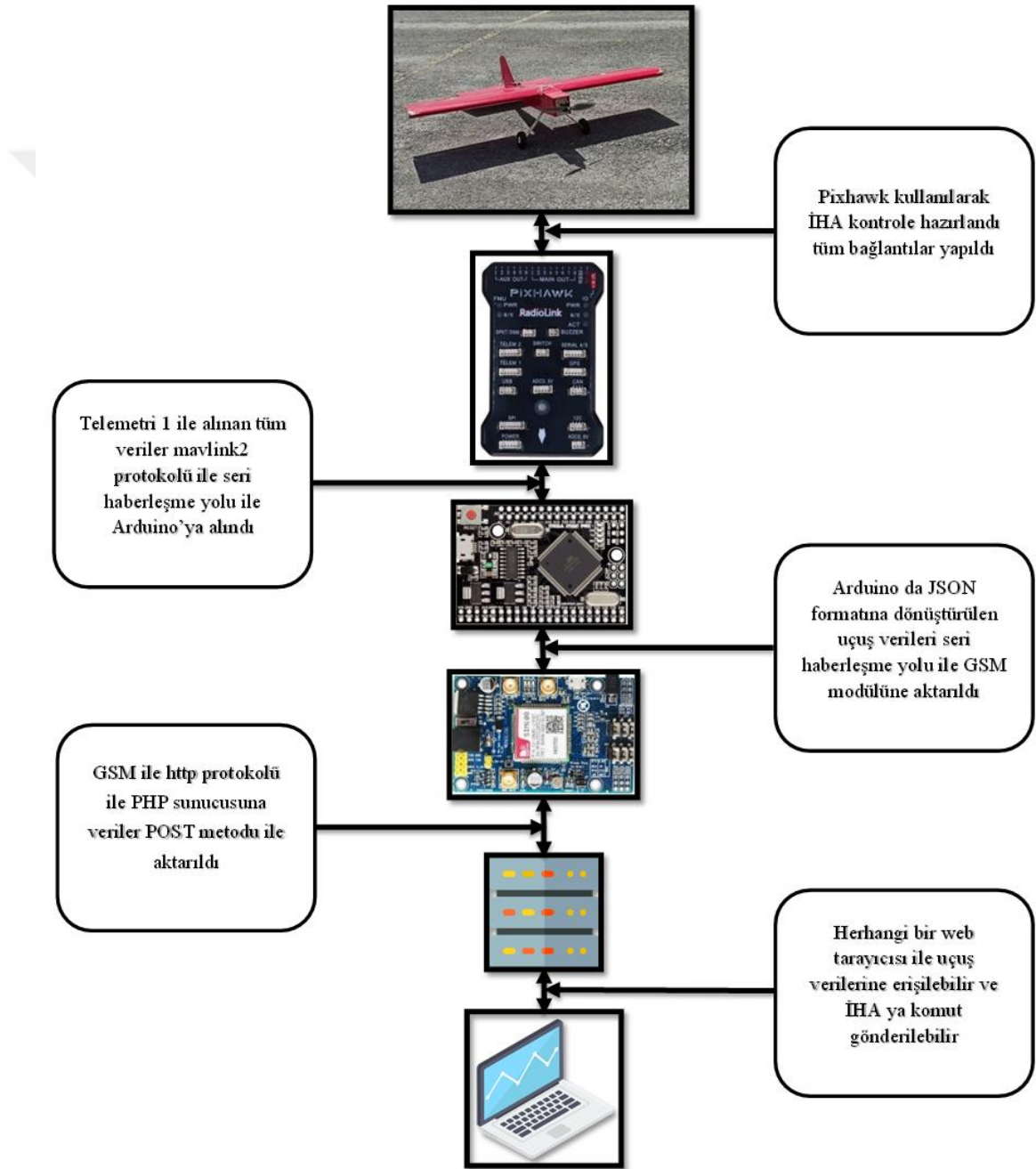
Şekil 4. 14.'deki gibi tablo tipini seçerek daha önce kaydedilmiş sensör ve uçuş bilgilerine ölçüm ID si ile ulaşılabilir. Buradaki tüm tablolar dinamik olarak üretilmiştir. PHP tarafında ekstra güvenlik katmanları tasarlanmıştır.



Şekil 4. 14. İHA'nın gelen verilerin kayıtların olduğu uavlog.php sayfası

4.3. İHA ile Haberleşme Sisteminin Kurulumu

Bu çalışmada, 1 m boyunda, 1,3 m boyunda kanat açıklığı, 1,5 kg ağırlığı olan sabit kanatlı İHA üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen İHA'nın gerekli ekipmanlar kullanılarak GSM üzerinde YKİ'ye verilerin aktarılması sağlanmıştır. Bu sürecin akış diyagramı Şekil 4. 15.'de gösterilmiştir.



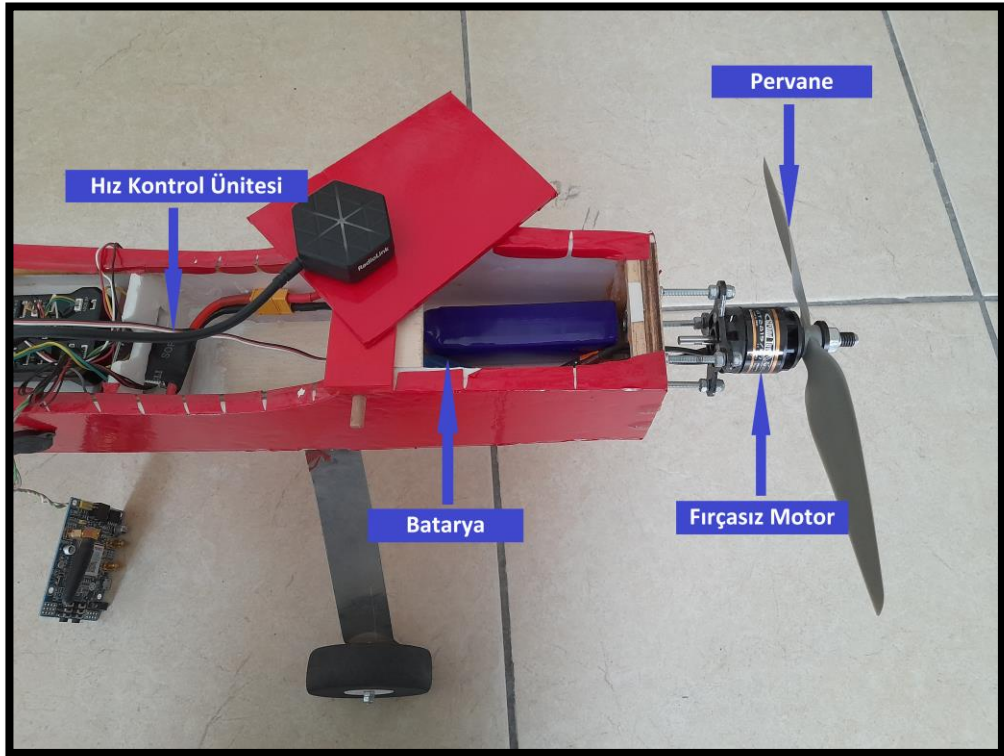
Şekil 4. 15. İHA haberleşme akış diyagramı

Akış diyagramı adımları:

1. İHA üretimi gerçekleştirilmiştir.
2. Pixhawk kontrol kartı ile İHA otonom hale getirilmiştir.
3. Arduino ile Pixhawk haberleştirilerek İHA verileri Arduino ile işlenmiştir.
4. Arduino üzerinde JSON formatına dönüştürülerek uçuş ve setleri seri haberleşme yolu ile GSM modülüne aktarılmıştır.
5. GSM modülünde internet üzerinden sunucuya aktarılan veriler PHP sunucu tarafından işlenip MySQL veri tabanına kaydedilmiştir.

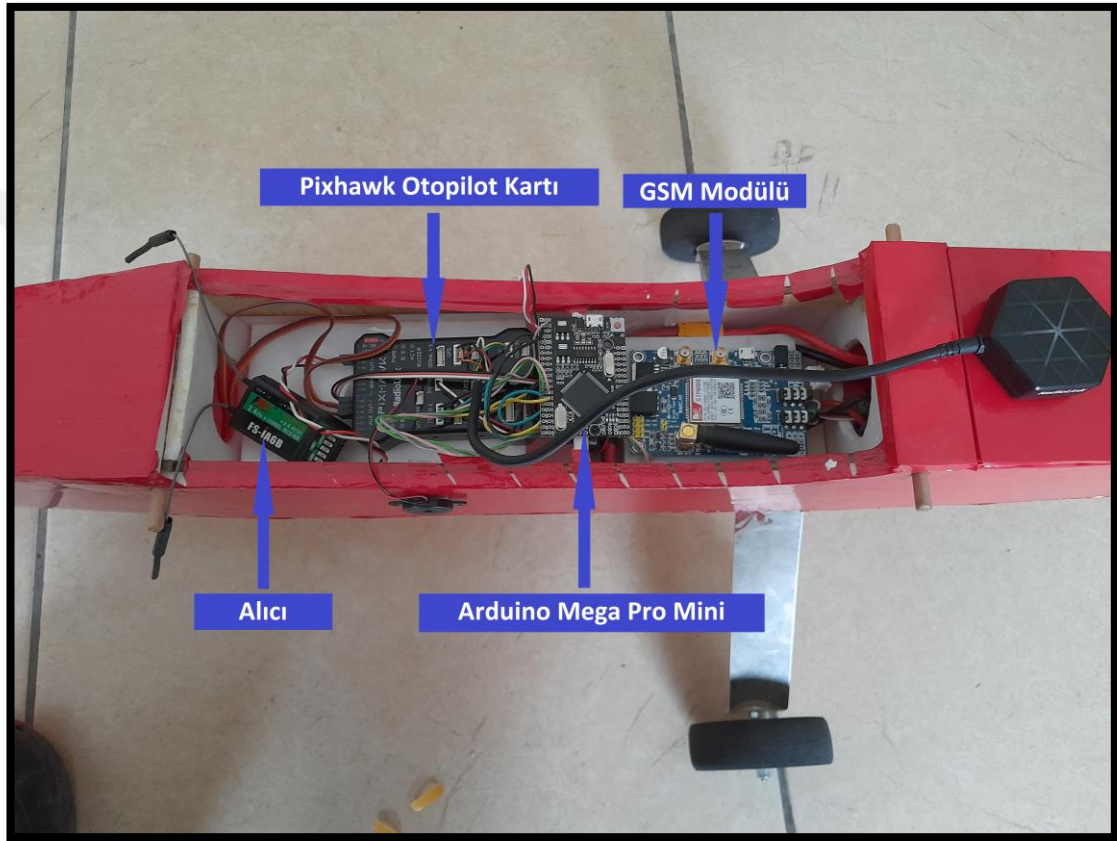
Tüm aşamalar sonrasında sonuçlar uav.myiotcontrol.com üzerinden ulaşılabilir.

Tasarlanan İHA'nın güç sistemi *Şekil 4. 16.*'da verilmiştir. Sistem bileşenleri fırçasız motor, hız kontrol ünitesi ve bataryadan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin konumları *Şekil 4. 16.*'da görülmektedir.



Şekil 4. 16. Tasarlanan İHA'nın güç sisteminin bileşenlerinin görüntüsü

Şekil 4. 17.'de tasarlanan İHA'nın elektronik kart yerleşimi görülmektedir. Yerleşim GSM modülü, Arduino Mega, Pixhawk otopilot kartı ve alıcı verici görülmektedir. Kartlar en uygun konuma yerleştirilmiş ve aynı zamanda İHA ağırlık merkezi etkisi en aza indirgenmiştir. Tasarlanan İHA'nın farklı açılarla güç ve elektronik bileşenleri aynı anda görünümü verilmiştir.



Şekil 4. 17. Tasarlanan sistemin elektronik kartlarının yerleşimi



Şekil 4. 18. Tasarlanan İHA'nın görünümü

Şekil 4.19 ve 4.20 de İHA'nın kanat montaj sonrası üstten ve önden görünümleri verilmiştir.



Şekil 4. 19. Tasarlanan İHA'nın üstten görünümü



Şekil 4. 20. Tasarlanan İHA'nın önden görünümü



Şekil 4. 21. Tasarlanan İHA'nın son testlerinin yapılması uçuşa hazır hale gelmesi

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

İHA'ların gelişmesinde havacılık alanındaki gelişmelerin büyük etkileri görülmesine ile İHA'lar birçok alanda kullanılmasına rağmen, hala bazı önemli problemleri aşılamamıştır. İHA'ların kullanımında oluşan başlıca problemler arasında haberleşme, menzil, görüş dışı veri kaybı gibi sorunlar gelmektedir.

GSM, dünya üzerinde birçok ülkede hareket halindeyken kesilmeden kullanılan bir sistemdir. Mobil için geliştirilmiş bu sistem zaten araç takibinde, istasyonlarda, kara araçlarında kullanılmaktadır. Hemen hemen herkesin cebinde bulunan bu sistemin bir hat ve modül dışında bir alt yapıya ihtiyacı bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, GSM kullanılarak İHA'nın yer istasyonu ve bir web sitesi yardımı ile tüm verileri izlenmiştir. İHA ile anlık haberleşme sağlanmıştır. İHA'nın uçuş verileri kaydedip daha sonra veri tabanından kullanılabilir hale getirilmiştir.

5.2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sabit kanatlı İHA'ların görüş dışı menzilden bağımsız tam bir sunucuya bağlanarak GSM ve GSM'in kurulu alt yapısından faydalanarak haberleşmesi amaçlanmıştır. Sistem haberleşirken bir SD kart yerine MySQL adlı bir veri tabanına PHP dilinde kodlanmış bir servis ile bağlanmıştır. Aynı zamanda tüm veriler anlık ve daha sonra görüntülenmek için bir web arayüzünden takip edilmiştir. İHA GSM ile sunucuya bağlanırken 80 ile 400 ms arasında bir gecikme ile sunucuya internet üzerinden veri göndermiştir. GSM kurulumu yapıldıktan sonra İHA'daki sensörlerden alınan veriler incelenmiştir. Uzun mesafeli uçuşlarda, İHA'dan telemetri sistemi üzerinden Arduino ile alınan veri GSM kullanarak veri aktarımı yapılırken sıkıntısız bir şekilde veriler gönderilmiştir. Pixhawk kartından Arduino ile alınmaya çalışılan

verilerde başlangıçta bazı kod sorunları ile karşılaşılmıştır. Yazılan kütüphanelere müdahale edilerek stabil bir şekilde veriler alınıp JSON formatına dönüştürülmüştür. Dönüştürülen veriler sunucuya aktarılmıştır. Arduino'nun kendi JSON kütüphanesini kullanırken RAM yetmediği için özel bir kütüphane yazılmıştır ve bu sayede %30 a kadar RAM tasarrufu sağlanmıştır. GSM ile haberleşme sayesinde tasarlanmış bu yeni çözüm ile dronelar ile yeni bir kargo sistemi kurulabileceği düşünülmüştür. Bu sayede tüm düşük irtifadaki İHA'ları otonom uçuş yaptırılarak tek sistemden yönetilebileceği öngörülmüştür. GSM ile haberleşme maliyetlerinden kurtulup kolaylıkla yapay zekâ ile tamamen kendi kendini kontrol edebilen ve şarj, iniş kalkış vb. hesaplamaları yaparak başka çalışmalara katkıda bulunacağı düşünülmüştür.

KAYNAKÇA

1. Konar, M., & Kekeç, E. T. (2021). İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Artırımı. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, (23), 394-400.
2. Dikmen, M., 2015, İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemlerinin hava hukuku bakımından incelenmesi. **Savunma Bilimleri Dergisi**, 14(1), 145-176.
3. Karsu, İ., 2014, İnsansız hava araçları için uzun menzilli veri linki tasarımı.
4. Ülkü, E. E., & Bekmezci, İ., 2015, Multi token circulation for Multi-UAV systems. In 2015, *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1042-1045). IEEE.
5. Radišić, T., Muštra, M., & Andrašić, P., 2019, Design of an uav equipped with sdr acting as a gsm base station. In 2019 *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)* (pp. 31-34). IEEE.
6. Wikipedia, 2013, GSM, (Web sayfası: <https://en.wikipedia.org/wiki/GSM>), (Erişim tarihi: Mayıs 2021).
7. simcom, 2018, M2M Application, (Web sayfası: <https://www.simcom.com/>), (Erişim tarihi: Haziran 2021).
8. Lin, C. E., Hsu, C. W., Lee, Y. S., & Li, C. C., 2004, Verification of unmanned air vehicle flight control and surveillance using mobile communication, **Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication**, 1(4), 189-197.
9. Wzorek, M., Landen, D., & Dert, P., 2006, GSM technology as a communication media for an autonomous unmanned aerial vehicle. In *Proceedings of the 21st Bristol international conference on UAV systems*. Citeseer.
10. Banerji, S., 2013, Design and Implementation of an Unmanned Vehicle using a GSM Network with Microcontrollers. **arXiv preprint arXiv:1306.6125**.

11. Sineglazov, V., 2014, Software of GSM channel for definition of UAV location. In 2014 IEEE 3rd International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC) (pp. 104-107), IEEE.
12. Özkul, M. S., 2015, GSM baz istasyonlarından elde edilen konum bilgisinin, havacılıkta uçakların iniş sürecinde kullanılması (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)),
13. AbdelHamid, A., & Zong, P., 2015, Development of UAV teleoperation virtual environment based-on GSM networks and real weather effects. **International Journal of Aeronautical and Space Sciences**, **16**(3), 463-474.
14. Volčko, T., Moucha, V., Lipovský, P., & Draganová, K., 2016, Possibility of usage the latest GSM generations for the purpose of UAV communication. In 2016 New Trends in Signal Processing (NTSP) (pp. 1-4). IEEE.
15. Ramanatha, P., Nelakuditi, U. R., Ravishankar, S., & Ranganathan, V., 2016, UAV based smoke plume detection system controlled via the short message service through the GSM network. In 2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT) (Vol. 2, pp. 1-4), IEEE.
16. Solidakis, G. N., Tsokas, F. M., Batistatos, M. C., Sagias, N. C., Tsoulos, G. V., Zarbouti, D. A., & Athanasiadou, G. E., 2017, An Arduino-based subsystem for controlling UAVs through GSM. In 2017 6th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS) (pp. 1-4), IEEE.
17. Mandal, S., Maheta, K., Kumar, V., & Prasad, M. S., 2018, Control of UAV Using GSM Technology. In Proceedings of the International Conference on Modern Research in Aerospace Engineering (pp. 77-85). Springer, Singapore.
18. Khan, S. I., Qadir, Z., Munawar, H. S., Nayak, S. R., Budati, A. K., Verma, K. D., & Prakash, D., 2021, UAVs path planning architecture for effective medical emergency response in future networks. **Physical Communication**, **47**, 101337.
19. GSMA, 2012, Representing the worldwide mobile communications industry (Web sayfası: <https://www.gsma.com/>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).

20. Wikipedia, 2016, İnternet, (Web sayfası: <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nternet>), (Erişim tarihi: Mayıs 2021).
21. Kahveci, M., & Nazlı, C. A. N, 2017, İnsansız hava Araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 5(4), 511-535.
22. Sertkaya, C., & Coşkun, O., 2021, Determination Working Modes of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) over Encrypted Wi-Fi Traffic using Artificial Neural Networks. **Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology**, 9(3), 562-572.
23. Çiçek, T., 2014, İnsansız Hava Araçları ve Hava Gücü Teorisi, Hava Harp Okulu Komutanlığı
24. RobotDyn, 2017, ArduinoMegaPROMini, (Web sayfası: <https://hallroad.org/mega-2560-pro-mini-embed-ch340g-atmega-2560-16a-with-male-pin-headers-in-pakistan.html>), (Erişim tarihi: Ocak 2020).
25. Çakır, S. (2017). PHP, Kodlab, İstanbul, 536.
26. CeeGee., 2021. Bayraktar Akıncı of the Turkish Army in Teknofest 2021 at Istanbul Atatürk Airport. Nisan 01, 2022, (Web sayfası: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1_TurkishArmy_Teknofest2021_\(2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1_TurkishArmy_Teknofest2021_(2).jpg)), (Erişim tarihi: Ocak 2022).
27. GITHUB, S., 2015, SIM808-V2.4.5-EN, (Web sayfası: <https://github.com/Alictronix/SIM808-V2.4.5-EN>), (Erişim tarihi: Şubat 2021).
28. GSM, 2013, GSM in The World, (Web sayfası: <https://cdnelektrikport.4flyy.com/Content/201312/gsm-large.png>), (Erişim tarihi: Ocak 2022).
29. Gün, E. M. (2017). Her Yönüyle HTML: KODLAB, İstanbul, 312.

30. K ng, B., Agar, D., Wagter, C., Heng, L., Goppert, J., Meier, L., Mohammed, K., Roche, R., Pereira, P., Tridgell, A., Marques, N., Ermakov, V., 2018, MAVLink Micro Air Vehicle Protocol Mavlink2Frame, (Web sayfası: https://github.com/mavlink/c_library_v2), (Erişim tarihi: şubat 2021).
31. PIXHAWK, 2020, mRo Pixhawk Flight Controller, (Web sayfası: https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/mro_pixhawk.html), (Erişim tarihi: şubat 2021).
32. RADIOLINK, 2021, Pixhawk User Manuel, (Wab sayfası: https://www.radiolink.com/pixhawk_manual), (Erişim tarihi: Haziran 2021).
33. SIM808, 2017. SIM808 Application Note (Web sayfası: <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs-gnss/sim808/>), (Erişim tarihi: şubat 2021).
34. S derby, K., 2020, Send an SMS with MKR GSM 1400. (Web sayfası: <https://docs.arduino.cc/tutorials/mkr-gsm-1400/gsm-send-sms>), (Erişim tarihi: şubat 2021).
35. ECMA-404, 2017, Introducing JSON, (Web sayfası: <https://www.json.org/json-en.html>), (Erişim tarihi: şubat 2021).
36. Achour, M., Betz, F., Dov, A., Lopes, N., Magnusson, H., Richter, G., Seguy, D., Vrana, J., 2020, PHP Manual (Web sayfası: <https://php-legacy-docs.zend.com/manual/php5/en/index>), (Erişim tarihi: şubat 2021).
37. W3SCHOOLS, 2000, PHP Tutorial, (Web sayfası: <https://www.w3schools.com/php/>), (Erişim tarihi: şubat 2021).
38. W3SCHOOLS, 2000, JavaScript Tutorial, (Web sayfası: <https://www.w3schools.com/js/>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
39. W3SCHOOLS, 2000, SQL Tutorial, (Web sayfası: <https://www.w3schools.com/sql/>), (Erişim tarihi: şubat 2021).

40. W3SCHOOLS, 1999, CSS Tutorial, (Web sayfası: <https://www.w3schools.com/css/>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
41. W3SCHOOLS, 2000, HTML Tutorial, (Web sayfası: <https://www.w3schools.com/html/>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
42. Bert, B., 1999, Cascading Style Sheets (Web sayfası: <https://www.w3.org/Style/CSS/Overview.en.html>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
43. Thiercelin, A., Galloway, L., Schwarzmiller, C., Klimaj, A., 2017, The open standards for drone hardware (Web sayfası: <https://pixhawk.org/>), (Erişim tarihi: Mart 2021).
44. PIXHAWK, 2020, Pixhawk Standards, (Web sayfası: <https://github.com/pixhawk/Pixhawk-Standards>), (Erişim tarihi: Mart 2021).
45. ARDUINO, 2020, Mega 2560 Rev3 (Web sayfası: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>), (Erişim tarihi: Ocak 2021).
46. Karasekreter, N., & Fidan, U., 2011, GSM/SMS Tabanlı Sulama Otomasyonu Kontrol Biriminin Geliştirilmesi ve Uygulanması. **Engineering Sciences**, 6(1), 71-77.
47. Delebe, E., 2020, Projeler ile Arduino, Kodlab, İstanbul, 528
48. Yüksel, E., 2020, Sıfırdan İleri Seviyeye PHP WEB Programlama, Kodlab, İstanbul, 736
49. Şeker, S.E., Yörük, R., 2018, İnternet Nasıl Çalışır? (Web sayfası: <https://sadienvrenseker.com/wp/wp-content/uploads/2018/09/fhuy.pdf>), (Erişim tarihi: Kasım 2018).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mustafa FENERCİ

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarih
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık (YL)(Tezli), Kayseri	2022
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri	2018
Lise	H. Sebiha Özlek Anadolu Lisesi, Şanlıurfa	2011

YABANCI DİL

İngilizce